

110-051-7C73
MOTC-IOT-109-H3CB001d

花蓮海岸公路浪襲預警及防災 應用技術之研究(1/2)-浪襲預警 系統建置



交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

110-051-7C73
MOTC-IOT-109-H3CB001d

花蓮海岸公路浪襲預警及防災 應用技術之研究(1/2)-浪襲預警 系統建置

著者：陳冠宇、蔡立宏、李俊穎、陳鈞彥

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

GPN : 1011000202
定價 300 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究：浪襲預警系統建置。(1/2) / 陳冠宇, 蔡立宏, 李俊穎, 陳鈞彥著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所, 民 110.02
面；公分
ISBN 978-986-531-281-7(平裝)

1. 公路管理 2. 災害應變計畫

557

110001252

花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置

著者：陳冠宇、蔡立宏、李俊穎、陳鈞彥

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市松山區敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 110 年 2 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：300 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)2349-6789

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

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

GPN：1011000202 ISBN：978-986-531-281-7 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所合作研究出版品摘要表

出版品名稱：花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-281-7	政府出版品統一編號 1011000202	運輸研究所出版品編號 110-051-7C73	計畫編號 MOTC-IOT-109-H3CB001d
本所主辦單位：港研中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：李俊穎 研究人員：陳鈞彥 聯絡電話：(04)2658-7132 傳真號碼：(04)2658-4115	合作研究/共同研究單位： 計畫主持人：陳冠宇 研究人員：陳冠宇、劉俊志 地址：高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：(07)5252-000 #5353		研究期間 自 109 年 2 月 至 109 年 12 月
關鍵詞：花蓮海岸公路浪襲預警系統、異常浪、COBRAS、XBeach			
<p>摘要：</p> <p>過去颱風的長浪曾在台 11 線公路造成災情。例如 2015 年蘇迪勒颱風和 2018 年潭美颱風期間出現路基掏空，而 2016 年梅姬颱風期間則有浪襲道路的情況。故本研究收集近幾年的台 11 線浪襲新聞事件，並利用 XBeach 模式從台 11 線挑選出 8 個離海岸線較近的路段進行類颱風期間的海況模擬，藉以對台 11 線受到的浪襲影響作初步評估。由於新聞事件和 XBeach 模擬皆顯示台 11 線人定勝天段較容易受到浪襲影響，故利用 COBRAS 模式針對該路段的 7 個道路斷面進行不同海況條件的浪襲模擬，藉以建立情境資料庫並發展浪襲預警系統，以提供相關單位較全面的災害評估。另外參考歐等人(2004)的同化方法對 SWAN 的示性波高預報進行同化修正，藉以提高臺東海岸公路浪襲預警系統的準確度。</p> <p>研究成果效益：</p> <p>研究成果可提供浪襲預警資訊，據以掌握對花蓮海岸公路易遭浪襲的路段可能發生之風險及因應措施。</p> <p>提供政府單位應用情形：</p> <p>本計畫可提供公路總局第四區養護工程處，作為颱風期間浪襲封路之決策輔助工具。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
110 年 2 月	280	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：1. 本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
 INSTITUTE OF TRANSPORTATION
 MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Wave Attack Early Warning and Disaster Prevention of Hualien Coastal Highway (1/2) –Establishing Wave Attack Early Warning System			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-281-7	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011000202	IOT SERIAL NUMBER 110-051-7C73	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-109-H3CB001d
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chun-Ying Lee PROJECT STAFF: Chun-Yen Chen PHONE: (04)2658-7132 FAX: (04)2658-4115			PROJECT PERIOD FROM February 2020 TO December 2020
RESEARCH AGENCY: National Sun Yat-sen University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Guan-Yu Chen PROJECT STAFF: Guan-Yu Chen, Chung-Chi Liu ADDRESS: No.70 Lien-hai Rd., Kaohsiung 80424, Taiwan, R.O.C. PHONE: (07)5252-000 #5353			
KEY WORDS: Freak Wave Early Warning System for Hualien Coastal Highway, Freak Wave, COBRAS, XBeach			
ABSTRACT: In the past, the typhoon abnormal waves have caused disasters in Number 11 Highway. For instance, the foundations of Number 11 Highway were exposed when the Sudil typhoon (2015) and Trami typhoon (2018) attacked, and there were wave attacks in Number 11 Highway during Megi typhoon (2016). As a result, in the study, in order to estimate the influence of wave attack, the wave attacking news were collected, and eight of which were simulated under typhoon-like situation by XBeach. Due to the news and XBeach simulation have showed that the Jentingshengtien section in Number 11 Highway is likely influenced by wave attacks, we simulated seven cross sections of the Jentingshengtien section under different situations by COBRAS model. This method can build a situation database and develop the wave attack early warning system to estimate the hazard. In addition, refer to the assimilation method of Ou et al. (2004) to assimilate and modify the significant wave height forecast of SWAN, so as to improve the accuracy of the Taidong Coastal Highway wave attack warning system. The effect of the study: providing the information of wave attack to better understand the hazard and the contingency plans of wave attack-likely section of Hualien coastal highway. Government application: the study can provide information of road close during wave attack caused by typhoon for Fourth Maintenance Office of Directorate General of Highways, MOTC.			
DATE OF PUBLICATION February 2021	NUMBER OF PAGES 280	PRICE 300	
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中英文摘要	I
目 錄	III
圖 目 錄	VII
表 目 錄	XVIII
第一章 緒論	1-1
1.1 前言	1-1
1.2 研究範圍與工作內容	1-3
1.3 工作項目及預期成就	1-3
1.4 預期成果、效益及應用	1-3
第二章 異常波浪案例蒐集與分析	2-1
2.1 異常波浪災害概述與預警之必要性	2-1
2.2 異常波浪災害蒐集與分析	2-4
2.3 利用文字探勘蒐集異常波浪引致花蓮海岸公路災害之案例	2-6
第三章 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段	3-1
3.1 XBeach 模式簡介	3-1
3.2 模式理論	3-3
3.2.1 控制方程式	3-3
3.2.2 水平黏滯力	3-4
3.2.3 底床剪應力	3-4
3.2.4 非靜水壓校正	3-4
3.3 模式地形	3-6
3.4 模式情境條件設定	3-11

3.5 模擬結果.....	3-21
第四章 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立 ...	4-1
4.1 COBRAS 模式介紹.....	4-1
4.2 數值地形.....	4-4
4.3 模式設定.....	4-10
4.4 模擬流程.....	4-12
4.5 模擬結果.....	4-17
4.5.1 台 11 線 61K+300 站.....	4-18
4.5.2 台 11 線 61K+380 站.....	4-23
4.5.3 台 11 線 61K+500 站.....	4-28
4.5.4 台 11 線 61K+580 站.....	4-33
4.5.5 台 11 線 61K+700 站.....	4-38
4.5.6 台 11 線 61K+830 站.....	4-43
4.5.7 台 11 線 62K+220 站.....	4-48
4.5.8 討論.....	4-53
4.6 花蓮海岸公路浪襲預警系統.....	4-59
4.6.1 浪襲警戒燈號定義.....	4-59
4.6.2 海況條件與浪襲系統的使用.....	4-68
4.6.3 浪襲系統的路段浪襲評估與驗證.....	4-73
第五章 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進.....	5-1
5.1 研究方法.....	5-1
5.2 資料同化與預報修正的流程.....	5-4
5.3 臺東站的資料同化與預報修正.....	5-7
5.4 南興站的資料同化與預報修正.....	5-23
第六章 結論與建議.....	5-1

6.1 結論與成果.....	6-1
6.2 建議.....	6-2
6.3 成果效益及應用情形.....	6-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表.....	附 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表.....	附 2-1
附錄三 期末報告簡報.....	附 3-1
附錄四 工作會議紀錄.....	附 4-1

圖目錄

圖 2.1 2013 年龍洞海濱瘋狗浪事件地點.....	2-2
圖 2.2a 2016 年澳洲雪梨皇家國家公園瘋狗浪事件 a.....	2-2
圖 2.2b 2016 年澳洲雪梨皇家國家公園瘋狗浪事件 b.....	2-3
圖 2.3 2000-2016 年臺灣地區各月份發生瘋狗浪次數統計	2-4
圖 2.4 2013 年龍洞瘋狗浪事件前後之波浪觀測波高、週期與波向 .	2-5
圖 2.5 利用 google site 於特定新聞來源搜尋關鍵字結果	2-6
圖 2.6 新聞蒐集及事件辨識流程.....	2-7
圖 2.7a 利用 google site 於特定日期搜尋關鍵字結果	2-8
圖 2.7b 網路爬蟲蒐集新聞結果.....	2-8
圖 2.8a 相關浪襲公路新聞資料.....	2-10
圖 2.8b 相關浪襲公路新聞資料.....	2-11
圖 2.9 2018 年 9 月 28 日晚間 61K+400 附近浪襲影像	2-12
圖 3.1 海洋學門資料庫解析度 0.12 分之水深資料.....	3-5
圖 3.2 左到右各為第 1 到 3 模擬區域所用的陸地地形(紅框).....	3-7
圖 3.3 左到右各為第 4 到 6 模擬區域所用的陸地地形(紅框).....	3-7
圖 3.4 左和右各為第 7 和 8 模擬區域所用的陸地地形(紅框).....	3-8
圖 3.5 左、右各為第 1、2 區的模式地形(黑色等深線的間隔 10m).	3-9
圖 3.6 左、右各為第 3、4 區的模式地形(黑色等深線的間隔 10m).	3-9
圖 3.7 左、右各為第 5、6 區的模式地形(黑色等深線的間隔 10m)	3-10
圖 3.8 左、右各為第 7、8 區的模式地形(黑色等深線的間隔 10m)	3-10
圖 3.9 花蓮港 2020 年天文潮預報.....	3-11

圖 3.10 石梯漁港 2020 年天文潮預報.....	3-12
圖 3.11 氣象局花蓮沿海的潮汐預報.....	3-13
圖 3.12 花蓮港 AWCP 位置.....	3-14
圖 3.13 花蓮港 2015 年 8 月 AWCP 的示性波高和尖峰週期	3-15
圖 3.14 花蓮港 2016 年 9 月 AWCP 的示性波高和尖峰週期	3-15
圖 3.15 花蓮港 2018 年 9 月 AWCP 的示性波高和尖峰週期	3-16
圖 3.16 JONSWAP 邊界條件的方向分布函數.....	3-18
圖 3.17 模式邊界條件設定.....	3-20
圖 3.18 情境 6b 第 60 秒的水位和流速空間分佈.....	3-21
圖 3.19 情境 6b 第 600 秒的水位和流速空間分佈.....	3-22
圖 3.20 情境 6b 第 1200 秒的水位和流速空間分佈.....	3-23
圖 3.21 情境 6b 第 1800 秒的水位和流速空間分佈.....	3-24
圖 3.22 情境潮位 1m 的最大溢淹水位.....	3-25
圖 3.23 情境潮位 2m 的最大溢淹水位.....	3-26
圖 3.24 情境潮位 2.6m 的最大溢淹水位.....	3-27
圖 3.25 區域 1 溢淹範圍(花蓮縣壽豐鄉台 11 線 7.5K 到 13K)	3-29
圖 3.26 區域 2 溢淹範圍(花蓮縣壽豐鄉台 11 線 15K 到 20.5K)	3-30
圖 3.27 區域 3 溢淹範圍(花蓮縣豐濱鄉台 11 線 38K 到 42.5K)	3-31
圖 3.28 區域 4 溢淹範圍(花蓮縣豐濱鄉台 11 線 43.5K 到 49K)	3-32
圖 3.29 區域 5 溢淹範圍(花蓮縣豐濱鄉台 11 線 51K 到 59.5K)	3-33
圖 3.30 區域 6 溢淹範圍(花蓮縣豐濱鄉台 11 線 58.5K 到 63K)	3-34
圖 3.31 區域 7 溢淹範圍(臺東縣長濱鄉台 11 線 75.5K 到 81K)	3-35
圖 3.32 區域 8 (臺東縣成功鎮台 11 線 99K 到 105K)	3-36

圖 3.33 區域 4 的 44.5K 到 44.7K 道路邊緣出現溢淹.....	3-39
圖 3.34 區域 5 的 52K 附近溢淹分布	3-40
圖 3.35 潮位 2.6m、示性波高 5m，台 11 線 54.93K 溢淹.....	3-40
圖 3.36 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 6 的 61.6-61.8K 溢淹	3-41
圖 3.37 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 7 的 77.25 K 溢淹	3-42
圖 3.38 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 8 的 99.7-99.9K 溢淹	3-42
圖 3.39 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 8 的 100.34-100.58K 溢淹.....	3-43
圖 3.40 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 8 的 101.25-101.63K 溢淹.....	3-43
圖 3.41 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 8 的 103.57 K 處溢淹	3-44
圖 4.1 台 11 線人定勝天段的網格化地形以及地形測點分布	4-5
圖 4.2 台 11 線人定勝天段選取 7 個情境里程位置.....	4-5
圖 4.3 台 11 線人定勝天段 7 個里程位置以及地形切線.....	4-6
圖 4.4 台 11 線人定勝天段 7 個站沿波向線選取地形切線.....	4-6
圖 4.5 61K+300 離岸方向的地形剖面.....	4-7
圖 4.6 61K+380 離岸方向的地形剖面.....	4-7
圖 4.7 61K+500 離岸方向的地形剖面.....	4-8
圖 4.8 61K+580 離岸方向的地形剖面.....	4-8
圖 4.9 61K+700 離岸方向的地形剖面.....	4-9
圖 4.10 61K+830 離岸方向的地形剖面.....	4-9
圖 4.11 62K+220 離岸方向的地形剖面.....	4-10
圖 4.12 模式使用的 61+300K 站切線地形	4-10
圖 4.13 不同情境模擬之海況條件組合.....	4-11
圖 4.14 61K+300 之情境模擬流程.....	4-12

圖 4.15 61K+380、+500、+580、+700、+830 和+220 的模擬流程	4-13
圖 4.16 61K+300 站情境模擬 7 個時間段 VOF 空間分布	4-14
圖 4.17 61K+300 站情境模擬第 149 到 155 秒發生浪襲	4-15
圖 4.18 61K+300 站情境模擬第 195 到 201 秒發生浪襲	4-16
圖 4.19 61K+300 站模擬期間的 VOF 空間分布最大值	4-16
圖 4.20 61K+300 道路溢淹的情境.....	4-18
圖 4.21 61K+380 道路溢淹的情境.....	4-23
圖 4.22 61K+500 道路溢淹的情境.....	4-28
圖 4.23 61K+580 道路溢淹的情境.....	4-33
圖 4.24 61K+700 道路溢淹的情境.....	4-38
圖 4.25 61K+830 道路溢淹的情境.....	4-43
圖 4.26 62K+220 道路溢淹的情境.....	4-48
圖 4.27 當潮位-1m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限	4-54
圖 4.28 當潮位-0.5m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限	4-54
圖 4.29 當潮位 0m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限	4-55
圖 4.30 當潮位 0.5m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限	4-55
圖 4.31 當潮位 1m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限	4-56
圖 4.32 當潮位 1.5m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限	4-56
圖 4.33 當潮位 2m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限	4-57
圖 4.34 當潮位 2.5m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限	4-57
圖 4.35 當潮位 3m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限	4-58
圖 4.36 61K+300 站 VOF 空間分布最大值	4-60

圖 4.37 61K+300 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 ..4-61	
圖 4.38 61K+380 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 ..4-62	
圖 4.39 61K+500 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 ..4-63	
圖 4.40 61K+580 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 ..4-64	
圖 4.41 61K+700 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 ..4-65	
圖 4.42 61K+830 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 ..4-66	
圖 4.43 62K+220 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 ..4-67	
圖 4.44 人定勝天段外海提供示性波高、尖峰週期和潮位預報位置	4-68
圖 4.45 人定勝天段浪襲警戒預報檔內容.....	4-69
圖 4.46 61K+380 波向線寬度計算的折射係數($K_r=1.11$)	4-71
圖 4.47 61K+580 波向線寬度計算的折射係數($K_r=1.13$)	4-71
圖 4.48 61K+700 波向線寬度計算的折射係數($K_r=1.16$)	4-71
圖 4.49 花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面圖	4-72
圖 4.50 2018-2020 年浪潮預報模擬出現橙燈的浪襲事件分布圖 ...	4-74
圖 4.51 2018-2020 年浪潮預報模擬出現紅燈的浪襲事件分布圖 ...	4-74
圖 5.1 台 9 線南興段 7 站位置.....	5-1
圖 5.2 海岸公路浪襲預警系統預警資訊未修正之前的流程.....	5-4
圖 5.3 海岸公路浪襲預警系統預警資訊修正後流程.....	5-4
圖 5.4 氣象局臺東浮標即時觀測資料.....	5-5
圖 5.5 SWAN 模式預報點和氣象局浮標位置	5-6
圖 5.6 小尺度臺灣東南海域風浪模式模擬範圍.....	5-7
圖 5.7 臺東站不同校正長度 L_{max} 與兩種 R 的 RMSE	5-9
圖 5.8 臺東示性波高單日的觀測、預報以及預報修正.....	5-10

圖 5.9 2019-2020 年臺東站示性波高的觀測、預報以及預報修正 ..	5-10
圖 5.10 2019 年利奇馬颱風路徑圖	5-11
圖 5.11 2019 年白鹿颱風路徑圖	5-12
圖 5.12 2019 年米塔颱風路徑圖	5-12
圖 5.13 2020 年黃蜂颱風路徑圖	5-13
圖 5.14 2020 年哈格比颱風路徑圖	5-13
圖 5.15 2020 年米克拉(左)及巴威(右)颱風路徑圖	5-14
圖 5.16 利奇馬颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值	5-16
圖 5.17 白鹿颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值 ..	5-17
圖 5.18 米塔颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值 ..	5-18
圖 5.19 黃蜂颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值 ..	5-19
圖 5.20 哈格比颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值	5-20
圖 5.21 米克拉颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值	5-21
圖 5.22 巴威颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值 ..	5-22
圖 5.23 南興站單日示性波高的模式預報值以及預報修正	5-24
圖 5.24 南興 2019-2020 年示性波高的預報以及預報修正	5-25
圖 5.25 利奇馬颱風期間南興站示性波高預報和預報修正.....	5-26
圖 5.26 白鹿颱風期間南興站示性波高預報和預報修正.....	5-26
圖 5.27 米塔颱風期間南興站示性波高預報和預報修正.....	5-27
圖 5.28 黃蜂颱風期間南興站示性波高預報和預報修正.....	5-27
圖 5.29 哈格比颱風期間南興站示性波高預報和預報修正.....	5-28
圖 5.30 米克拉颱風期間南興站示性波高預報和預報修正.....	5-28
圖 5.31 巴威颱風期間南興站示性波高預報和每 6 小時的預報修正	5-29

表 目 錄

表 1-1 工作項目檢核表.....	1-5
表 2-1 新聞蒐集相關浪襲公路事件	2-9
表 3-1 台 11 線 8 個離海岸線較近的路段緯度範圍	3-8
表 3-2 花蓮港極值波高重現期	3-16
表 3-3 台 11 線 8 個路段區域對應 3 種潮位的情境	3-19
表 3-4 Xbeach 模式相關參數設定	3-20
表 3-5 區域 1 到 3 情境模擬的台 11 線溢淹路段	3-37
表 3-6 區域 4 到 8 情境模擬的台 11 線溢淹路段	3-38
表 4-1a 61K+300 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m).....	4-19
表 4-1b 61K+300 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)	4-20
表 4-2a 61K+300 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m).....	4-21
表 4-2b 61K+300 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m).....	4-22
表 4-3a 61K+380 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m).....	4-24
表 4-3b 61K+380 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)	4-25
表 4-4a 61K+380 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m).....	4-26
表 4-4b 61K+380 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m).....	4-27
表 4-5a 61K+500 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m).....	4-29
表 4-5b 61K+500 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m).....	4-30
表 4-6a 61K+500 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m).....	4-31
表 4-6b 61K+500 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m).....	4-32
表 4-7a 61K+580 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m).....	4-34

表 4-7b 61K+580 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)	4-35
表 4-8a 61K+580 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)	4-36
表 4-8b 61K+580 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)	4-37
表 4-9a 61K+700 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m).....	4-39
表 4-9b 61K+700 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)	4-40
表 4-10a 61K+700 情境模擬接近道路邊緣水位最大高程(單位 m)	4-41
表 4-10b 61K+700 情境模擬接近道路邊緣水位最大高程(單位 m)	4-42
表 4-11a 61K+830 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m).....	4-44
表 4-11b 61K+830 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)	4-45
表 4-12a 61K+830 情境模擬接近道路邊緣水位最大高程(單位 m)	4-46
表 4-12b 61K+830 情境模擬接近道路邊緣水位最大高程(單位 m)	4-47
表 4-13a 62K+220 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m).....	4-49
表 4-13b 62K+220 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)	4-50
表 4-14a 62K+220 情境模擬接近道路邊緣水位最大高程(單位 m)	4-51
表 4-14b 62K+220 情境模擬接近道路邊緣水位最大高程(單位 m)	4-52
表 4-15 2018-2020 年浪潮位預報值搭配情境模擬所得浪襲時數....	4-73
表 5-1 SWAN 模式的預報點和氣象局波浪浮標的經緯度	5-6
表 5-2 每個颱風期間以及全部資料期間的 RMSE 與其修正率	5-15

第一章 緒論

1.1 前言

海岸地區由於鄰近海洋，受到異常浪侵襲的機率較高，可能因此造成重大災害。浪襲事件在屢經大眾傳播媒體的大幅報導後，社會大眾對波高顯著大於背景波高之異常特大波浪已有認識，並普遍稱之為「瘋狗浪」。然而目前對於瘋狗浪的研究，能應用在實際災害防護的成果仍有限。主管機關應採取何種程度之措施以減輕瘋狗浪災害？道路、風景區或其他可能受災的設施應該何時封閉或管制？哪些區域應管制一般民眾進入以免危險？民眾管制區域該以何處為界？凡此種種，主管機關都沒有簡單可行的準則可以依循。

相對於臺灣西部的海岸，東部海岸地區與海岸公路較容易受到颱風波浪或異常浪等長波侵襲。舉例而言，2015 年蘇迪勒颱風和 2018 年潭美颱風所引起的長浪造成台 11 線花東海岸公路路基流失致使道路阻斷；2016 年梅姬颱風期間，台 11 線人定勝天段出現浪花夾帶碎石波及道路路面的情形。在蘇迪勒颱風期間，台 9 線還發生浪襲致使駕駛車輛擋風玻璃破裂的事件，其長浪甚至將台 11 線的人定勝天碑打落海中；而在潭美颱風期間，公路局的影像記錄到長浪飛濺到台 11 線人定勝天段路面的情形，可見颱風長浪對海岸公路安全的威脅甚大。

另外 2013 年的海燕颱風，雖然中心位置遠在菲律賓外海，卻能在龍洞海濱引起瘋狗浪，造成八死八傷的慘劇。根據現場勘查與相關地形資料，龍洞海濱的瘋狗浪事件發生地點與海面有相當距離(約有 50 公尺以上)，中間有礁臺相隔。由於事發地點並非緊鄰海岸，一般民眾可能覺得此距離應足以保障人身安全，但其實不然。這些案例說明對海岸相關權責單位來說，並不容易決定管制方式，實務上也缺少明確的規範。

以 2013 年龍洞海濱瘋狗浪事件為例，對瘋狗浪的溯上過程進行數值模擬，並探討將研究方法與結果應用在海岸風景區或海岸公路的方式。目標則是提出一套利用數值模擬的方式，提供海岸遊憩區或海岸公路的管理當局在海象存在瘋狗浪的風險時，決定海岸風景區或海岸公

路之管制方式或管制區域的方法或程序。陳等(2016)年除了利用 COBRAS 模式探討龍洞灣瘋狗浪的浪襲原因，也提供一個的風險評估流程來判斷海岸地區的公路或遊憩區是否容易受到瘋狗浪襲擊。

為了推動海岸災害防救科技發展，精進海岸與港灣的災害防救科技研發，強化基礎設施中有關環境資料庫之調查蒐集與建置及應用。交通部運輸研究所在「綠色海洋與航安科技發展計畫(1/4)」106 年度海洋科技類綱要計畫之分項計畫「海岸公路異常波浪特性及防災應用技術之研究」中，建立了臺東海岸公路異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式資料庫。藉由蒐集颱風期間相關的新聞及分析後，以台 9 線多良段 417K+715 到 419K+862 之間地勢較低的區段，及南興段離海最近的 439K+700 到 441K+240 之區段為目標，彙整海象模擬與國內海象觀測站之波浪資料來建立異常波浪容易致災之區段的長浪溯上數值模式，評估其對海岸公路通行安全之可能影響，可提供海岸公路通行安全預警資訊，以利公路管理單位作為災害預防及災後管理之決策參考。

交通部運輸研究所基於上述 106 年度計畫所建立的浪襲模式資料庫，加以整合鄰近區域的波浪觀測站即時觀測資訊以及本所作業化模擬之海象預報資訊，於 107 年度建置完成「臺東海岸公路浪襲預警系統」，並於該年度的瑪莉亞颱風有成功預警案例。由於過去颱風的長浪除了在台 9 線公路造成危害，亦於台 11 線公路造成災情。所以本計畫將在台 11 線的花蓮海岸公路建立另一個的浪襲預警系統，以提供相關單位較全面的災害評估。

1.2 研究範圍與工作內容

本研究屬配合交通部推動科學技術發展之目標：推動海岸災害防救科技發展，精進海岸與港灣的災害防救科技研發，強化基礎設施中有關環境資料庫之調查蒐集與建置及應用。本年度之主要目的為瞭解花蓮海岸公路受颱風波浪影響的區段範圍、發展溯上分析及預警系統，建立颱風波浪容易致災區段的長浪溯上數值模式，據以評估花蓮地區海岸公路可能遭受的威脅及通行安全。搭配港灣技術研究中心在臺灣東部的風浪與潮汐預報模式，預警系統可提供 24 小時預警資訊，可改善僅仰賴現場人員即時觀測之封路作業，讓人員有充分時間可做應變及調度。對於易致災路段路基易受波浪作用力造成掏空之問題，並提出因應對策。

1.3 工作項目

本研究完成的主要工作項目如下：

1. 蒐集颱風波浪引致花蓮海岸公路災害之案例。
2. 分析案例且評估決定花蓮海岸公路因受颱風波浪致災之區段。
3. 建立花蓮易致災公路區段之颱風波浪溯上與溢淹之數值模式。
4. 評估花蓮易致災區段受颱風波浪侵襲時之溯上範圍。
5. 建立花蓮海岸公路通行安全評估之波浪溯上資料庫。
6. 整合近岸海象預報資訊、近岸即時海象觀測資訊及波浪溯上資料庫建置浪襲預警系統。
7. 精進臺東海岸公路浪襲預警系統，並評估成果實際效益。

1.4 預期成果、效益及應用

本研究完成成果、效益及其應用如下：

(一) 預期成果：

1. 完成花蓮海岸公路易致災路段之颱風波浪溯上與溢淹之數值模式。

2. 完成案例分析與評估花蓮海岸公路受颱風波浪致災之區段。
3. 完成花蓮海岸公路通行安全評估之波浪溯上資料庫。
4. 完成評估花蓮海岸公路易致災路段受颱風波浪侵襲時之溯上範圍。
5. 完成建立花蓮海岸公路易致災路段通行安全浪襲預警系統，提供預警資訊，作為颱風期間浪襲封路作業之輔助參考。

(二) 效益及應用：

1. 建立花蓮海岸公路因颱風波浪之通行安全評估的技術及資料庫。
2. 提供浪襲預警資訊，可改善僅仰賴現場人員即時觀測之封路作業，讓人員有充分時間可做應變及調度，預先掌握對花蓮海岸公路易浪襲路段可能發生之風險及因應措施。
3. 以溯上與溢淹圖，供防災應變之用，便於規劃花蓮人定勝天路段海岸公路之減災措施及提供本所後續相關研究之依據。
4. 可提供公路總局第四區養護工程處，作為颱風期間浪襲封路之決策輔助工具。

表 1-1 工作項目檢核表

工作項目	是否完成	對應章節
1.蒐集颱風波浪引致花蓮海岸公路災害之案例。	是	第二章
2.分析案例且評估決定花蓮海岸公路因受颱風波浪致災之區段。	是	第三章
3.建立花蓮易致災公路區段之颱風波浪溯上與溢淹之數值模式。	是	第三章
4.評估花蓮易致災區段受颱風波浪侵襲時之溯上範圍。	是	第三章 第四章
5.建立花蓮海岸公路通行安全評估之波浪溯上資料庫。	是	第四章
6.整合近岸海象預報資訊、近岸即時海象觀測資訊及波浪溯上資料庫建置浪襲預警系統。	是	第四章
7.精進臺東海岸公路浪襲預警系統，並評估成果實際效益。	是	第五章

第二章 異常波浪案例蒐集與分析

2.1 異常波浪災害概述與預警之必要性

臺灣海岸地區可能因受到異常波浪之侵襲，進而造成重大的災害。漁民、釣客、戲水的民眾或海巡人員，常被「突發性的異常波浪」所襲擊，這種突發性的異常波浪是沒有任何的前兆，如「瘋狗」般的隨便亂咬人，漁民及釣客就稱這「突發性的異常波浪」為「瘋狗浪」。而在國外文獻中，特大的波浪稱為 freak wave(譯作突浪)或 rogue wave，亦稱為極限暴風波浪(extreme storm wave, ESW)或極陡波浪事件(steepest wave event, SWE)。目前對於瘋狗浪的研究，能實際應用於災害的成果仍很有限。主管機關應採取何種程度之措施以減輕瘋狗浪災害？道路、風景區或其他可能受災的設施應該何時封閉或管制？哪些區域應管制一般民眾進入以免危險？民眾管制區域該以何處為界？凡此種種，主管機關都沒有簡單可行的準則可以依循。

例如 2013 年海燕颱風威力強大，雖然遠在菲律賓外海，但卻也在龍洞海濱引發瘋狗浪，造成八死八傷的慘劇。根據現場勘查與相關地形資料，2013 年瘋狗浪事件發生的地點與海面有相當距離(約有 50 公尺以上)，中間有礁臺相隔(圖 2.1，國立成功大學董東璟教授提供)。由於事發地點並非緊鄰海岸，一般民眾可能覺得此距離應足以保障人身安全，但其實不然。此案例也說明了對海岸遊憩區等權責單位而言，如何進行管制並不容易決定，實務上也缺少明確的規範。



圖 2.1 2013 年龍洞海濱瘋狗浪事件地點

瘋狗浪災害的發生，主要是岸邊的人被波浪衝擊失去平衡，從而被捲入海中(如圖 2.2a, 2.2b，來源 Mail Online)；波浪的衝擊力與波高有關，因此以波高做為判斷基準是最直接有效的方法。先前執行的交通部運輸研究所合作研究計畫(如陳等，2013、陳等，2014、陳等，2015)，不論是異常氣候下跨河橋梁何時封橋，抑或海嘯發生時民眾應往何處疏散避難，都依據數值模擬所得之各地淹水的深度來決定。因此在思考瘋狗浪防災問題時，自然也想參考過去的經驗，甚至延續過去的方法加以探討。



圖 2.2a 2016 年澳洲雪梨皇家國家公園瘋狗浪事件 a



圖 2.2b 2016 年澳洲雪梨皇家國家公園瘋狗浪事件 b

波浪在極淺海的環境中傳播時，由於受到海床地形與水體之環境影響，是一個極為複雜的問題。學者也指出礁岩與防波堤的阻擋造成波浪反射與向上沖擊的現象，可使波浪遠高於原有波高，極可能是發生瘋狗浪意外的重要輔助條件(Su et al., 2002)。因此，單純以外海或近岸的波高判斷瘋狗浪的危險程度與有安全威脅的區域都很容易誤判。以跨河橋梁或海嘯的例子而言，都需另外對照海岸線附近的數值模擬結果，才能據此決定各地淹水的深度，再決定管制方式或管制區域。

除數值模擬之外，陳等人先前執行的研究計畫中，將各港遭受不同高度海嘯時的溢淹區域模擬結果，與 Google Earth 地理資訊系統之圖資相整合(Chen et al., 2015)。其目的是利用圖層方式在溢淹潛勢圖顯示港區不同之溢淹高程，港務單位可據以製作規劃逃生路徑或進行災害演習等。瘋狗浪如果能建立類似的危險區域資訊，以類似海嘯溢淹區域結合地理資訊系統之方式展現。

2.2 異常波浪災害蒐集與分析

根據中央氣象局氣象資料開放平臺資料庫及蔡等(蔡等人, 2016)調查統計, 結果顯示從2000年至2016年6月間臺灣地區的海岸瘋狗浪事件共有301件(如圖2.3), 合計475人落海, 臺灣四周海岸均有發生過瘋狗浪事件, 以東北部及東部發生居多。

近幾年的新聞報導, 如2000年12月14日基隆八斗子漁港西防波堤內側平台遭翻越的大浪襲擊落2名釣客入港內, 造成2死的悲劇; 2013年11月9日於新北市貢寮區的鼻頭龍洞地質公園, 樹林社區大學共16學員突遭一陣大浪襲擊, 造成8死8傷的重大慘劇; 2014年7月8日於新北市野柳風景區內, 有5人在地質公園遭到3波6公尺大浪襲擊受傷。

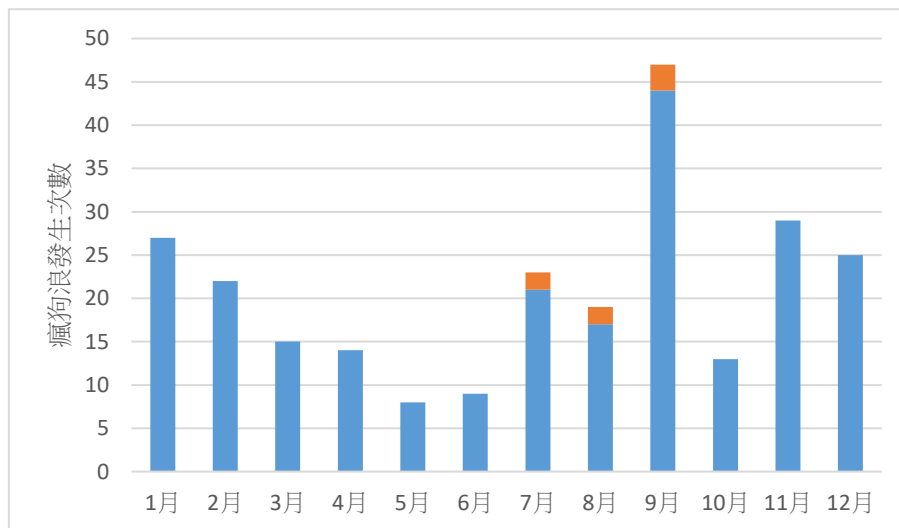


圖2.3 2000-2016年臺灣地區各月份發生瘋狗浪次數統計

根據自由時報報導, 2013年龍洞瘋狗浪事故發生時, 樹林社大一行人正由龍洞灣岬步道尾端行走到鼻頭角海濱步道起點(圖 2.1)。事故地點附近的龍洞測站資料(圖 2.4, 國立成功大學董東璟教授提供)所示, 事故發生之前後幾天波浪方向接近 90 度, 而波高和周期各約為 2m 和 7 秒。

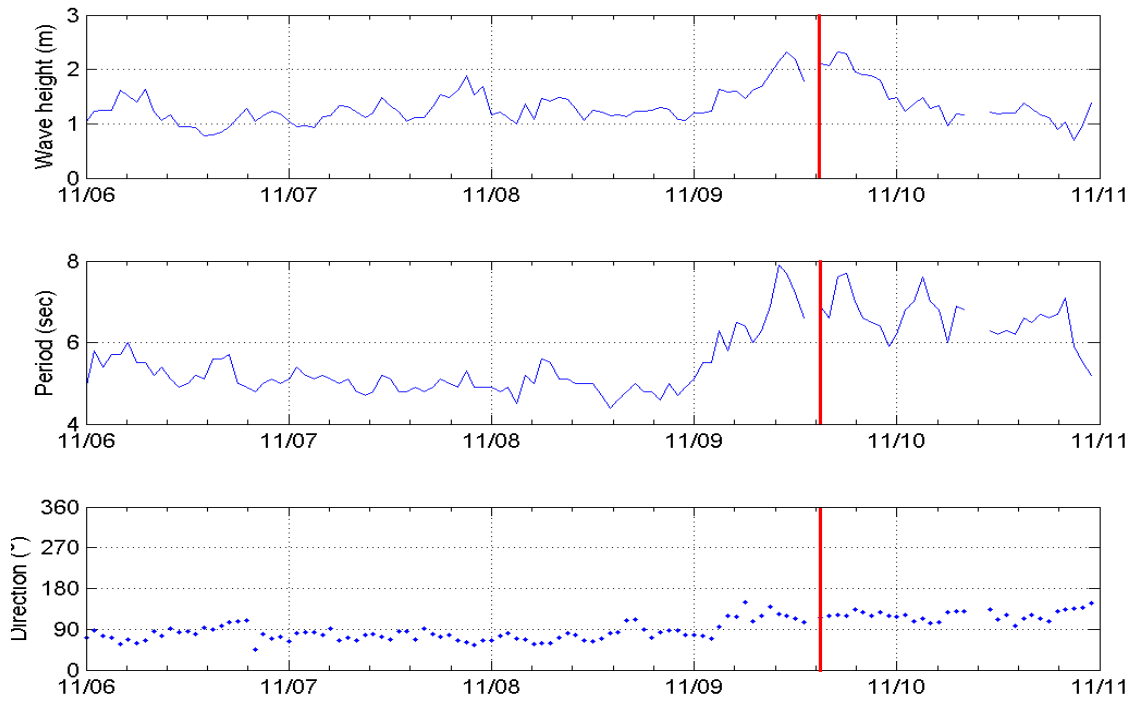


圖 2.4 2013 年龍洞瘋狗浪事件前後之波浪觀測波高、週期與波向

2.3 利用文字探勘蒐集異常波浪引致花蓮海岸公路災害之案例

文字探勘是近年來隨著人工智慧和自然語言處理技術發展的一門新興技術文字探勘 (Text Mining) 主要是針對半結構化 (Semi-structured) 或非結構化 (Unstructured) 儲存格式的文件資料進行探勘, 從非結構化的文字中, 萃取出有用的資訊或知識 (Fayyad et al. 1996)。

網路爬蟲是一種「自動化瀏覽網路」的程式(網路爬蟲被廣泛用於網際網路搜尋引擎或資料蒐集網站, 用以取得或更新網站的內容。網路爬蟲可以自動收集所有頁面內容, 供文字探勘演算法做探勘 (分析處理下載的頁面), 然後進一步得到隱含在網頁內容中之資訊(圖 2.5)。



圖 2.5 利用 google site 於特定新聞來源搜尋關鍵字結果

本研究利用文字探勘的技術來自動蒐集異常波浪及海岸公路的新聞資料, 在分析文字資料時, 我們經常會遇到字詞出現在許多個文件之中, 一般而言, 這些頻繁出現的字詞, 並沒有包含著有用的資訊或是可供分辨上下文語意的資訊, 一個有用的技術 tf-idf 可以解決這項問題, tf-idf 是一種在文字探勘、資訊檢索中常用的加權技術 (Salton 和 Buckley 1988), 也是一種統計方法, 主要是評估一個字詞 (term) 對

一個文件集或一份文件的重要程度，字詞的重要性隨著它在文件中出現的次數成正比增加，但同時會隨著它在語料庫中出現的頻率成反比下降，在一份給定的文件裡，詞頻(term frequency, tf)指的是某一個給定的詞語在該文件中出現的頻率，對於在某一特定文件裡的字詞 t_i 來說，它的重要性可表示為：

$$tf_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{\sum_k n_{k,j}}$$

以上式子中 $n_{i,j}$ 是該詞在文件 d_j 中的出現次數，而分母則是在文件 d_j 中所有字詞的出現次數之和。

逆向文件頻率(inverse document frequency, idf)是一個詞語普遍重要性的度量，逆向文件頻率則可以用以下公式計算出來：

$$idf(t, d) = \log \frac{n_d}{1 + df(d, t)}$$

n_d 為文件的總數，而 $df(d, t)$ 表示包含字詞 t 的文件檔 d 的數量，而對數函數(log)的使用則是確保低頻的文件，不會被賦予一個太大的加權，tf-idf可將特徵向量中常見的字詞的加權給降低，保留重要的字詞，因此，tf-idf可以定義為詞頻與逆向文件頻率的乘積。並透過語意辨識及文章相似度來辨識相同的事件，並將相關的新聞事件標記時間、地點，如圖 2.6。

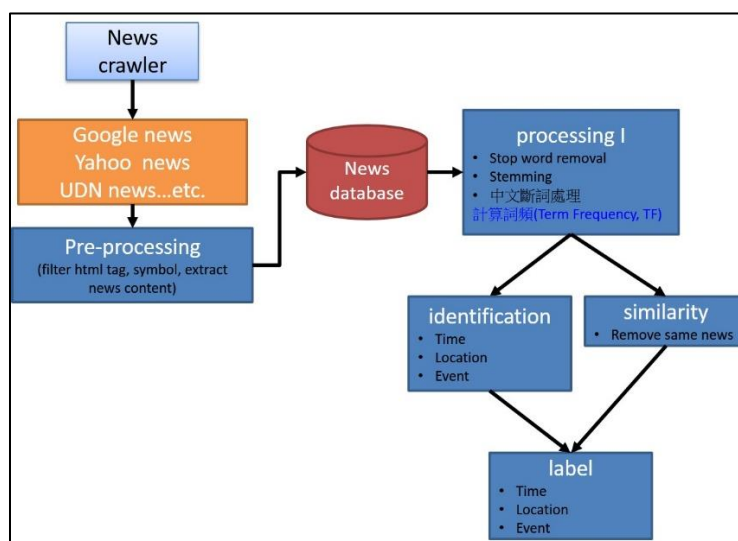


圖 2.6 新聞蒐集及事件辨識流程

利用網路爬蟲爬回相關的新聞結果例如圖 2.7a 及圖 2.7b。因本計畫以臺灣東部海岸地區與海岸公路可能受到颱風波浪或異常浪等長波侵襲為軸，目前以關鍵字「瘋狗浪+公路」、「瘋狗浪+花蓮」、「瘋狗浪+台 11 線」、「浪襲+花蓮」、「浪襲+台 11 線」、「颱風+壽豐+豐濱+吉安」作為檢索，其中符號「+」為部臨檢索。從網路爬蟲的新聞結果中再挑選出與浪襲台 11 線比較有關的部分，最後蒐集整理出的新聞如表 2.1 及圖 2.8a-2.8b，並以現有蒐集之新聞資料作分析。



圖 2.7a 利用 google site 於特定日期搜尋關鍵字結果

1	http://news.ltn.com.tw/news/society/breakingne...	輕製艾利影響中央應變中心：嚴防離岸流、瘋...	自由時報電子報 - 2016年10月5日
2	http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article...	瘋狗浪奪8命	蘋果日報 - 2013年11月9日
3	http://news.ltn.com.tw/news/life/paper/9226008...	遊客落海身亡阿朗古遺孀封閉	自由時報電子報 - 2015年10月10日
4	http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/1061...	翻船39小時他因腦體奇蹟生還	自由時報電子報 - 2016年12月11日
5	http://www.chinatimes.com/newspapers/201504...	花蓮海岸 瘋狗浪奪2命	中時電子報 - 2015年4月3日
6	http://www.nownews.com/n/2016/12/04/232729...	小琉球漁民無膠筏出港捕魚疑遭「瘋狗浪」打...	NOWnews - 2016年12月3日
7	http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/9580...	5公尺瘋狗浪推釣客1死1傷	自由時報電子報 - 2016年2月14日
8	http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/9629...	烏石港衝浪區瘋狗浪捲走中國男大生	自由時報電子報 - 2016年2月28日
9	http://www.setn.com/News.aspx%3FNewsID%3D...	瘋 / 美麗殺機！七星潭恐怖奪命當地人都不敢...	三立新聞網 (新聞發布) - 2016年4月7日
10	http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1...	天鵬長浪直撲東海岸成大：陣速近百公里	自由時報電子報 - 2015年8月20日
11	http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/1066...	釣客沒穿救生衣最重可罰90萬	自由時報電子報 - 2016年12月28日
12	http://www.ettoday.net/news/20160910/773085...	池上車禍欲備1男1女逃過「瘋狗浪」 獲贖贖山...	ETtoday - 2016年9月10日
13	http://news.ltn.com.tw/news/society/breakingne...	釣客要抓牛港落海出動直升機吊掛救援	自由時報電子報 - 2016年3月24日
14	https://www.walkerland.com.tw/article/view/1242...	【綠島景點】置身秘境的藍洞內尋美人蝦，...	WalkerLand 窩客島 (新聞發布) (註冊) (網誌) - ...
15	http://news.abc.net.tw/news.php%3Fnid%3D391...	海馬圈龜處快電三發海警5問答告訴你影響程度	奧森新聞 (新聞發布) - 2016年10月17日
16	http://www.ettoday.net/news/20140506/354141...	鼻頭角瘋狗浪8死基檢認定「突發天災」 無人為...	ETtoday - 2014年5月6日
17	http://www.ettoday.net/news/20160909/772440...	殺人案判無罪...惡男假釋酒駕砍人穿短褲駭...	ETtoday - 2016年9月9日
18	http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1...	艾利海警解除花東、南部山區仍須嚴防豪雨	自由時報電子報 - 2016年10月5日
19	http://appweb.cna.com.tw/webm/menu/akey/20...	川督提名新國防部長馬提斯綽號瘋狗	中央通訊社 - 2016年12月1日
20	http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article...	宜蘭台東也湧浪釣客1死3失蹤	蘋果日報 - 2013年11月9日
21	http://news.ltn.com.tw/news/society/breakingne...	雲林草嶺堤埝再傳苗栗夫妻落水溺斃	自由時報電子報 - 2016年12月5日
22	http://www.appledaily.com.tw/realtimeneews/artic...	【費用影片】瘋狗攻擊怎麼辦專家教你這兩招	蘋果日報 - 2016年8月12日
23	https://news.housefun.com.tw/news/article/1722...	成大預測：東部外海將掀浪10樓電	好屋News - 2016年7月7日
24	http://www.cna.com.tw/news/firstnews/20161222...	川督提名任賢易顧問勃瓦洛主張對陸強硬[影]	中央通訊社 - 2016年12月21日
25	http://news.ltn.com.tw/news/society/breakingne...	自排照開手排重冤死海巡審理：因偵資法未修照	自由時報電子報 - 2016年3月1日

圖 2.7b 網路爬蟲蒐集新聞結果

表 2-1 新聞蒐集相關浪襲公路事件

編號	日期	標題	事件地點	颱風	災情	管制措施
1	2015/8/8	人定不勝天!?花蓮「人定勝天碑」不見	台 11 線 62.1K	強颱風蘇迪勒	單線地基流失	單線雙向通行
	來源：自由時報 https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1405399					
2	2015/8/8	花蓮「人定勝天碑」遭捲入海！ 台 11 線先開放單線雙向	台 11 線 62K 至 63K	強颱風蘇迪勒	單線地基流失	單線雙向通行
	來源：ETtoday 新聞 https://www.ettoday.net/news/20150808/546984.htm#ixzz6BjnF8DVT					
3	2015/8/8	蘇迪勒肆虐 人定勝天碑也倒	台 11 線 62K	強颱風蘇迪勒	淘空路基	
	來源：聯合新聞網 https://video.udn.com/news/354335					
4	2015/8/9	颱風蘇迪勒強風豪雨 全台 5 死百傷災情慘	台 11 線 62K	強颱風蘇迪勒	單線地基流失	
	來源：中央社 https://www.cna.com.tw/news/firstnews/201508080432.aspx					
5	2015/8/23	大浪沖刷! 台 11 線邊坡崩落	台 11 線 47.6k	強颱風天鵝	路肩邊坡流失	架設護欄
	來源：華視新聞 http://news.cts.com.tw/cts/general/201508/201508231651845.html#.Vdml4u5_p8					
6	2016/9/27	梅姬大浪拍擊台 11 線！漂流木、礫石飛上岸	台 11 線 62K 至 63K	中颱梅姬	浪襲道路	全面封路
	來源：自由時報 https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1838616					
7	2018/9/28	台 11 線 61.5k 花蓮豐濱鄉人定勝天路段路基掏空道路封閉	台 11 線 61.5K	強颱風潭美	路基掏空	全面封路
	來源：公路總局 https://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/news/news_details?node=eeb33aa6-58a1-4d5d-b6aa-28dd4d5270b0&id=3283263d-71a8-4b13-8572-286f3d39e232					
8	2018/9/28	颱風掏空路基 海岸公路花蓮豐濱鄉段封閉至 10 月 1 日	台 11 線 61.5K	強颱風潭美	路基掏空	全面封路
	來源：中時 https://www.chinatimes.com/realtimenews/20180928004176-260402?chdtv					
9	2018/9/29	台 11 線人定勝天路段路基掏空 緊急搶修明天上午恢復通行	台 11 線 61.5K	強颱風潭美	路基掏空	單線雙向通行
	來源：新頭殼 https://newtalk.tw/news/view/2018-09-29/145822					
10	2018/9/29	潭美掀浪！花蓮台 11 線豐濱人定勝天路段路基掏空 道路封閉	台 11 線 61.5K	強颱風潭美	路基掏空	單線雙向通行
	來源：ETtoday 新聞雲 https://www.ettoday.net/news/20180929/1269316.htm					
11	2018/9/29	潭美颱風掀浪 花蓮台 11 線豐濱段路基掏空	台 11 線 61.5K	強颱風潭美	路基掏空	單線雙向通行
	來源：中央社 https://www.cna.com.tw/news/ahel/201809290031.aspx					
12	2018/9/30	搶修 8 小時 花蓮豐濱人定勝天段單線雙向通行	台 11 線 61.5K	強颱風潭美	路基掏空	單線雙向通行
	來源：聯合新聞網 https://news.housefun.com.tw/news/article/162895208427.html					

人定不勝天？！花蓮「人定勝天碑」不見了



當年由花蓮縣長胡子萍所立的「人定勝天碑」不見了，碑體很可能已經被打落海中！路過民眾說「被大海討回去了」。(記者花孟環攝)

2015-08-08 11:55:02

〔記者花孟環／花蓮報導〕蘇迪勒颱風掃過花蓮東海岸，花蓮豐濱鄉台11線62.1K「人定勝天碑」路段，有40公尺道路路基流失，就連當年台11線築路時所立、突出海崖的「人定勝天」碑都被大浪打到不見蹤影！



台11線「人定勝天碑」路段剛好是突出海面的岬角彎道，被大浪淘空路基。(記者花孟環攝)



台11線道路中斷，路基被蘇迪勒颱風帶來的巨浪挖空。(記者花孟環攝)

圖 2.8a 相關浪襲公路新聞資料

梅姬大浪拍擊台11線！漂流木、礫石飛上岸



大浪拍上台11線，夾在浪花中的石塊跟漂流木簡直跟砲彈一樣嚇人。(記者花孟環攝)

2016-09-27 15:15:00

〔記者花孟環／花蓮報導〕梅姬颱風直撲東台灣，登陸地點還不斷北移，首當其衝位於東海岸的花蓮縣豐濱鄉，上午風浪強勁，一波波長浪不斷從外海打上岸，公路62K人定勝天路段直到下午仍持續有浪擊，大浪及強風夾帶砂石、漂流木飛上公路，令人驚心，公路局緊急封閉50~63K路段！

圖 2.8b 相關浪襲公路新聞資料

以蒐集新聞分析結果而言，近年來台 11 線花蓮海岸公路的人定勝天碑路段(道路里程約 61K 到 63K) 因離海岸近，較易於颱風期間受到長浪的影響，常為公路總局公告之浪襲路段。如 2015 年 8 月蘇迪勒颱風期間，除了人定勝天碑被海浪打落海面之外，同時使道路的地基流失(圖 2.8a)，讓相關單位採取單線雙向通行的措施。又如 2016 年 9 月梅姬颱風期間，該路段出現浪花夾帶碎石波及道路路面的情形(圖 2.8b)。除了上述新聞事件外，2018 年 9 月潭美颱風期間公路局亦在台 11 線 61k+400 附近拍攝到浪襲道路的情況，如圖 2.9。



圖 2.9 2018 年 9 月 28 日晚間 61K+400 附近浪襲影像

附註：(公路總局第四區養護工程處提供)

第三章 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段

除了透過第二章的方式蒐集近年來在台 11 線花東海岸公路發生災害之網路新聞案例來加以分析之外，另可利用波浪模式的數值模擬針對海岸公路離海岸線較近的區段，模擬類似颱風期間發生的海況對海岸公路可能造成的影響，進而評估颱風期間海岸公路通行的安全性。另外也可了解海岸公路靠海側的邊坡是否會受到海浪的衝擊，藉此為公路的邊坡防護補強提供一個參考。本研究選擇 XBeach 波浪模式作為研究工具，搭配內政部的陸域地形以及海洋學門資料庫的海域地形來建立模式地形，再從台 11 線公路靠海的路線中挑選出 8 個離海岸線較近的區段進行類颱風期間的海況模擬，最後根據模擬結果給予海岸公路浪襲的初步評估。

3.1 XBeach 模式簡介

本研究使用的 XBeach 波浪模式為聯合國教科文組織、荷蘭 Deltares 機構和代爾夫特理工大學以及美國邁阿密大學聯合開發的一套開放原始碼的數值模式。最初開發是作為短波平均(short-wave averaged)，但具有波群解析能力的模型，允許解析波群尺度上的短波變化以及與之相關的長波。最早是用來模擬風暴期間在沙灘區的水動力和地形動力(Morphodynamic)的過程。經過不斷的開發後，XBeach 已可模擬短波傳播（包括折射，淺化和破碎），長波（亞重力波）傳播（包括生成，傳播和耗散）、波浪引起的非穩態流以及越流(overwash)和溢淹等水動力過程。在地形動力方面除了包含底床載(bed load)與懸浮載(suspension load)的沉積物傳輸，亦可模擬沙丘崩塌和底床破壞等地形變動。除了上述應用外，同時可加入植被或結構物等因素進行模擬。該模式使用一組預設的標準參數，並已通過一系列實驗室和現場測試案例的驗證。近年

來的應用包括利用 XBeach 非靜水壓方程以及地形變動模組來探討海岸沙丘的局部崩塌所對附近建築物區域造成的溢淹(Elsayed 和 Oumeraci, 2016)。還有 Barnard 等人(2019)結合 WaveWatch3、SWAN、Delft3d 以及 XBeach 所發展的 CoSMoS 系統(Coastal Storm Modeling System)用來探討海面上升時，颱風期間情境模擬的溢淹狀況。另外 Hewagegana 等人(2017)利用 XBeach 的 Surfbeat 模組和植被模組探討波浪通過植被時的交互作用。

XBeach 目前提供三種模式的選擇，分別是駐波模式(Stationary wave mode)、浪擊模式(Surfbeat mode)和非靜水壓模式(Non-hydrostatic mode)。駐波模式能有效率的求解波動平均方程組，但不考慮亞重力波的作用。浪擊模式則是計算波群尺度上的短波變化以及與之相關的長波。最後是非靜水壓模式，該模式由台夫特理工大學(TU Delft)開發，為相位解析模型(phase-resolving model)，使用非線性淺水方程(Non-linear shallow water equations)結合壓力校正項可對個別波的傳播和衰減進行模擬。在非靜水壓模式中，雖然不需花時間計算短波作用的平衡(Short wave action balance)，但為了解析短波和長波的運動情形，仍需要較高的空間解析度以及較小的時間步長，導致計算量比浪擊模式大很多。

非靜水壓模式的優點主要有兩大項，第一項是能模擬短波的溯升及越流現象，這些現象在陡峭的斜坡上尤其重要，例如礫石灘；而第二項優點為此模式能直接解析波浪的不對稱性(asymmetry)和偏度(skewness)，而不是透過經驗公式給予近似值。綜合以上因素，本文使用非靜水壓模式進行研究。

3.2 模式理論

3.2.1 控制方程式

為了模擬低頻波的傳播和深度平均流，模式使用淺水方程組作為控制方程。為了說明波浪引起的質量通量和隨後產生的返流，將它們轉換為深度平均的 GLM (Generalized Lagrangian Mean) 公式。在這樣的框架中，其動量和連續性方程式是使用拉格朗日(Lagrangian)速度 u^L 來表示。拉格朗日速度定義為水粒子在一個波浪週期內的傳播距離除以該週期。該速度與歐拉(Eulerian)速度（在固定點觀測的短波平均速度）的關係為：

$$u^L = u^E + u^S \text{ and } v^L = v^E + v^S \quad (3.1)$$

其中 u^S 和 v^S 分別表示 x 和 y 方向上的斯托克斯漂移 (Stokes drift)。計算斯托克斯漂移時，其中波群變化的短波能量 E_w 和方向從波作用平衡中獲得，如下：

$$u^S = \frac{E_w \cos \theta}{\rho h c} \text{ and } v^S = \frac{E_w \sin \theta}{\rho h c} \quad (3.2)$$

最後得到 GLM 動量方程如下：

$$\frac{\partial u^L}{\partial t} + u^L \frac{\partial u^L}{\partial x} + v^L \frac{\partial u^L}{\partial y} - f v^L - v_h \left(\frac{\partial^2 u^L}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u^L}{\partial y^2} \right) = \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}^E}{\rho h} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{F_x}{\rho h} + \frac{F_{v,x}}{\rho h} \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial v^L}{\partial t} + u^L \frac{\partial v^L}{\partial x} + v^L \frac{\partial v^L}{\partial y} - f u^L - v_h \left(\frac{\partial^2 v^L}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v^L}{\partial y^2} \right) = \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}^E}{\rho h} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{F_y}{\rho h} + \frac{F_{v,y}}{\rho h} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial h u^L}{\partial x} + \frac{\partial h v^L}{\partial y} = 0 \quad (3.5)$$

其中 τ_{sx} 和 τ_{sy} 是風剪應力， τ_{bx} 和 τ_{by} 是底床剪應力， η 是水位， F_x 和 F_y 是波浪引起的應力， $F_{v,x}$ 和 $F_{v,y}$ 是植被造成的應力， v_h 為水平黏滯力， f 為科氏係數。

3.2.2 水平黏滯力

水平黏滯力 v_h 使用 Smagorinsky(1963)模型作計算，以解決空間尺度小於計算網格尺寸的水平動量交換，公式如下：

$$v_h = c_s^2 2^{\frac{1}{2}} \sqrt{\left(\frac{\delta u}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta v}{\delta y}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y}\right)^2} \Delta x \Delta y \quad (3.6)$$

3.2.3 底床剪應力

底床剪應力 (τ_b) 公式使用 Ruessink 等(2001)的方法，其中包含跟平均流以及長波有關的底床摩擦。需注意底床剪應力公式所用的是歐拉速度，如下：

$$\tau_{bx}^E = c_f \rho u_E \sqrt{(1.16 u_{rms})^2 + (u_E + v_E)^2} \quad (3.7)$$

$$\tau_{by}^E = c_f \rho u_E \sqrt{(1.16 u_{rms})^2 + (u_E + v_E)^2} \quad (3.8)$$

其中 c_f 為底床摩擦係數，XBeach 提供蔡司(Chezy)、曼寧(Manning)公式等 5 種不同方式來定義 c_f 。在此選擇預設的蔡司公式，如下：

$$c_f = \sqrt{\frac{g}{c^2}} \quad (3.9)$$

在此使用典型的Chezy值，即 $c = 55 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ 。

3.2.4 非靜水壓校正

XBeach 的非靜水壓計算除了使用非線性淺水方程，亦考慮非靜水壓力來計算波浪和海流引起的深度平均流。非靜水壓模式考慮了淺水

方程中包括短波在內的所有波浪運動，使用類似於 SWASH 模型 (Zijlema 等人,2011) 垂直單層版本的方法推導深度平均正規化的動壓 (q)。通過假設表面處的動壓為零並且隨深度呈線性變化，即可利用表面和底床的動壓值求得深度平均動壓。為了計算底床的正規化動壓，在此忽略平流和擴散項對垂直方向動量平衡的影響，計算動壓的方式如下式：

$$\frac{\delta w}{\delta t} + \frac{\delta q}{\delta z} = 0 \quad (3.10)$$

其中 w 為垂直速度， z 為垂直方座標。而床層的垂直速度 w_b 由運動邊界條件決定，如下式：

$$w_b = u \frac{\delta(\eta-h)}{\delta x} \quad (3.11)$$

結合由 Stelling 和 Zijlema(2003) 應用 Keller-box 的方法 (Lam 和 Simpson,1976) 來描述垂直方向的壓力梯度，可以通過以下方法表示底床的動壓力 q_b ：

$$q_b = -\frac{h}{2} \left(\frac{\delta q}{\delta z} \Big|_s + \frac{\delta q}{\delta z} \Big|_b \right) \quad (3.12)$$

而表面的垂直動量平衡則以下面的公式來描述：

$$\frac{\delta w_s}{\delta t} = 2 \frac{q_b}{h} - \frac{\delta w_b}{\delta t} \quad (3.13)$$

其中 w_s 是指表面的垂直流速。藉由結合當地的連續方程式來求解底床的動壓力，如下式：

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{w_s - w_b}{h} = 0 \quad (3.14)$$

3.3 模式地形

台 11 線模擬所使用的海域地形為海洋學門資料庫網格解析度 0.12 分之水深資料，區域範圍如圖 3.1。陸域地形資料則是由內政部地政司所提供之 5m 解析度 DEM(Digital Elevation Model)數值地形，其中平面座標採用內政部 1997 臺灣大地基準(TWD97)，而高程座標則採用內政部 2001 臺灣高程基準(TWVD2001)，本研究從台 11 線中選取 8 個離海岸線較近的路段，各路段的緯度範圍如表 3-1。8 個路段區域附近的 DEM 地形如圖 3.2 到 3.4 所示。

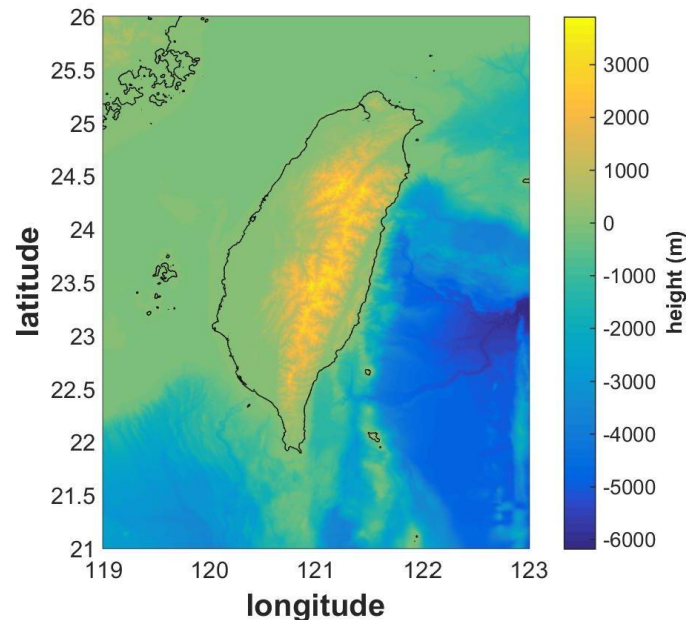


圖 3.1 海洋學門資料庫解析度 0.12 分之水深資料

考慮到海、陸域的地形解析度不同所呈現的海岸線不一致，在此先將海域地形由經緯度座標轉 TWD97 座標，然後內插成與陸域地形一致的 5m 解析度數值地形。地形整合的過程中，海域地形只取水深超過 20m 的地形，而水深介於 0 到 20m 的區域則以內插方式補足。為了讓邊界入射條件一致，在此將 8 個模擬區域的入射邊界附近的海底地形設定為相同深度。考量國內的波浪觀測站所在位置的水深通常約為 30m，故在此設定模式的地形最大水深為 30m。地形整合最後的結果如圖 3.5 到 3.8，提供給 Xbeach 模式作為模擬地形。

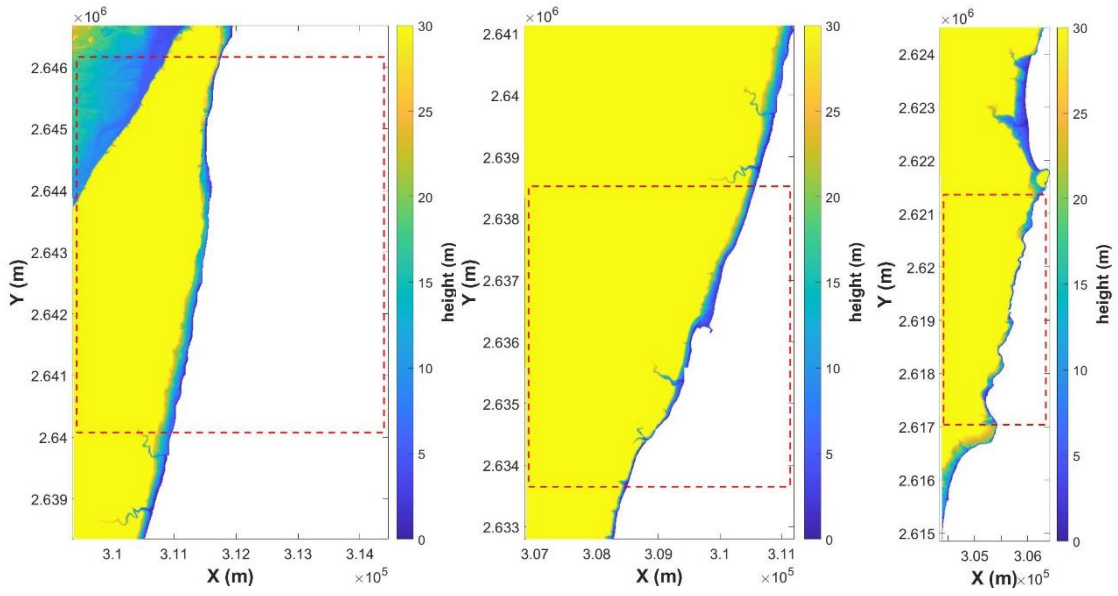


圖 3.2 左到右各為第 1 到 3 模擬區域所用的陸地地形(紅框)

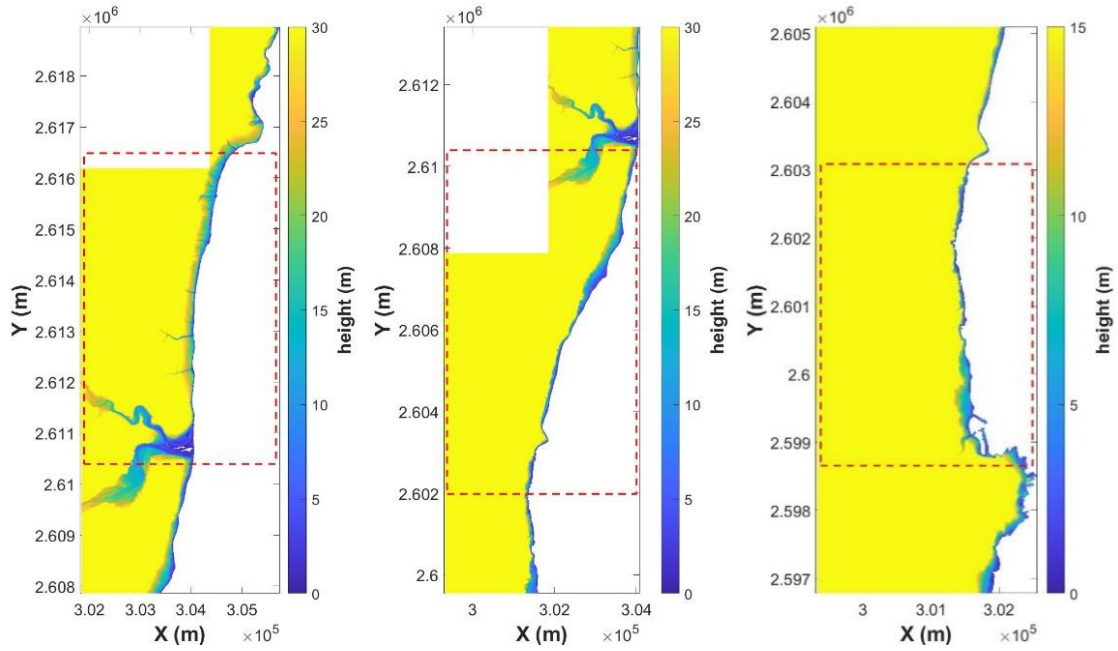


圖 3.3 左到右各為第 4 到 6 模擬區域所用的陸地地形(紅框)

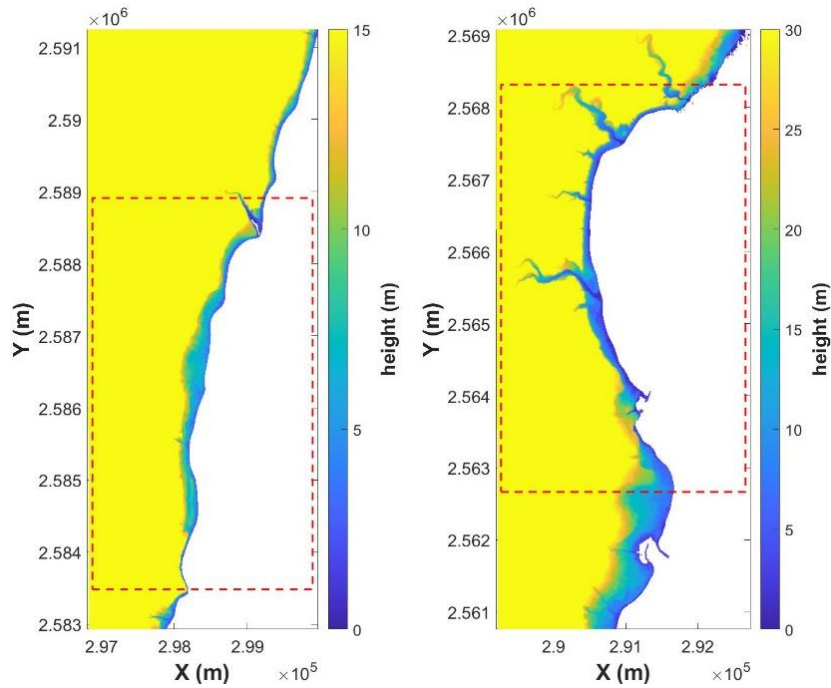


圖 3.4 左和右各為第 7 和 8 模擬區域所用的陸地地形(紅框)

表 3-1 台 11 線 8 個離海岸線較近的路段緯度範圍

區域編號	緯度區間(度)	TWD97 的 Y 座標區間(m)	行政區	台 11 線里程(K)
1	23.865 ~ 23.92	2640072 ~ 2646163	花蓮縣壽豐鄉 鹽寮村	7.5 ~ 13
2	23.807 ~ 23.851	2633649 ~ 2638522	花蓮縣壽豐鄉 鹽寮村、水璉村	15 ~ 20.5
3	23.657 ~ 23.696	2610393 ~ 2616484	花蓮縣豐濱鄉 磯崎村、新社村	38 ~ 42.5
4	23.597 ~ 23.652	2607071 ~ 2621357	花蓮縣豐濱鄉 新社村、豐濱村	43.5 ~ 49
5	23.521 ~ 23.597	2601977 ~ 2610393	花蓮縣豐濱鄉 豐濱村	51 ~ 59.5
6	23.491 ~ 23.531	2598655 ~ 2603084	花蓮縣豐濱鄉 豐濱村、港口村	58.5 ~ 63
7	23.354 ~ 23.403	2583483 ~ 2588910	臺東縣長濱鄉 樟原村、三間村	75.5 ~ 81
8	23.166 ~ 23.217	2562665 ~ 2568313	臺東縣成功鎮 博愛里、忠孝里	99 ~ 105

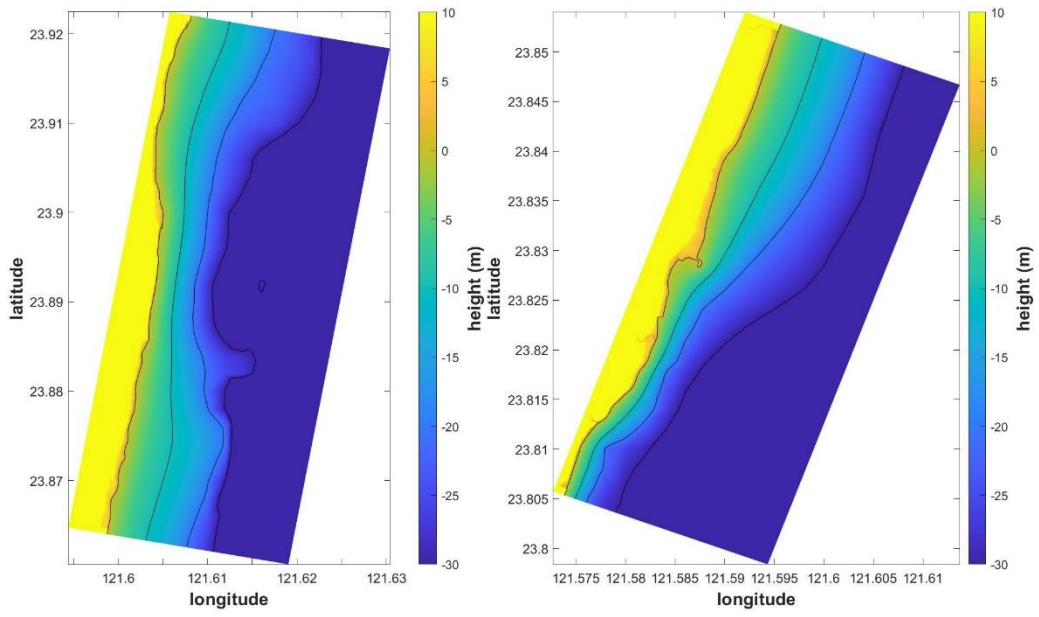


圖 3.5 左、右各為第 1、2 區的模式地形(黑色等深線的間隔 10m)

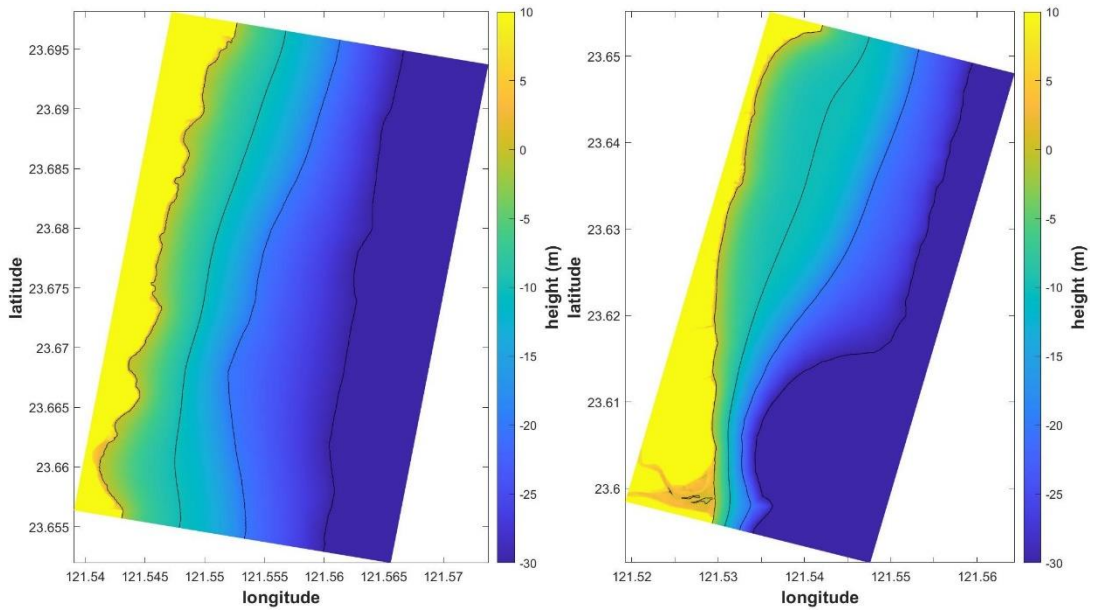


圖 3.6 左、右各為第 3、4 區的模式地形(黑色等深線的間隔 10m)

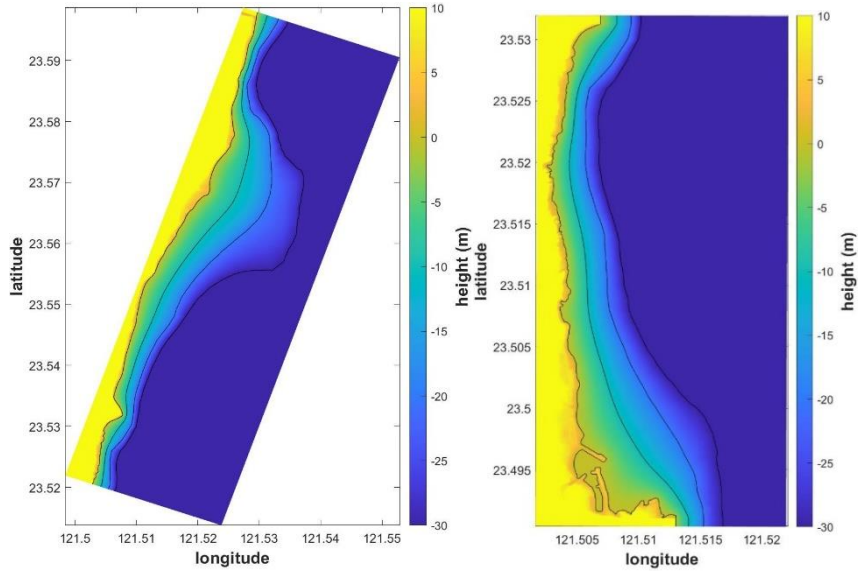


圖 3.7 左、右各為第 5、6 區的模式地形(黑色等深線的間隔 10m)

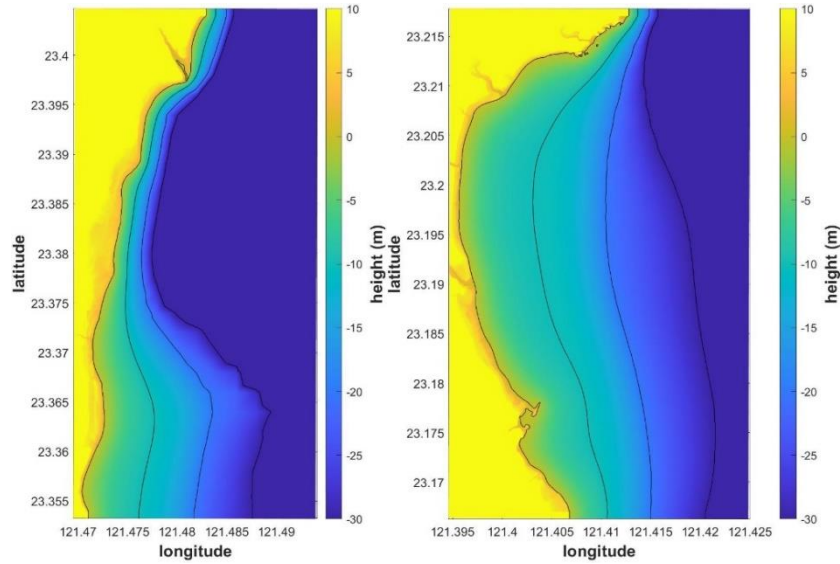


圖 3.8 左、右各為第 7、8 區的模式地形(黑色等深線的間隔 10m)

3.4 模式情境條件設定

為了解台 11 線沿岸地區受到天文潮影響的潮位範圍，在此根據氣象局利用 2017 和 2018 年的潮位觀測資料進行調和分析所得的各分潮參數所預報在花蓮港與石梯漁港 2020 年的天文潮如圖 3.9 和圖 3.10，由圖可知花蓮港的潮位變化大約介於-1m 到 1m 之間，而石梯漁港的潮位變化範圍則在-1.1m 到 1.1m 之間。根據氣象局網頁資料(圖 3.11)，吉安鄉的臺灣高程基準(TWVD 2001)比當地平均潮位高 0.12m，則可推估花蓮港的天文潮高程約在-0.9m 到 1.1m 之間。同樣豐濱鄉的高程基準比當地平均潮位高 0.24m，則可概估石梯漁港天文潮高程在-0.9m 到 1.3m 之間。

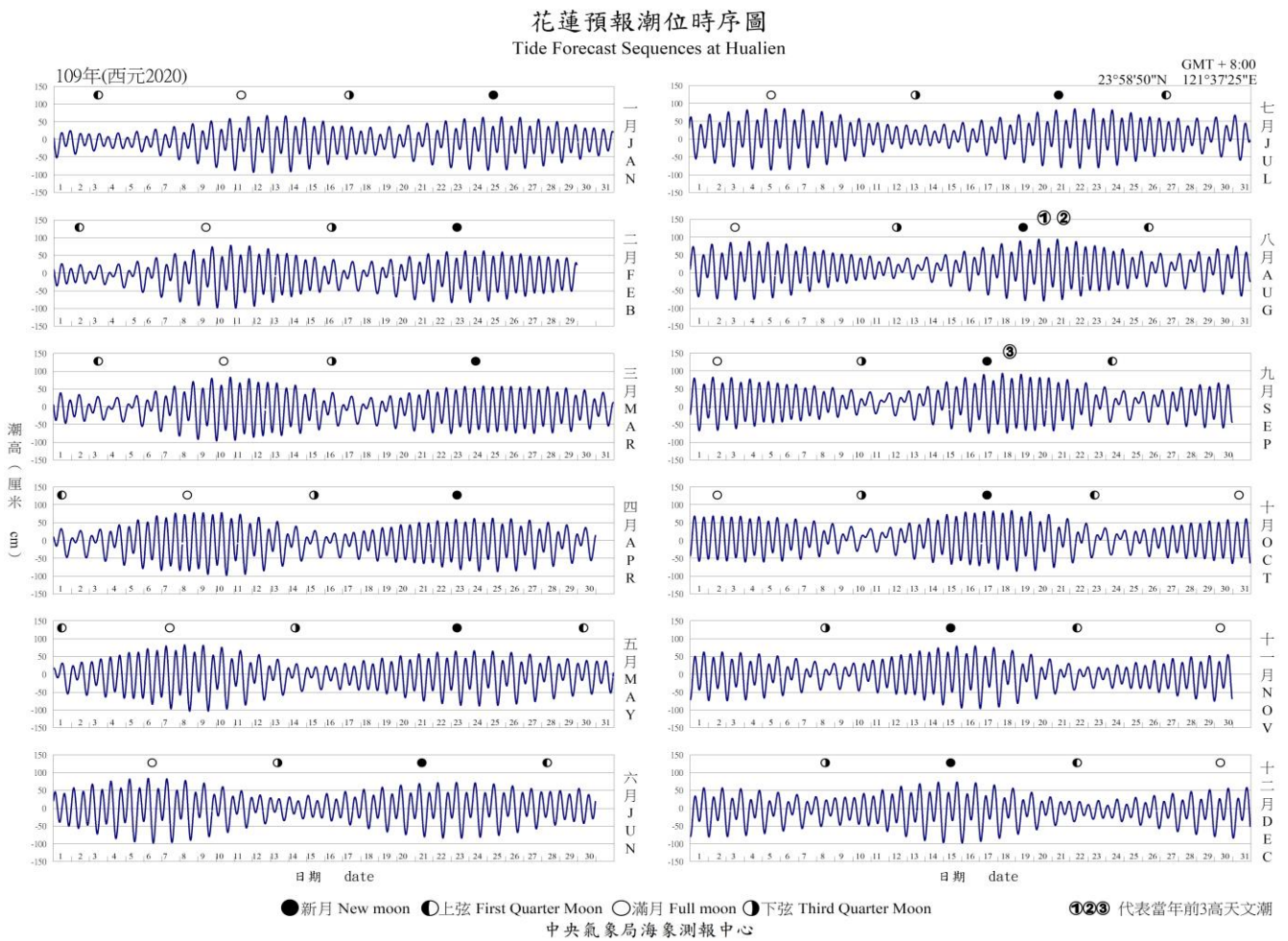


圖 3.9 花蓮港 2020 年天文潮預報

楊(2018)利用 1992 年到 2017 年的花蓮潮位站觀測資料以及 2001 到 2017 年的石梯潮位站觀測資料各別分析出資料期間花蓮站最大的暴潮偏差為 0.79m，而在石梯站為 1.3m。花蓮站的最大偏差發生時間在 2007 年柯羅莎颱風期間，而石梯站則在 2015 年蘇迪勒颱風期間。以臺灣高程基準來看，在花蓮港若以最大天文潮 1.1m 再加上 0.8m 的暴潮偏差，則可出現 1.9m 的潮位。而在石梯漁港如以最大天文潮 1.3m 如果加上 1.3m 暴潮偏差，則可出現 2.6m 的潮位。為了解暴潮期間的可能影響，在此 Xbeach 分別使用 1m、2m 和 2.6m 等三種初始水位條件作為情境潮位來進行模擬。

石梯預報潮位時序圖

Tide Forecast Sequences at Shiti

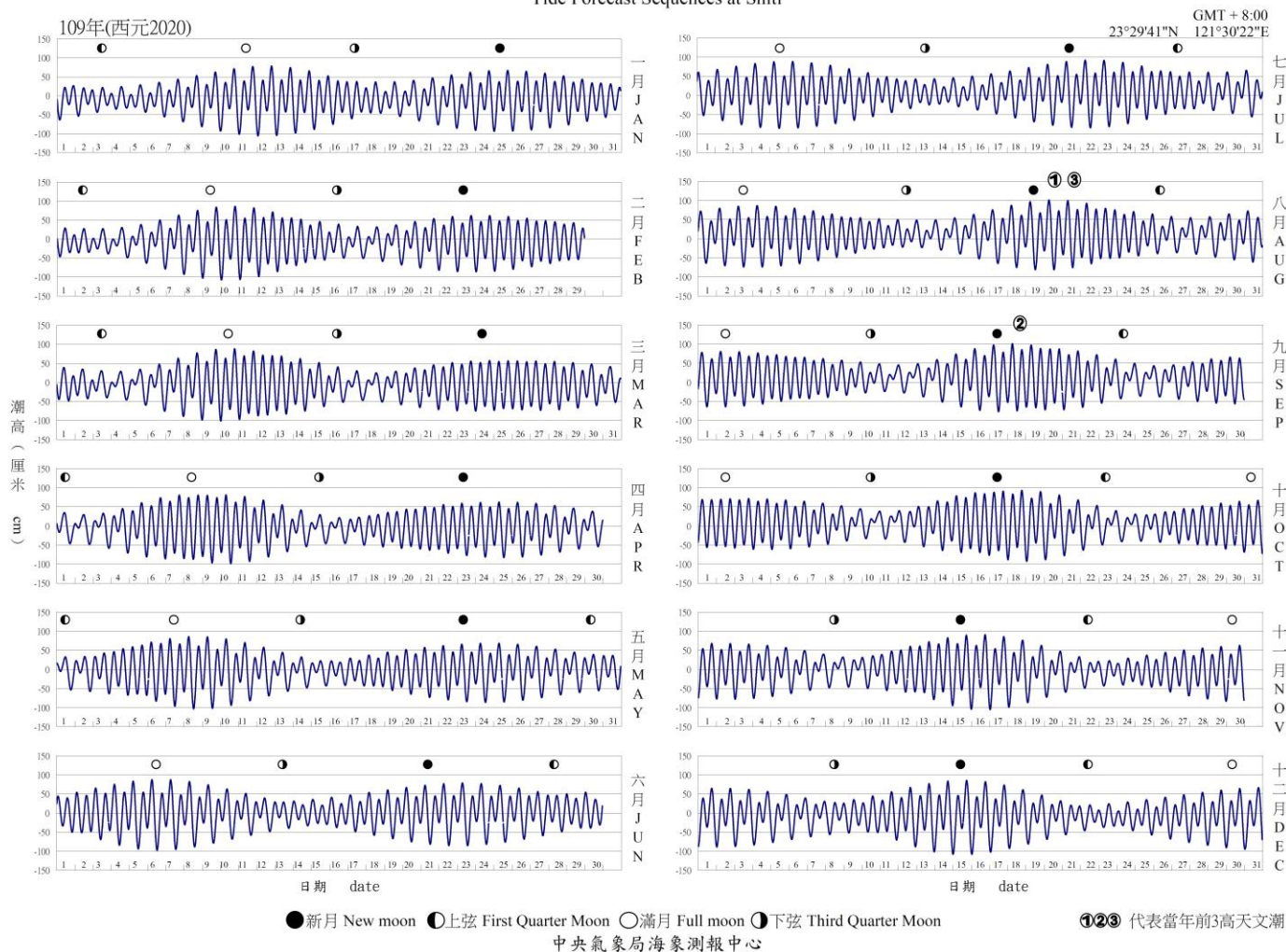


圖 3.10 石梯漁港 2020 年天文潮預報

日期	潮汐	時間	相對臺灣 高程基準	相對當地 平均海平面	相對海圖
花蓮縣 豐濱 潮差：小潮 未來30天	滿潮	02:06	34	10	118
	乾潮	07:04	19	-5	103
	滿潮	12:22	46	22	129
	乾潮	20:11	-21	-46	62
花蓮縣 壽豐 潮差：小潮 未來30天	滿潮	02:08	29	10	116
	乾潮	07:05	13	-6	100
	滿潮	12:32	40	21	128
	乾潮	20:16	-28	-47	59
花蓮縣 吉安 潮差：小潮 未來30天	滿潮	02:15	22	10	115
	乾潮	07:07	5	-7	98
	滿潮	12:56	32	21	125
	乾潮	20:26	-37	-48	56

圖 3.11 氣象局花蓮沿海的潮汐預報

藉由表 2.1 所蒐集的浪襲公路新聞事件可知事件分別發生在蘇迪勒颱風(2015)、天鵝颱風(2015)、梅姬颱風(2016)以及潭美颱風(2018)期間。在此利用港灣技術研究中心在花蓮港的 AWCP 波浪逐時統計資料來了解發生浪襲事件的颱風期間所觀測到的示性波高和尖峰週期。花蓮港 AWCP 的位置如圖 3.12，位置水深為 34m。圖 3.13 到 3.15 各為 2015 年 8 月、2016 年 9 月以及 2018 年 9 月 AWCP 所觀測的逐時示性波高和尖峰週期。在氣象局發布的颱風警報期間，蘇迪勒颱風觀測的最大示性波高值約 8.9m，而尖峰週期約 13.7 秒。颱風期間的示性波高大致在 2 到 9m 範圍內，而尖峰周期大多分布在 10 到 14 秒之間(圖 3.13 黑框)。天鵝颱風警報期間的最大示性波高約 4.2m，其尖峰週期約 14 秒，警報期間示性波高大部分在 2.5 到 4m 之間，而尖峰周期大多介於 10 到 14 秒範圍內(圖 3.13 紅框)。梅姬颱風警報期間最大示性波高約 9.1m，其尖峰週期約 12.4 秒 (圖 3.14)。潭美颱風雖然沒有發布警報，但在接近臺灣的 9 月 25 到 30 日期間的最大示性波高約 3.7m，其尖峰週期約

13 秒，示性波高大多介於 2 到 4m 範圍內，而尖峰周期分布在 10 到 15 秒之間(圖 3.15)。綜合上述四個颱風期間的觀測值，其示性波高範圍大多介於 2m 到 9m 之間，而尖峰週期在 10 到 15 秒之間。

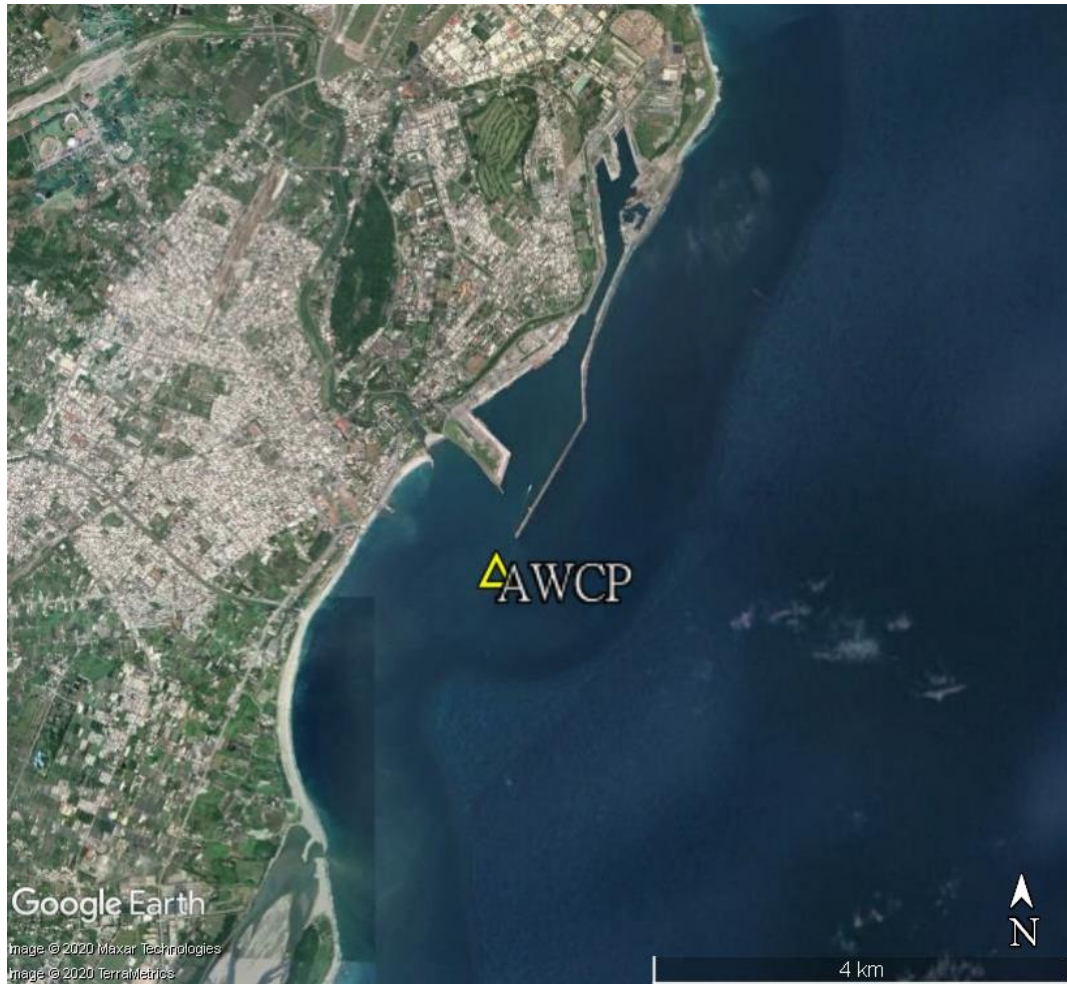


圖 3.12 花蓮港 AWCP 位置

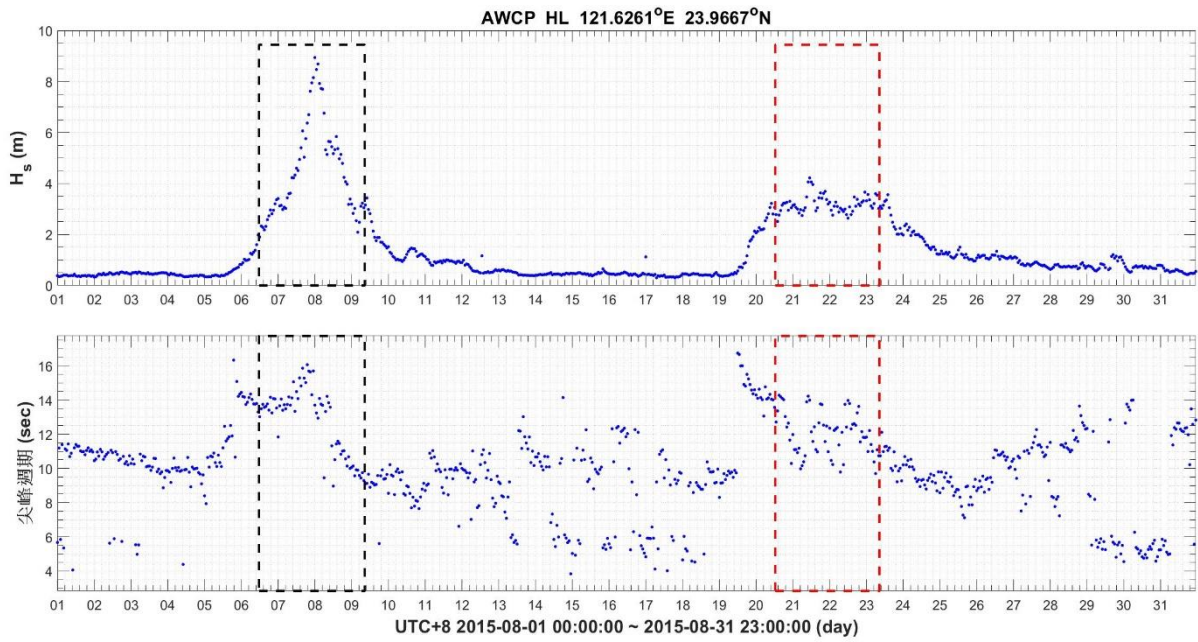


圖 3.13 花蓮港 2015 年 8 月 AWCP 的示性波高和尖峰週期

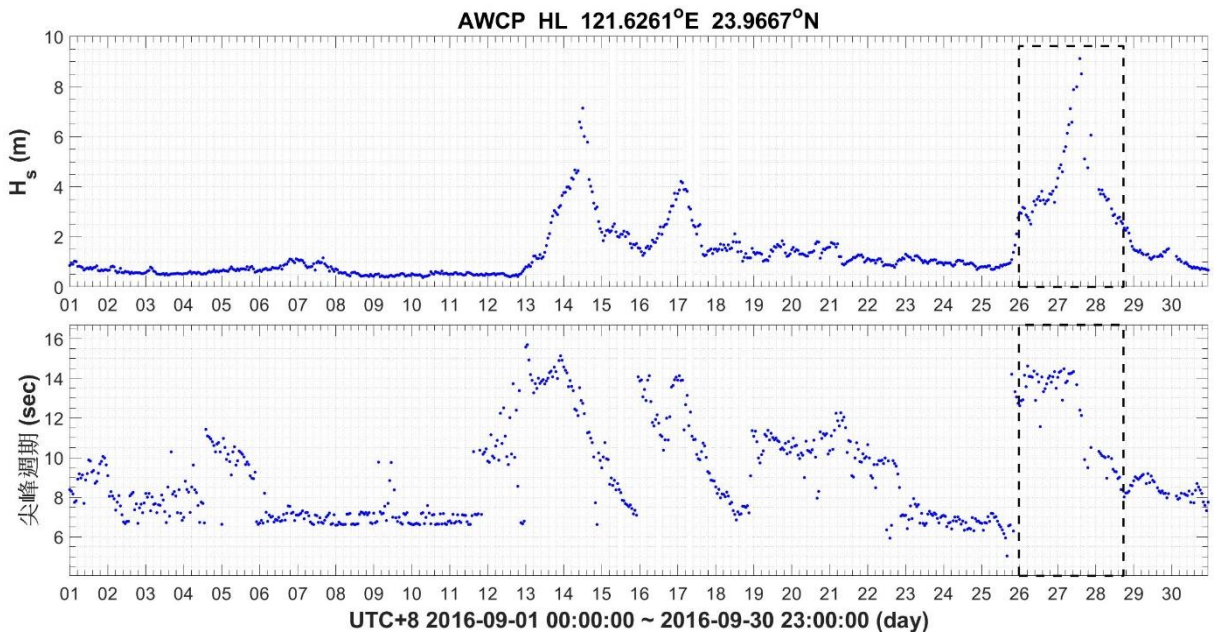


圖 3.14 花蓮港 2016 年 9 月 AWCP 的示性波高和尖峰週期

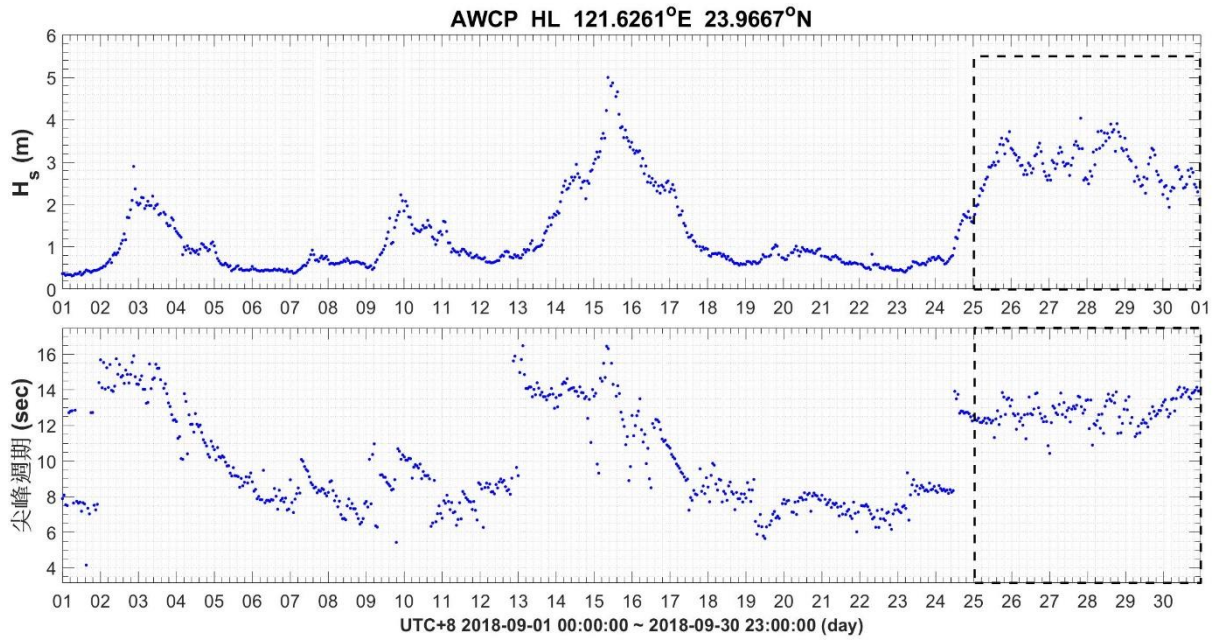


圖 3.15 花蓮港 2018 年 9 月 AWCP 的示性波高和尖峰週期

由於上述颱風期間的尖峰週期最大值接近 15 秒，故在此設定邊界的尖峰週期為 15 秒。雖然颱風期間的最大波高約 9m(圖 3.13、3.14)，在此僅將模式邊界入射的示性波高設定為 5m。表 3-2 為陳等人(2017)利用示性波高資料所計算的花蓮港極值波高重現期，根據其極值分布的模型可推算極值波高 5m 的重現期約為 1.2 年。故本模式設定的 5m 示性波高出現頻率接近於每年發生 1 次。

表 3-2 花蓮港極值波高重現期

重現期(年)	極值波高(m)	標準偏差(m)
10	8.6	0.59
25	9.52	0.71
50	10.13	0.79
100	10.69	0.87
200	11.21	0.95

模式邊界的波浪入射主要方向在此假設垂直於海岸線方向。模式利用 JONSWAP 波譜(Hasselmann et al. 1973)搭配 Longuet-Higgins(1963)的單峰方向分布函數(directional spreading function)作為入射條件。

JONSWAP 波譜如下式：

$$S(f) = \frac{0.0081g^2}{f^5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f_p}{f} \right)^4 \right] \gamma^\beta \quad (3.15)$$

$$\beta = \exp \left[-\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2} \right] \quad (3.16)$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07, & f \leq f_p \\ 0.09, & f > f_p \end{cases} \quad (3.17)$$

其中

f ：頻譜頻率(Hz)

g ：重力加速度(m/sec²)

f_p ：尖峰頻率(Hz)

γ ：尖峰集中度係數(peak enhancement factor)

單峰方向頻譜如下式所示：

$$E(f, \theta) = E(f) \cdot D(f, \theta) \quad (3.18)$$

其中

$E(f, \theta)$ ：方向能譜密度函數

$E(f)$ ：一維能譜密度函數

$D(f, \theta)$ ：角度分布函數(angular spreading function)

f ：頻率(Hz)

θ ：波向(徑度)

且 $D(f, \theta)$ 須符合下式：

$$\int_0^\infty \int_{-\pi}^\pi E(f) \cdot D(f, \theta) d\theta df = \int_0^\infty E(f) df \quad (3.19)$$

$D(f, \theta)$ 函數使用 Cosine-2S 型態，如下式：

$$D(f, \theta) = \left(\frac{2(2s-1)}{\pi} \right) \left(\frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)} \right) \cos \left(\frac{\theta - \theta_{mean}}{2} \right)^{2s} \quad (3.20)$$

其中

Γ : Gamma 函數

θ_{mean} : 平均波向(徑度)

s : 方向分佈係數

給定入射波平均波向 θ_{mean} 以及分布係數 s 後可得到一個波向的分布。在此設定 s 值為 1024，其波向分布範圍介於平均波向的正、負 10 度左右，屬於方向分佈集中的型態， $\cos \left(\frac{\theta - \theta_{mean}}{2} \right)^{2s}$ 分布值函數如圖 3.16。

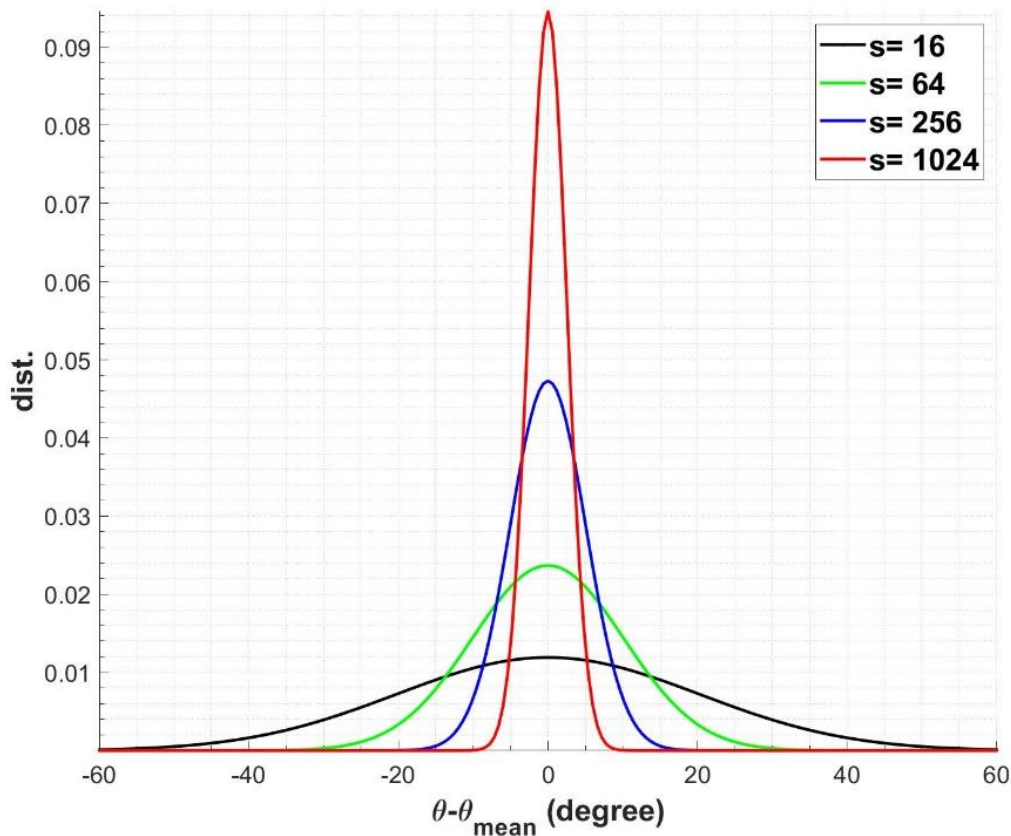


圖 3.16 JONSWAP 邊界條件的方向分布函數

另外針對從模擬區域內離開海洋邊界的波浪進行波能吸收，其目的

是降低邊界的反射。而側邊界則使用 Neumann 邊界條件，參照圖 3.17。本計畫在 8 個區域各別對應 3 種潮位進行模擬，總共 24 個情境，參見表 3-3。其他相關的參數設定列於表 3-4。

表 3-3 台 11 線 8 個路段區域對應 3 種潮位的情境

情境編號	區域編號	平均波向 (degree)	潮位(m)	緯度區間(度)		台 11 線里程
1a	1	90	1	23.865	23.92	7.5K 到 13K
1b			2			
1c			3			
2a	2	90	1	23.807	23.851	15K 到 20.5K
2b			2			
2c			3			
3a	3	90	1	23.657	23.696	38K 到 42.5K
3b			2			
3c			3			
4a	4	109	1	23.597	23.652	43.5K 到 49K
4b			2			
4c			3			
5a	5	105	1	23.521	23.597	51K 到 59.5K
5b			2			
5c			3			
6a	6	100	1	23.491	23.531	58.5K 到 63K
6b			2			
6c			3			
7a	7	110	1	23.354	23.403	75.5K 到 81K
7b			2			
7c			3			
8a	8	100	1	23.166	23.217	99K 到 105K
8b			2			
8c			3			

表 3-4 Xbeach 模式相關參數設定

模式設定		附註
模擬時間 (min)	30	
網格解析 (m)	5	
Chezy 值	55	3.9 式底床摩擦係數
邊界條件設定		
fp (Hz)	0.0667	3.15 式(JONSWAP)
Υ	3.3	3.15 式(JONSWAP)
s	1024	3.20 式分布係數
示性波高 (m)	5	

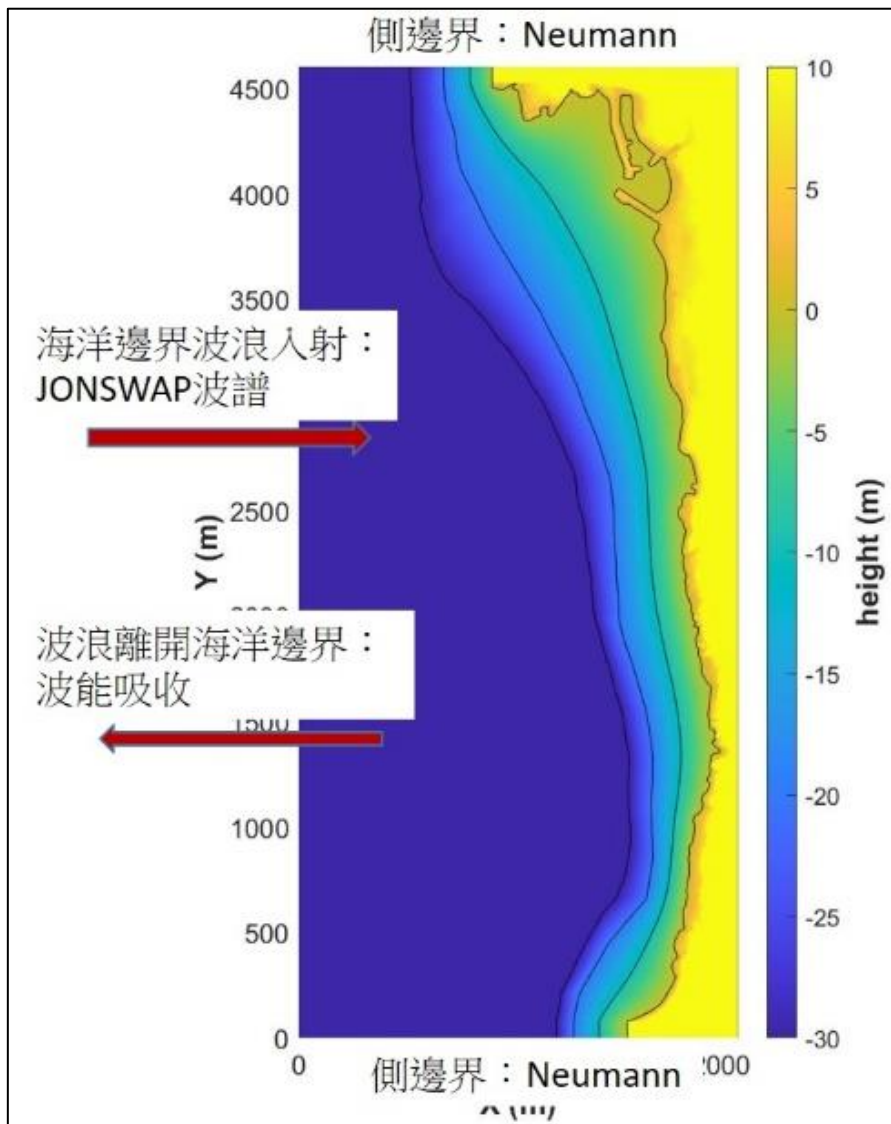


圖 3.17 模式邊界條件設定

3.5 模擬結果

情境溢淹範圍的計算以第 6 區潮位 2m 的情境 6b 為例，圖 3.18 到 3.21 是分別是模擬時間第 60、600、1200 以及 3600 秒的水位和流速的空間分布。當完成情境模擬時，可得到情境模擬期間的最大水位空間分布。在此將模擬期間陸地網格的最大溢淹水位超過 1cm 的區域視為溢淹範圍。模擬完 24 個情境後，便可計算取得各自的情境溢淹範圍。圖 3.22 為 8 個道路區段在潮位 1m 情境下所得到的陸地溢淹水位空間分布(情境編號 1a 到 8a)。圖 3.23 為 8 個區段在潮位 2m 情境下所得到的溢淹水位分布(情境編號 1b 到 8b)；最後是在潮位 2.6m 模擬所得到 8 個區段的溢淹範圍分布(情境編號 1c 到 8c)如圖 3.24。

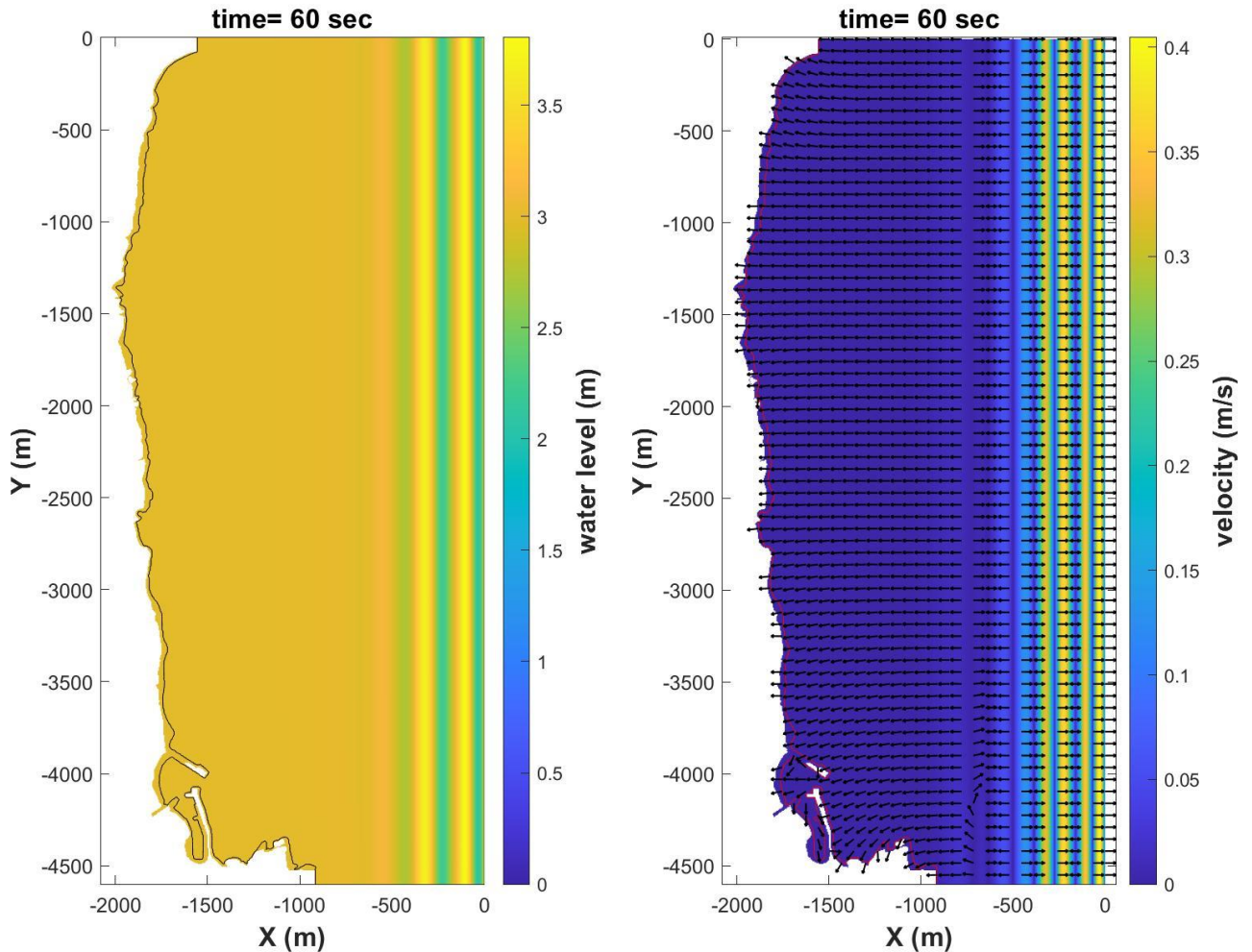


圖 3.18 情境 6b 第 60 秒的水位和流速空間分布

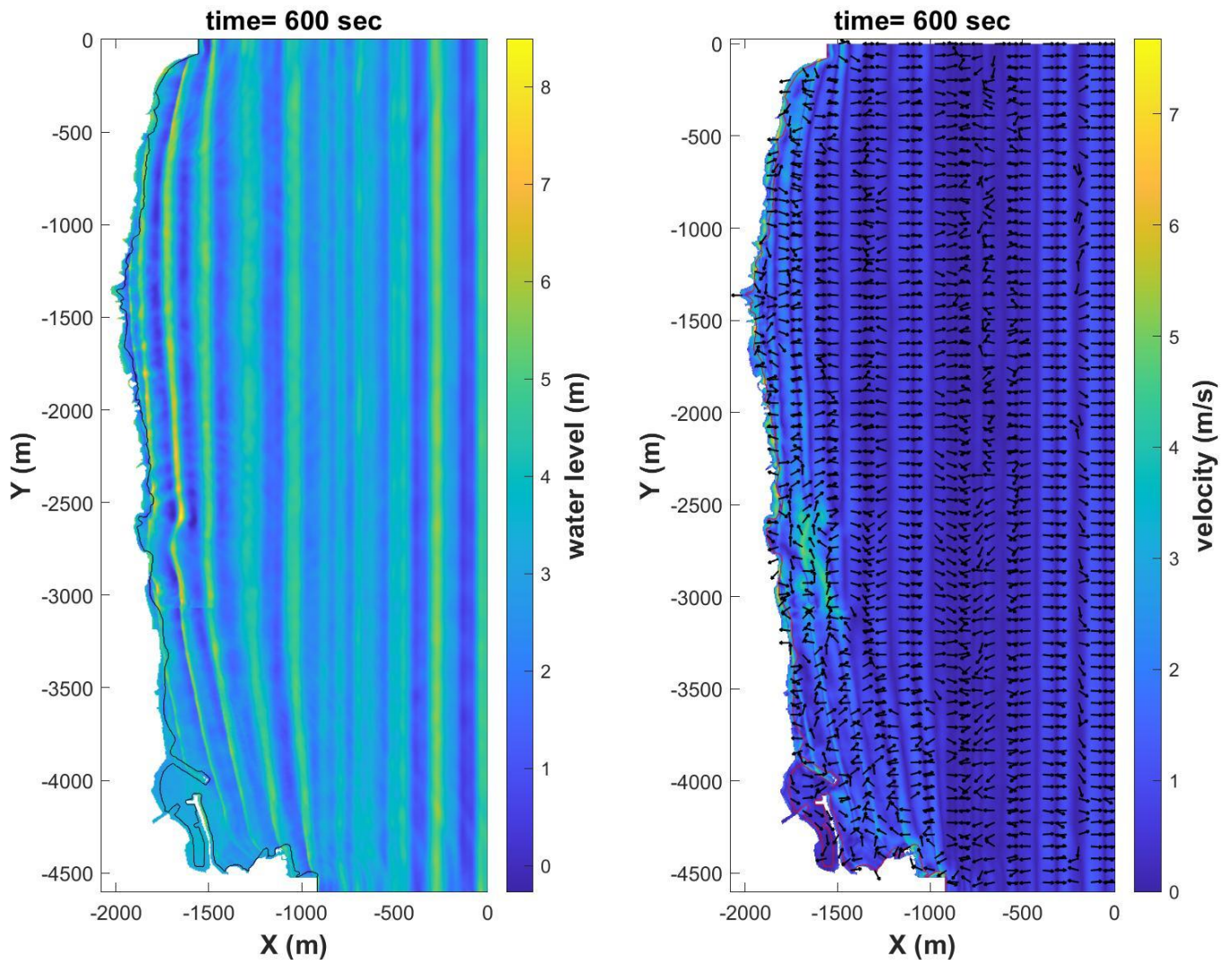


圖 3.19 情境 6b 第 600 秒的水位和流速空間分佈

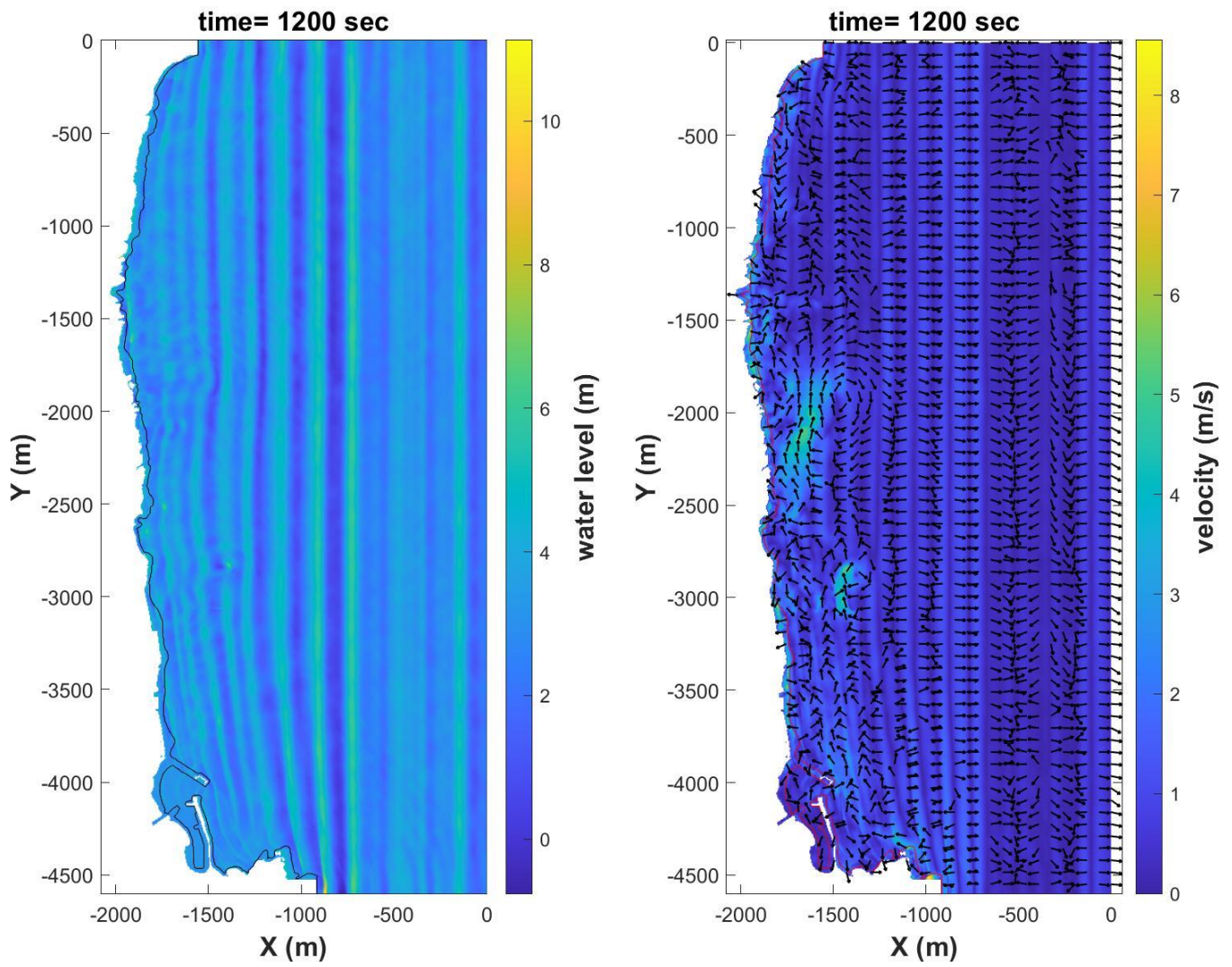


圖 3.20 情境 6b 第 1200 秒的水位和流速空間分佈

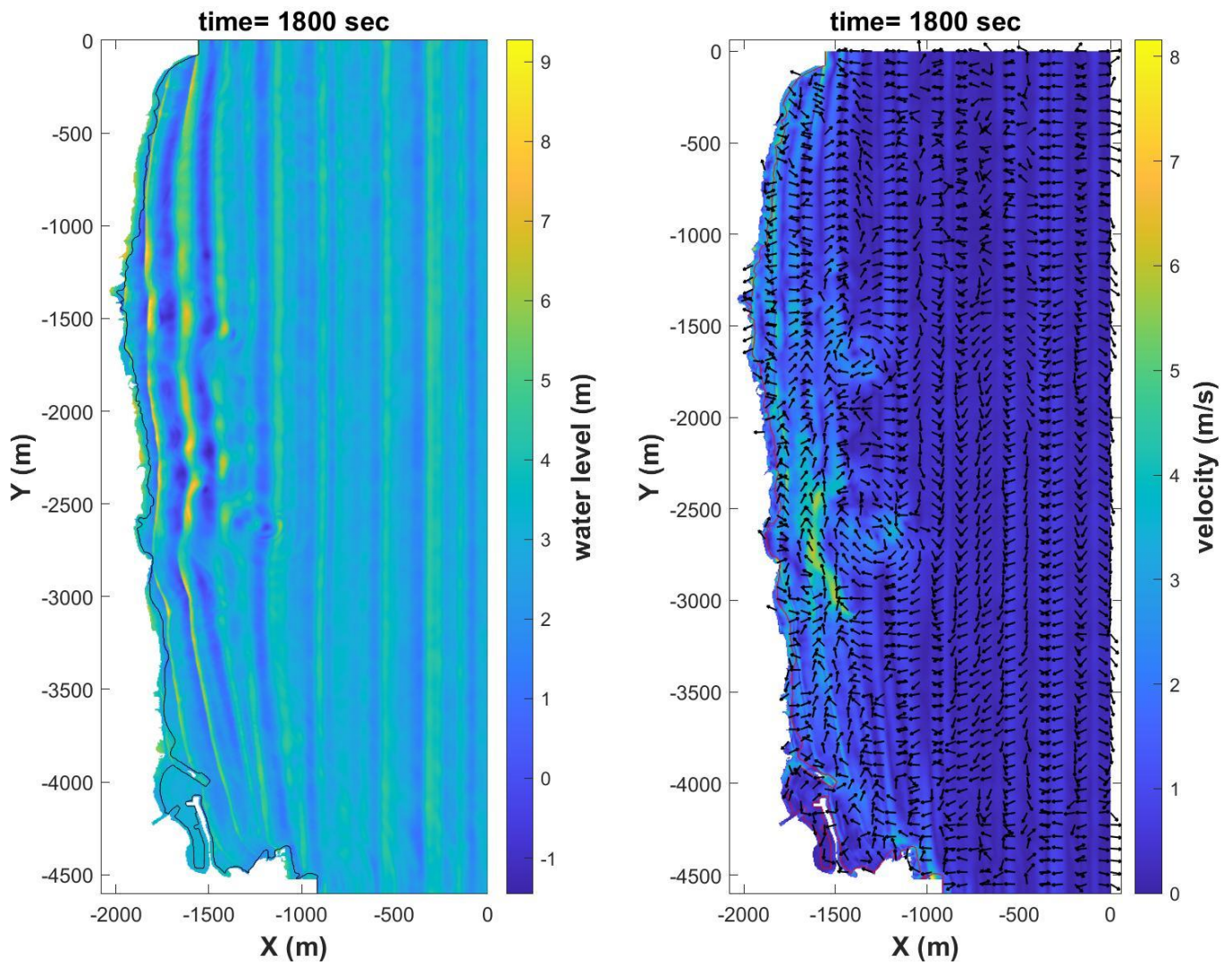


圖 3.21 情境 6b 第 1800 秒的水位和流速空間分佈

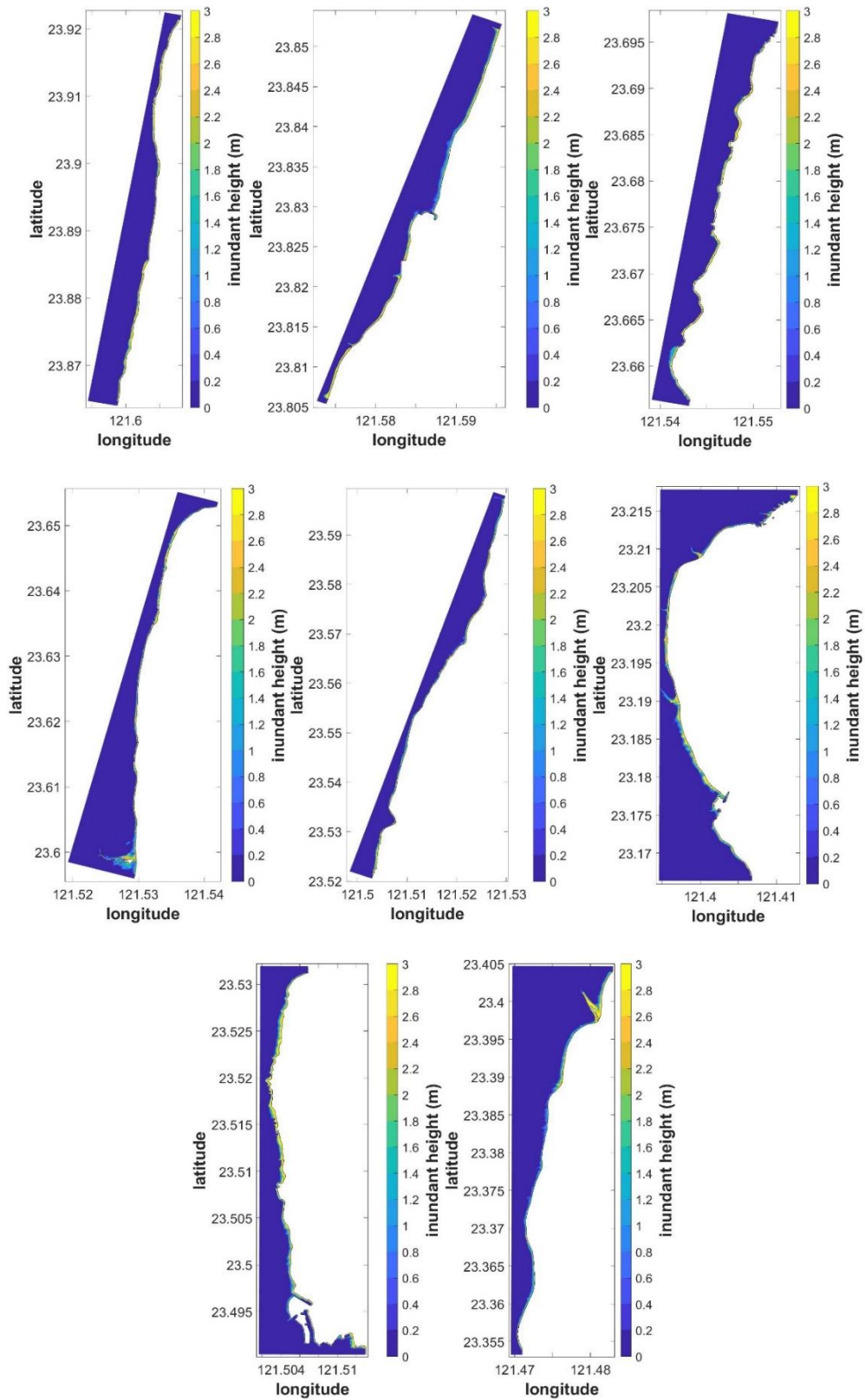


圖 3.22 情境潮位 1m 的最大溢淹水位

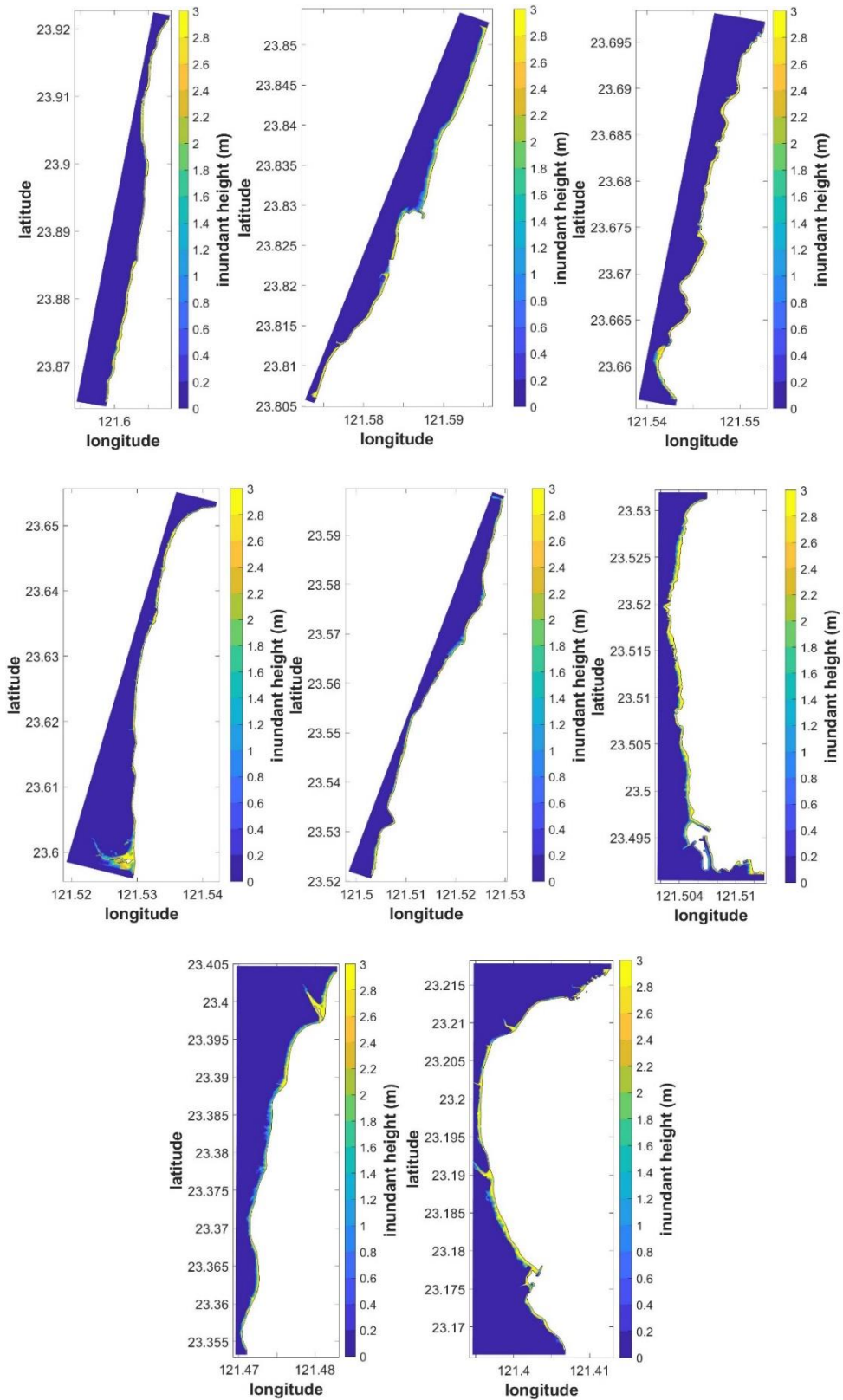


圖 3.23 情境潮位 2m 的最大溢淹水位

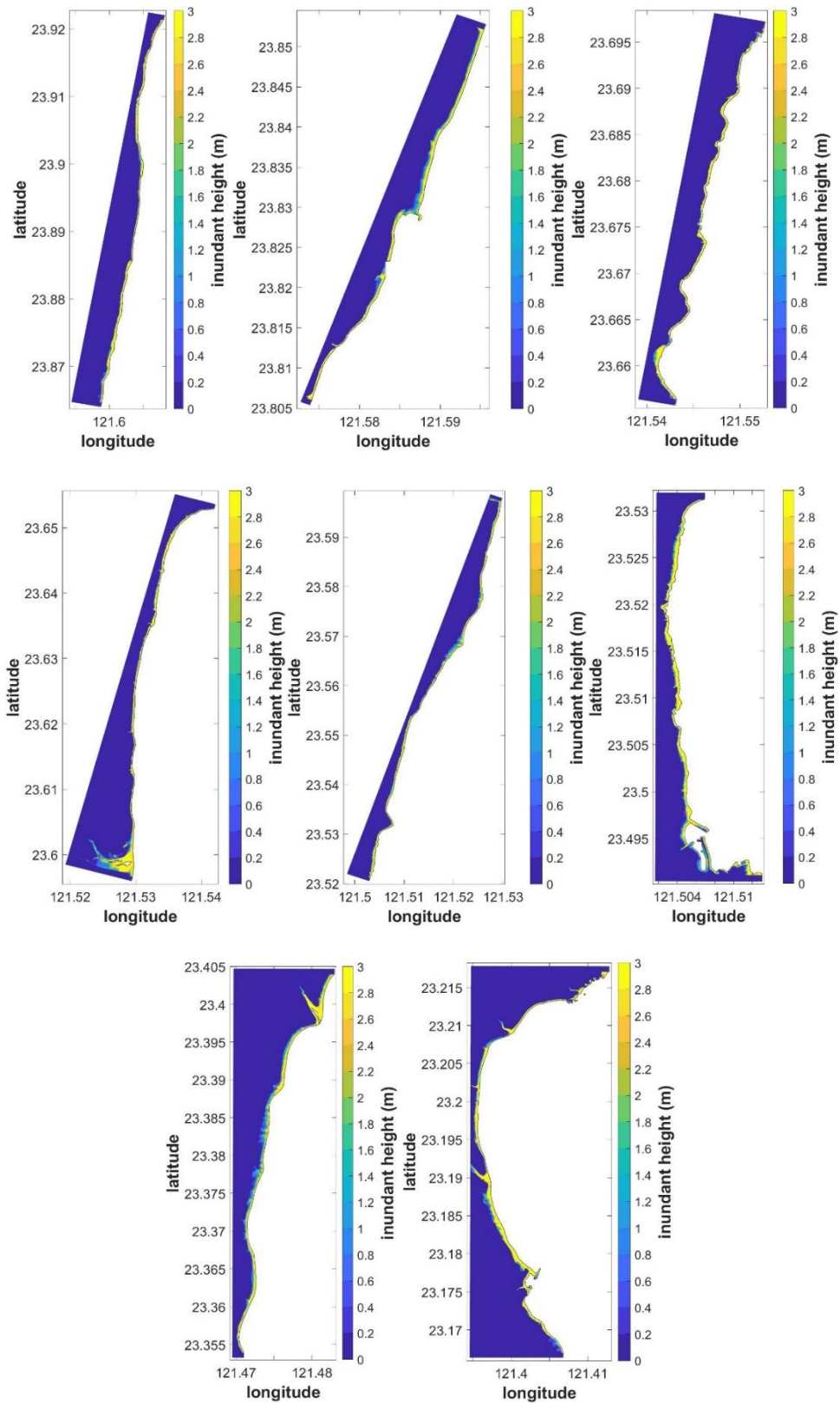


圖 3.24 情境潮位 2.6m 的最大溢淹水位

為了解上述的模擬情境對台 11 線道路的影響，在此先將陸地溢淹範圍定義為陸地淹水深度超過 1cm 的區域，然後利用 Google Earth 的衛星影像地圖當底圖，將情境溢淹水位的分布範圍套疊到 8 個道路區段，如圖 3.25 到 3.32 所示，而圖 3.33 到 3.41 其為部分放大圖，其中綠、黃、紅色套疊的溢淹範圍各對應於情境潮位 1、2 和 2.6m。透過檢視 8 個區域衛星影像的道路位置與溢淹範圍分布是否重疊，並排除道路底下為河口或是排水道的路段，最後列出溢淹範圍接近台 11 線道路邊緣的里程區段以及道路發生溢淹的里程區段，如表 3-5 和 3-6。

由於模擬使用海洋地形缺少近岸深度 0 到 20m 的高解析度地形觀測值且內政部的 DEM 陸地地形亦為十幾年前的資料，可能造成部分區域的模式結果與實際有所出入。另外情境模擬也不考慮暴風環境下造成的地貌變遷，例如波浪引起沉積物傳輸所造成的沙灘遷移以及沙丘坍塌等現象。公路總局第四區養護工程處指出近年來台 11 線 52K 附近的沙灘因為沙量不足，使颱風期間的道路邊坡堤址更容易受到波浪衝擊，可能造成邊坡崩塌。但情境模擬顯示波浪溢淹範圍離道路邊緣尚有十幾公尺的距離(圖 3.34)，可能是因為模擬使用的地形與實際地形的差異所造成，故本研究的 XBeach 模擬結果僅適用於初步的評估。

當情境潮位為 1m 和 2m 時，8 個區段雖皆未出現道路溢淹的情形，但仍須留意溢淹範圍鄰近道路的里程區段，其道路邊坡可能受到海浪的衝擊而造成結構受損。由於使用的是水平 2 維模式，無法模擬波浪破碎所產生的浪花，須留意溢淹範圍鄰近道路的區段可能會有浪花飛濺到道路的情形。例如公路總局第四區養護工程處指出 44K 至 45K 以及 55K 至 57K 路段由於路面高程較低處，在颱風期間似有浪襲情況出現。由圖 3.33 和圖 3.35 可知 44.5K 和 55K 附近的路段在潮位 2m 以上時，波浪的溢淹範圍已鄰近道路邊緣，出現浪襲的可能性偏高。

當情境潮位為較極端的 2.6m 時，共有 7 個路段出現道路溢淹，分別位於第 5 到 8 區，如圖 3.35 到 3.41。大部分的溢淹路段在潮位 1m 的情境下，溢淹範圍離道路尚有段距離。但由圖 3.41 可知，人定勝天碑路段(里程 61.5K 附近)即使在潮位 1m 的情境下，溢淹範圍也是緊鄰

著海岸公路，加上 2015 年蘇迪勒颱風以及 2016 年梅姬颱風警報期間曾發生浪襲道路的事件(表 2.1)，故本計劃將 61.5K 附近的路段做為 COBRAS 浪襲模擬的重點路段。

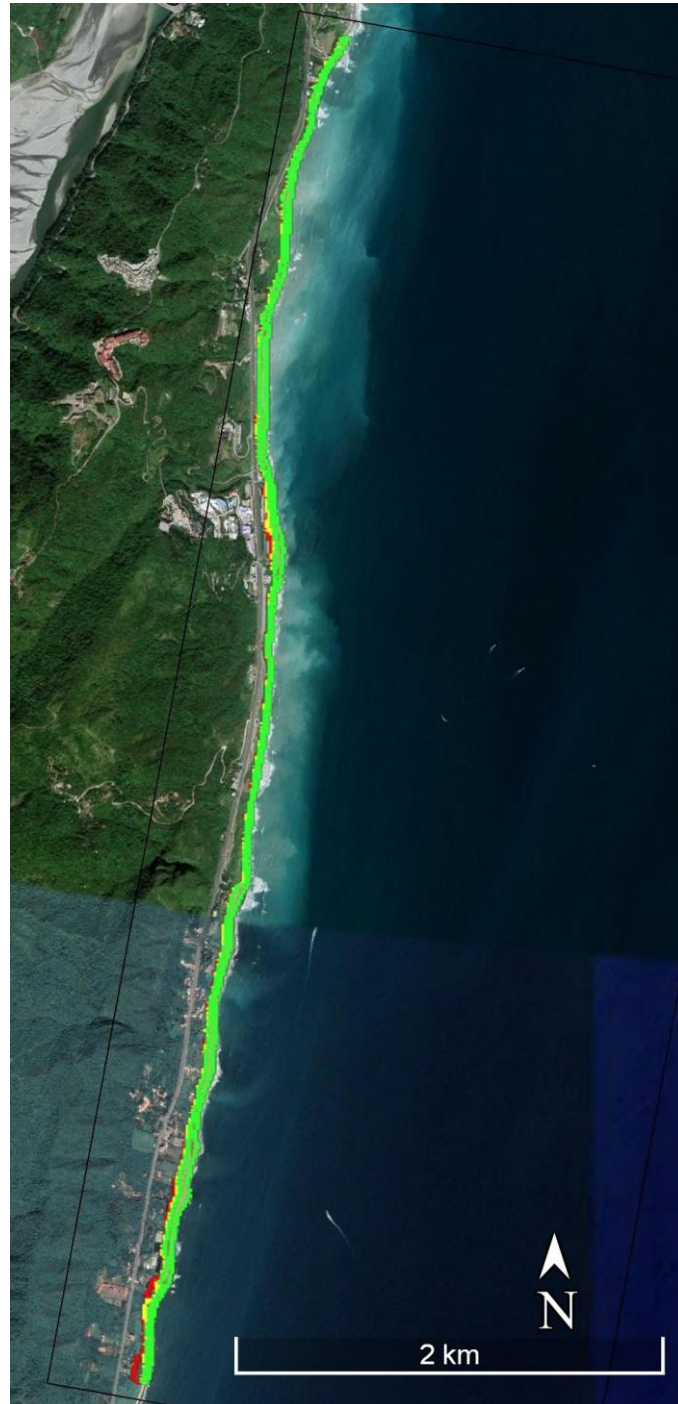


圖 3.25 區域 1 溢淹範圍(花蓮縣壽豐鄉台 11 線 7.5K 到 13K)



圖 3.26 區域 2 溢淹範圍(花蓮縣壽豐鄉台 11 線 15K 到 20.5K)

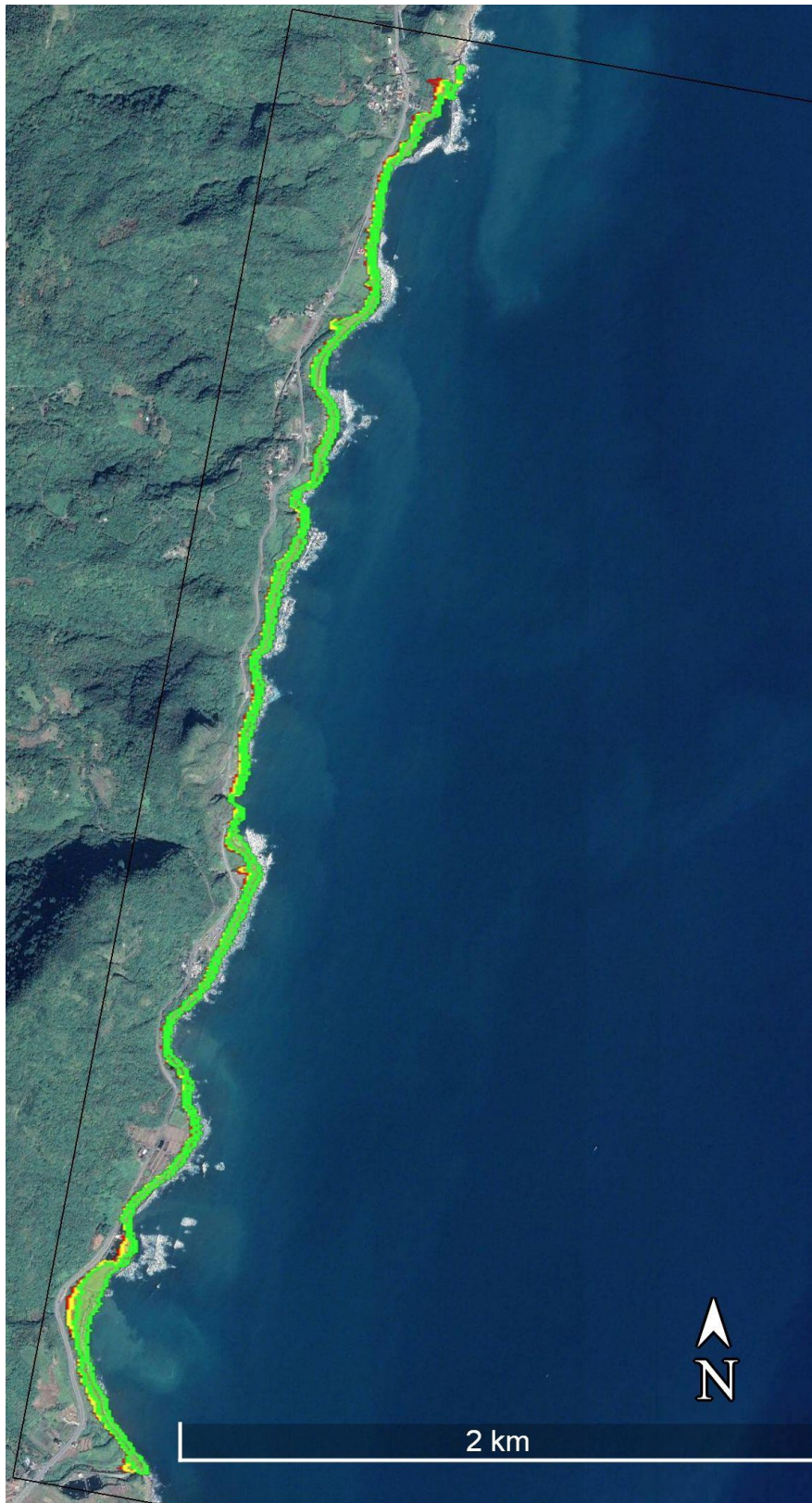


圖 3.27 區域 3 溢淹範圍(花蓮縣豐濱鄉台 11 線 38K 到 42.5K)

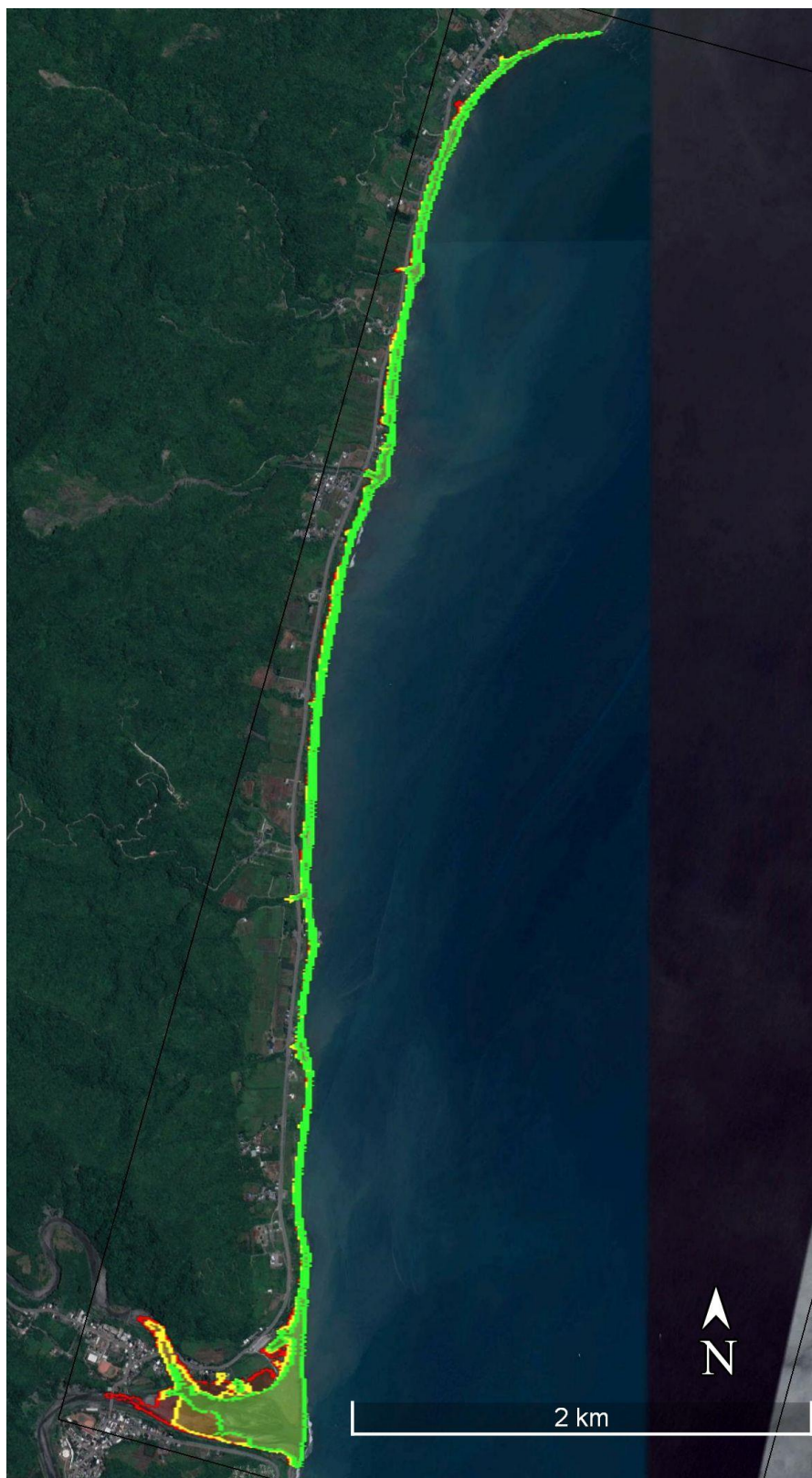


圖 3.28 區域 4 溢淹範圍(花蓮縣豐濱鄉台 11 線 43.5K 到 49K)

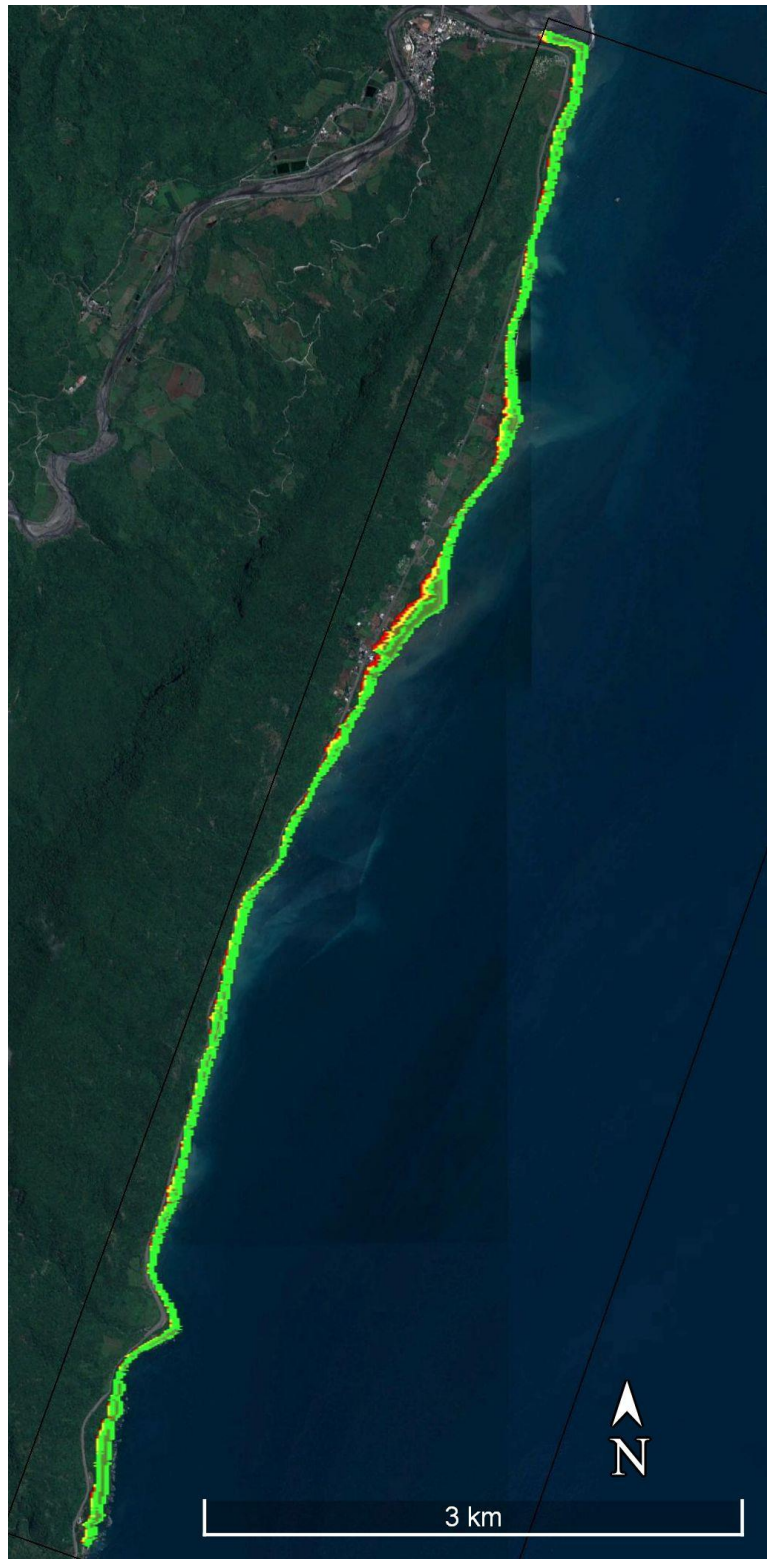


圖 3.29 區域 5 溢淹範圍(花蓮縣豐濱鄉台 11 線 51K 到 59.5K)

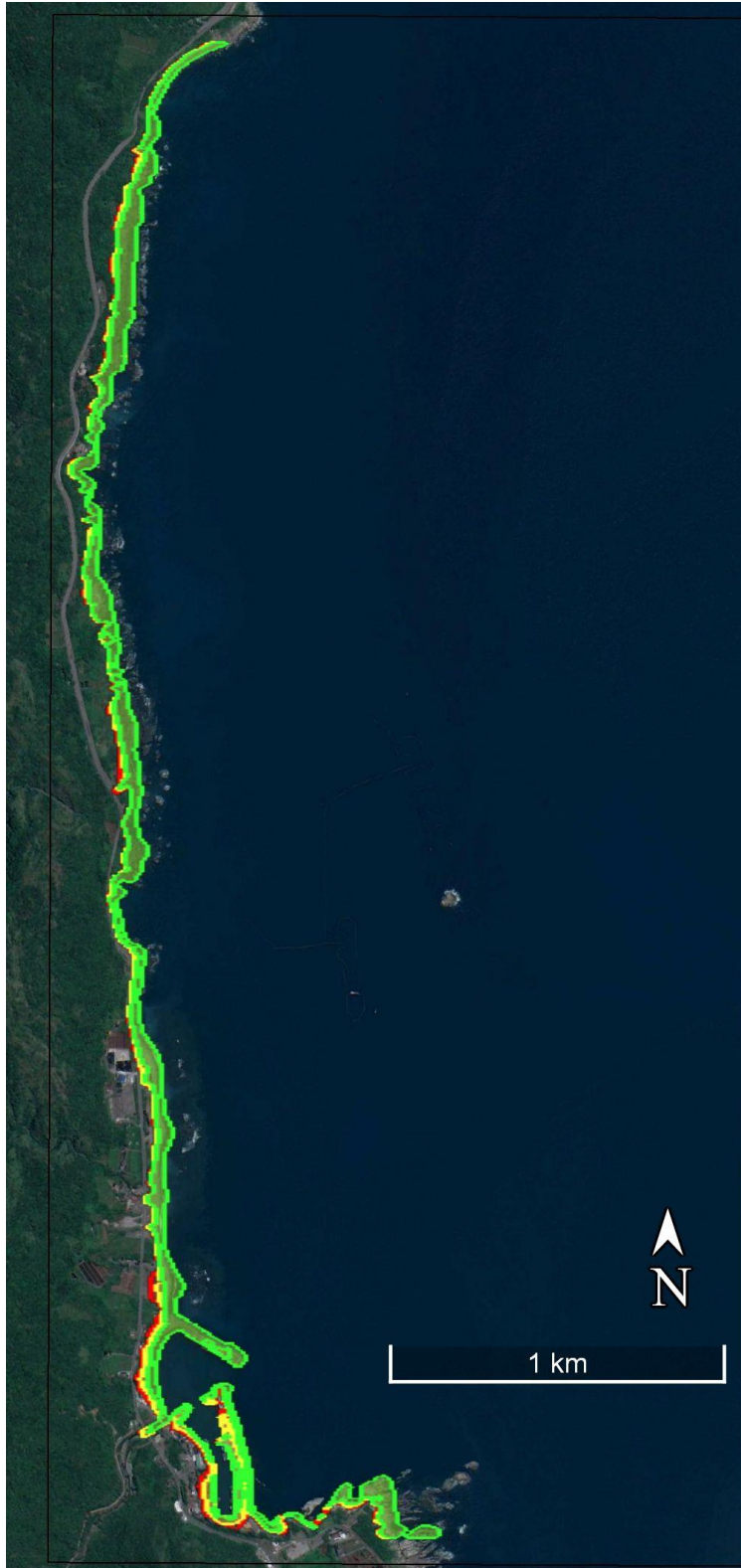


圖 3.30 區域 6 溢淹範圍(花蓮縣豐濱鄉台 11 線 58.5K 到 63K)

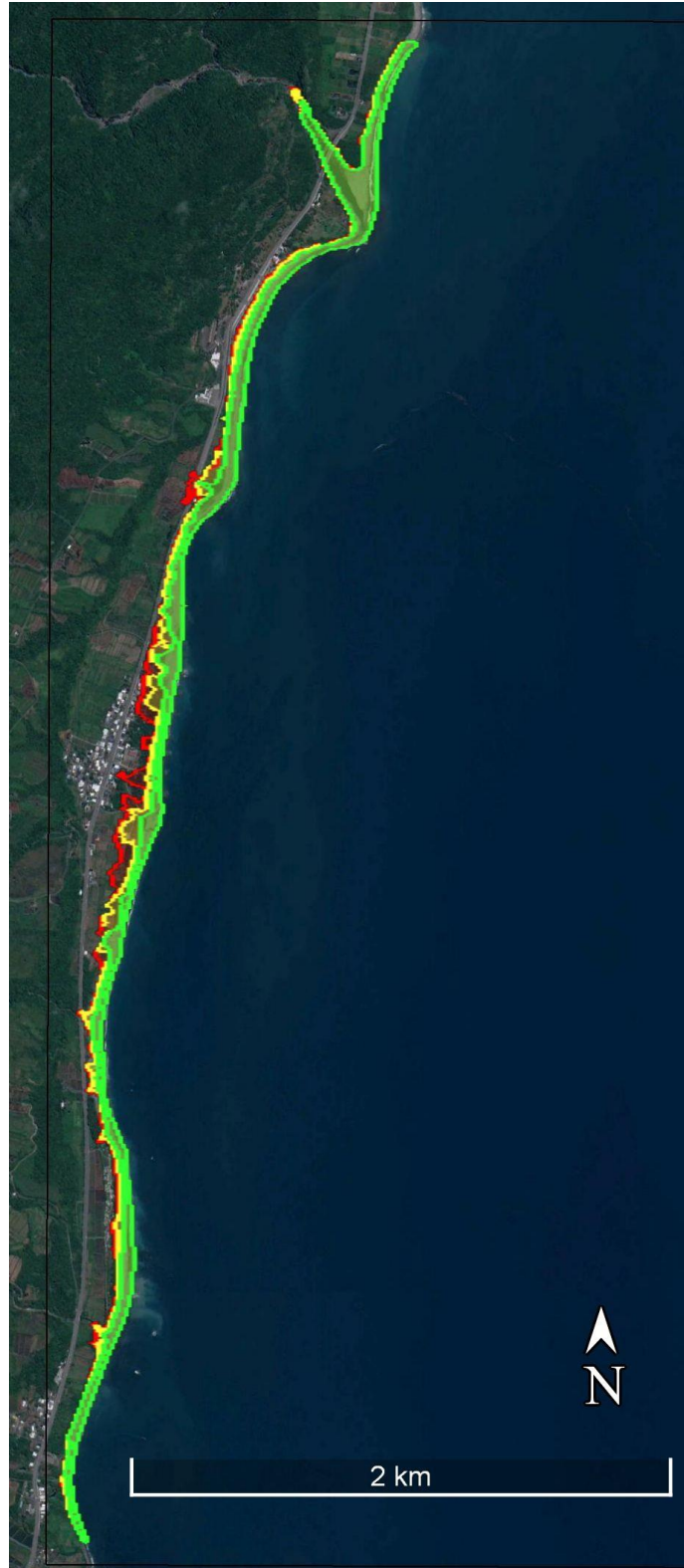


圖 3.31 區域 7 溢淹範圍(臺東縣長濱鄉台 11 線 75.5K 到 81K，2019 年 10 月 24 日影像)

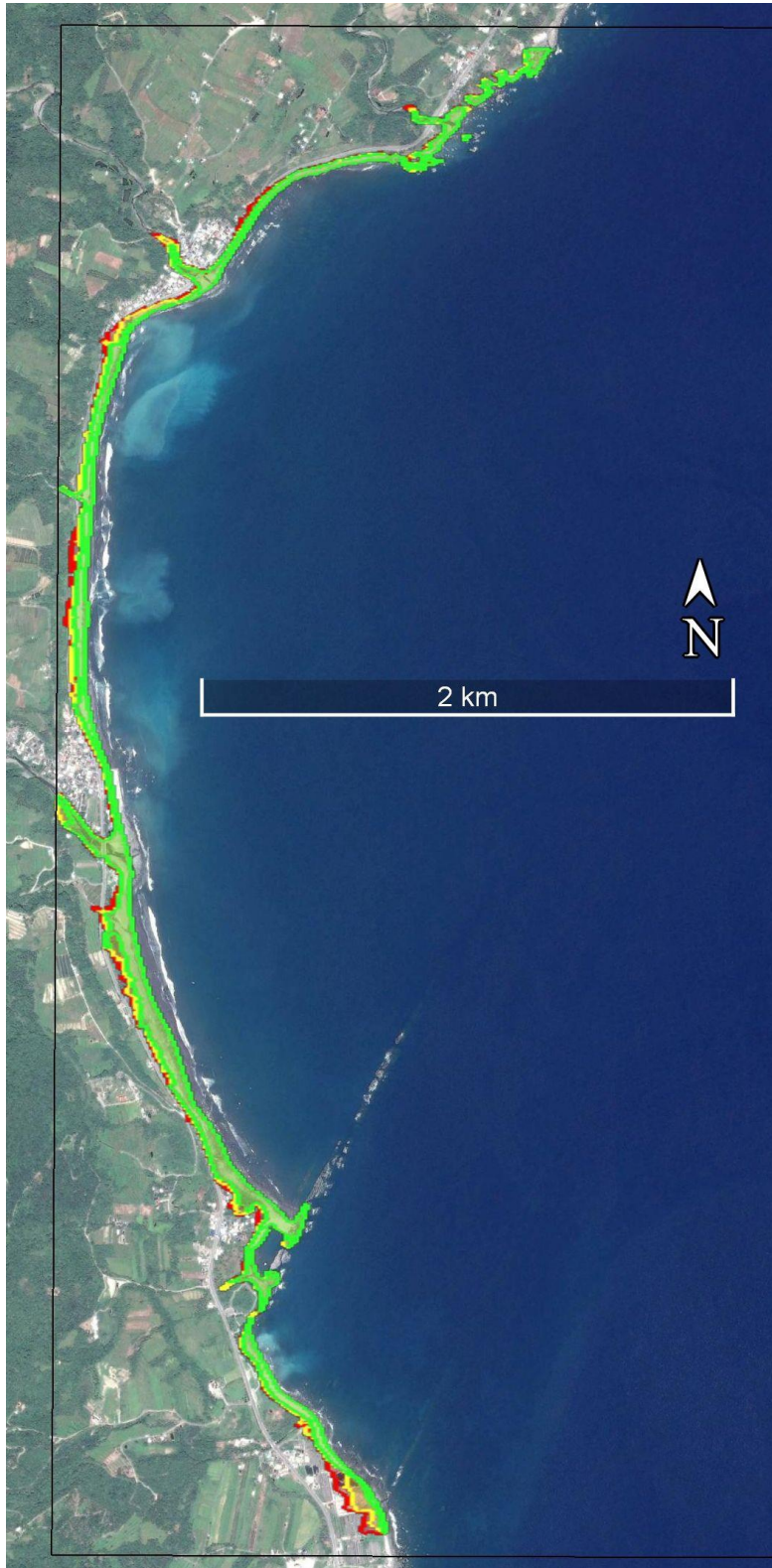


圖 3.32 區域 8 (臺東縣成功鎮台 11 線 99K 到 105K)

表 3-5 區域 1 到 5 情境模擬的台 11 線溢淹路段

情境編號	潮位(m)	溢淹範圍鄰近道路的里程(K)	發生道路溢淹的里程(K)	溢淹範圍鄰近道路的里程所在行政區
1a	1	8.87 ~ 9.05	無	花蓮縣壽豐鄉鹽寮村
1b	2	8.87 ~ 9.05	無	
1c	2.6	8.87 ~ 9.05	無	
2a	1	無	無	
2b	2	無	無	
2c	2.6	無	無	
3a	1	38.2 ~ 38.32	無	花蓮縣豐濱鄉磯崎村
		41.32 ~ 41.36	無	花蓮縣豐濱鄉新社村
3b	2	38.2 ~ 38.32	無	花蓮縣豐濱鄉磯崎村
		41.32 ~ 41.36	無	花蓮縣豐濱鄉新社村
3c	2.6	38.2 ~ 38.32	無	花蓮縣豐濱鄉磯崎村
		41.32 ~ 41.36	無	花蓮縣豐濱鄉新社村
4a	1	44.55	無	花蓮縣豐濱鄉新社村
4b	2	44.5 ~ 44.7	無	
4c	2.6	44.5 ~ 44.7	無	
5a	1	55.11 ~ 55.17	無	花蓮縣豐濱鄉豐濱村
		56.7 ~ 57.25	無	
5b	2	54.93	無	花蓮縣豐濱鄉豐濱村
		55	無	
		55.11 ~ 55.17	無	
		55.84 ~ 56.2	無	
		56.7 ~ 57.25	無	
5c	2.6	54.79	無	花蓮縣豐濱鄉豐濱村
		54.93	54.93	
		55	無	
		55.11 ~ 55.17	無	
		55.84 ~ 56.32	無	
		56.7 ~ 57.25	無	
		57.58	無	

表 3-6 區域 6 到 8 情境模擬的台 11 線溢淹路段

情境編號	潮位(m)	溢淹範圍鄰近道路的里程(K)	發生道路溢淹的里程(K)	溢淹範圍鄰近道路的里程所在行政區
6a	1	61.02	無	花蓮縣豐濱鄉港口村
		61.2 ~ 61.8	無	
6b	2	61.02	無	
		61.2 ~ 61.85	無	
6c	2.6	61.02	無	
		61.2 ~ 61.85	61.6 ~ 61.8	
7a	1	無	無	臺東縣長濱鄉三間村
7b	2	77.2 ~ 77.8	無	
7c	2.6	77.2 ~ 77.8	77.25	
8a	1	99.5 ~ 100.1	無	臺東縣成功鎮博愛里
		103.4 ~ 103.85	無	臺東縣成功鎮忠孝里
8b	2	99.5 ~ 100.1	無	臺東縣成功鎮博愛里
		100.25 ~ 100.5	無	
		100.9	無	
		101.23 ~ 102	無	
		103.4 ~ 103.85	無	臺東縣成功鎮忠孝里
8c	2.6	99.5 ~ 100.1	99.7 ~ 99.9	臺東縣成功鎮博愛里
		100.25 ~ 100.58	100.34 ~ 100.58	
		100.9	無	
		100.95	無	
		101.23 ~ 102.15	101.25 ~ 101.63	
		103.4 ~ 103.85	103.57	臺東縣成功鎮忠孝里



圖 3.33 區域 4 的 44.5K 到 44.7K 道路邊緣出現溢淹



圖 3.34 區域 5 的 52K 附近溢淹分布

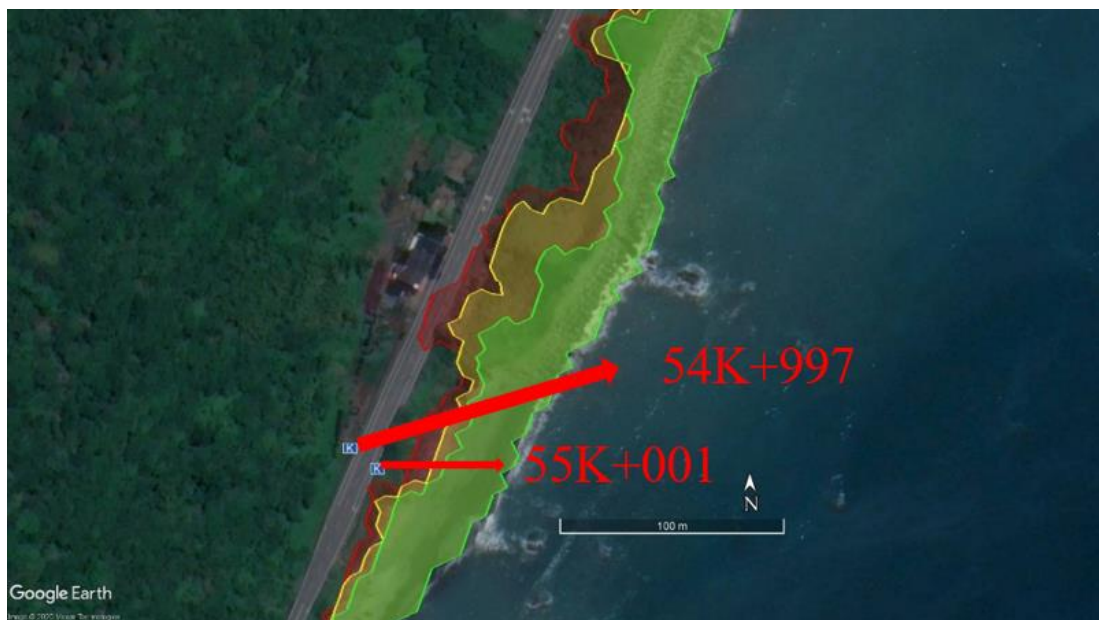


圖 3.35 潮位 2.6m、示性波高 5m，台 11 線 54.93K 溢淹



圖 3.36 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 6 的 61.6-61.8K 溢淹



圖 3.37 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 7 的 77.25 K 溢淹



圖 3.38 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 8 的 99.7-99.9K 溢淹



圖 3.39 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 8 的 100.34-100.58K 溢淹



圖 3.40 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 8 的 101.25-101.63K 溢淹



圖 3.41 潮位 2.6m、示性波高 5m，區域 8 的 103.57 K 處溢淹

第四章 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立

本計畫研究目的在於建立異常波浪容易致災之區段的長浪溯上數值模式來瞭解花蓮海岸公路受颱風波浪及異常波浪影響的區段範圍，並藉此發展溯上分析及預警系統。基於第二章的浪襲新聞事件以及第三章的初步模擬評估所得出的易受浪襲之路段為台 11 線人定勝天段的 61K 到 62.5K 區間。由於此區間的部分道路與海岸距離不到 20 公尺且道路高程僅約 7 到 9 公尺，故容易於颱風期間受到海浪所影響，常為公路總局公告之浪襲路段。藉由交通部運輸研究所港灣技術研究中心提供人定勝天段附近的高解析度海陸地形進行該路段 7 個道路斷面的浪襲情境模擬。透過情境結果的分析可了解在何種海況條件之下較易受到浪襲的威脅，可提供公路單位作為道路通行安全的評估和道路暫時封閉的參考。

4.1 COBRAS 模式介紹

本文使用的 COBRAS (COrnell BReaking wave And Structure) 流體模式以美國 Los Alamos 國家實驗室發展的二維不可壓縮流體的數值模式「RIPPLE」(Kothe 等人, 1991) 為基礎，經過 Lin 和 Liu 加以修改後的版本，為一 2 維垂直方向(2DV) 的水動力模式，可用來計算波浪與結構物的交互作用 (Lin and Liu, 1998)，以及波浪與孔隙介質的交互作用 (Liu 等人, 1999)。此模式的程式碼以 FORTRAN 撰寫而成。

該模式主要求解 Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) 方程式，並結合非線性 $k-\epsilon$ 紊流模式來求得紊流動能 k 及紊流消散率 ϵ 。模式特徵包括以流體體積法 (Volume of Fluid, VOF) 來描述流體在自由表面的變化。另外可按研究的需求在不同區域設定可變的網格解析。根據模式的輸出結果可得知模擬過程中的壓力、渦度、紊流黏滯力、動能、紊流消散、流速、自由表面的構成、質量守恆或和水漫 (overtopping) 的體積。

在二維不可壓縮且黏性流動之牛頓流體假設條件下，其 RANS 控制方程式如下：

連續方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (4.1)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + g_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle \tau_{ij} \rangle}{\partial x_j} \quad (4.2)$$

其中 i 和 $j = 1$ 或 2 ，分別代表水平方向和垂直方向。 u_i 代表第 i 個方向分量的流速。 ρ 和 p 各為密度和壓力。 g_i 表示第 i 個方向分量的重力加速度。 τ_{ij} 為黏滯應力。 $\langle \rangle$ 符號代表時間平均。另外：

$$\langle \tau_{ij} \rangle = 2\mu S_{ij} + \rho \langle u'_i u'_j \rangle \quad (4.3)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \quad (4.4)$$

其中 $\mu = \nu \rho$ 為動力黏滯係數，而 ν 為動能黏滯係數， S_{ij} 為剪應變率張量， u'_i 和 u'_j 各代表流速在 i 和 j 方向分量的瞬時擾動量， $\langle u'_i u'_j \rangle$ 為雷諾應力(Reynolds stress)。

另外 k- ϵ 紊流閉合模式的控制方程如下：

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \langle u'_i u'_j \rangle \frac{\partial \langle u'_i \rangle}{\partial x_j} - \epsilon \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} + \nu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + 2C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \nu_t S_{ij} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4.6)$$

其中

$$k = \frac{1}{2} \langle u'_i u'_j \rangle \text{ 為紊流動能 (turbulence kinetic energy)}$$

$\varepsilon = \nu \left\langle \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \right)^2 \right\rangle$ 為紊流消散率 (turbulence dissipation rate)

$\nu_t = C_d \frac{k^2}{\varepsilon}$ 為渦流黏度 (eddy viscosity)

$$C_d = \frac{2}{3} \left(\frac{1}{7.4 + S_{\max}} \right) \quad (4.7)$$

$$S_{\max} = \frac{\varepsilon}{k} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} \right| \right) \quad (4.8)$$

另外根據 Rodi (1980) 的建議值，在此將 σ_k 、 σ_ε 、 $C_{1\varepsilon}$ 、 $C_{2\varepsilon}$ 四個經驗參數設定為 1.0、1.3、1.44 以及 1.92。

紊流模式根據渦流黏度的特性提供以下兩種型式來表示雷諾應力。

1. 當渦流黏度為線性且具等向性：

$$\langle u'_i u'_j \rangle = -2\nu_t S_{ij} + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (4.9)$$

2. 當渦流黏度為非等向性：

$$\begin{aligned} \langle u'_i u'_j \rangle = & \frac{2}{3} k \delta_{ij} - C_d \frac{k^2}{\varepsilon} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \frac{k^3}{\varepsilon^2} \left[C_1 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_l} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_j} + \right. \right. \\ & \left. \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_l} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_i} - \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) + C_2 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_k} - \frac{1}{3} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) + \\ & \left. C_3 \left(\frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_i} \frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_j} - \frac{1}{3} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \right] \end{aligned} \quad (4.10)$$

其中

δ_{ij} 為 Kronecker delta 函數

$$C_1 = \frac{1}{185.2 + D_{\max}^2}$$

$$C_2 = \frac{1}{58.5 + D_{\max}^2}$$

$$C_3 = \frac{1}{370.4 + D_{max}^2}$$

$$D_{max} = \frac{k}{\epsilon} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \right| \right)$$

當 $C_1 = C_2 = C_3 = 0.0$ 時，可由非等向性簡化成等向性的形式。由於渦流黏滯性在線性及等向性的條件下，當流場出現較複雜的紊流時，可能無法正確表現非等向性渦流的物理特性，所以本研究使用非等向性的渦流黏度。

4.2 數值地形

模式使用地形為港灣技術研究中心提供的高解析度光達陸地地形以及近岸的船測地形。地形的平面座標採用內政部公告之 2010 臺灣地區 TWD97 大地基準，而高程座標則採內政部 TWVD2001 臺灣地區的高程基準。其在台 11 線人定勝天段附近的網格化地形以及地形資料點分布如圖 4.1 所示。本研究選取台 11 線人定勝天 61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220 等 7 個里程的道路斷面作為公路的浪襲情境模擬地點，並利用地形資料各從 7 個點位的離岸方向取切線作為模式地形，如圖 4.2 和 4.3。在此利用 XBeach 模擬波浪從東邊界正向入射後的第 136 秒水位空間分佈，大致沿著波向線選取 7 個站的地形切線，如圖 4.4。

圖 4.4 所選取的綠色切線地形剖面如圖 4.5 到圖 4.11 所示。在此將海域的切線地形取到最大水深 32m 處，再從深度 32m 的位置往離岸方向延伸 6 個波浪周期所能傳播的水平距離作為模式的等水深入射波區。以 61K+300 站且波浪週期 10 秒為例，由於模式的波浪由左邊界入射，故先將圖 4.5 的切線地形左右翻轉後取出最大深度到 32m 的部分，如圖 4.12 的 x 座標 -800 到 50 m 區間。從水深 32m 處延伸一段入射波區，如圖 4.12 的 x 座標 -1862 到 -800 m 區間。最後將圖 4.12 的地形提供給模式使用。

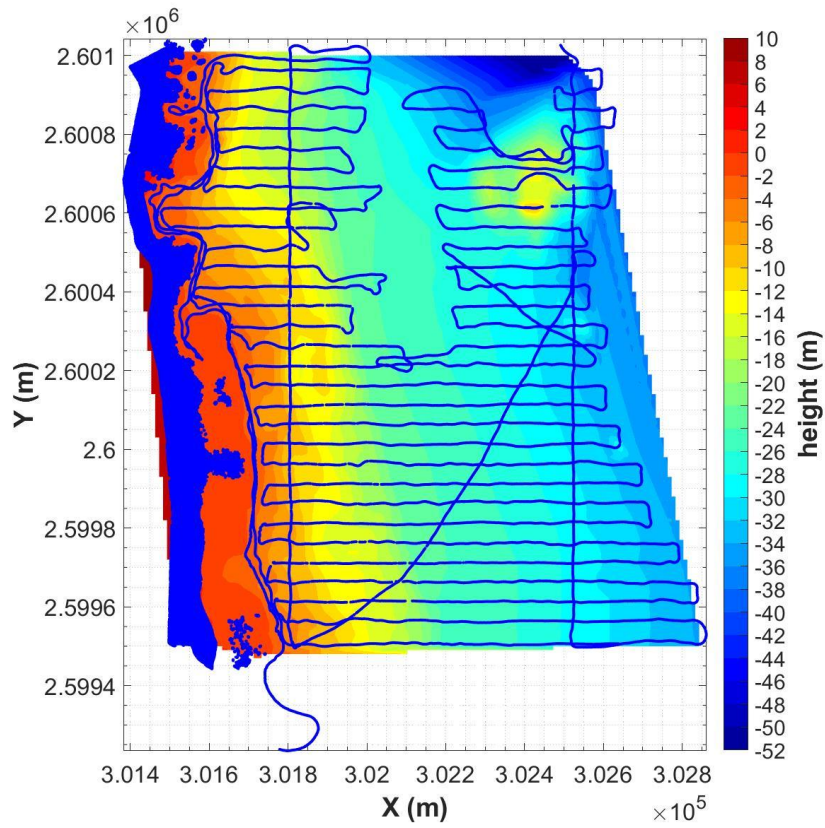


圖 4.1 台 11 線人定勝天段的網格化地形以及地形測點分布

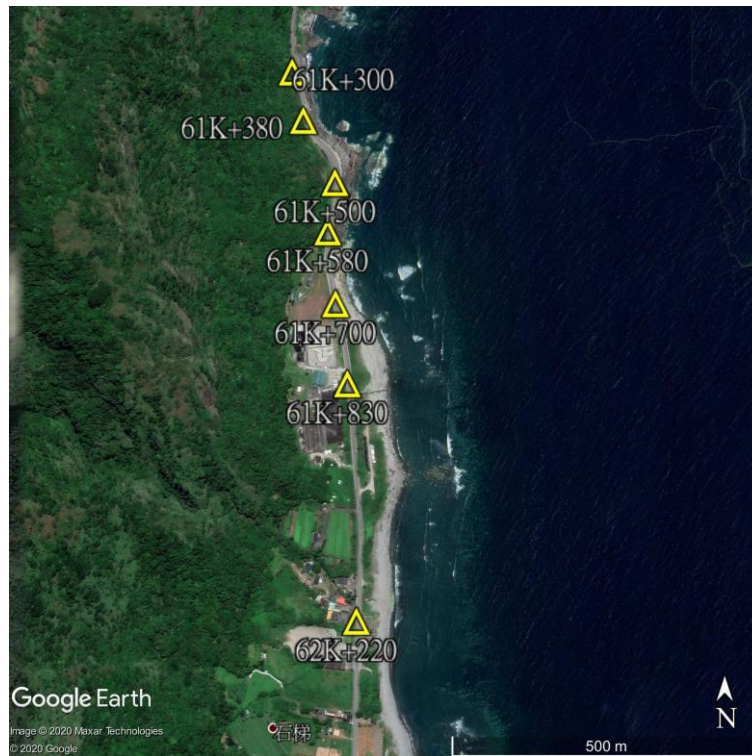


圖 4.2 台 11 線人定勝天段選取 7 個情境里程位置

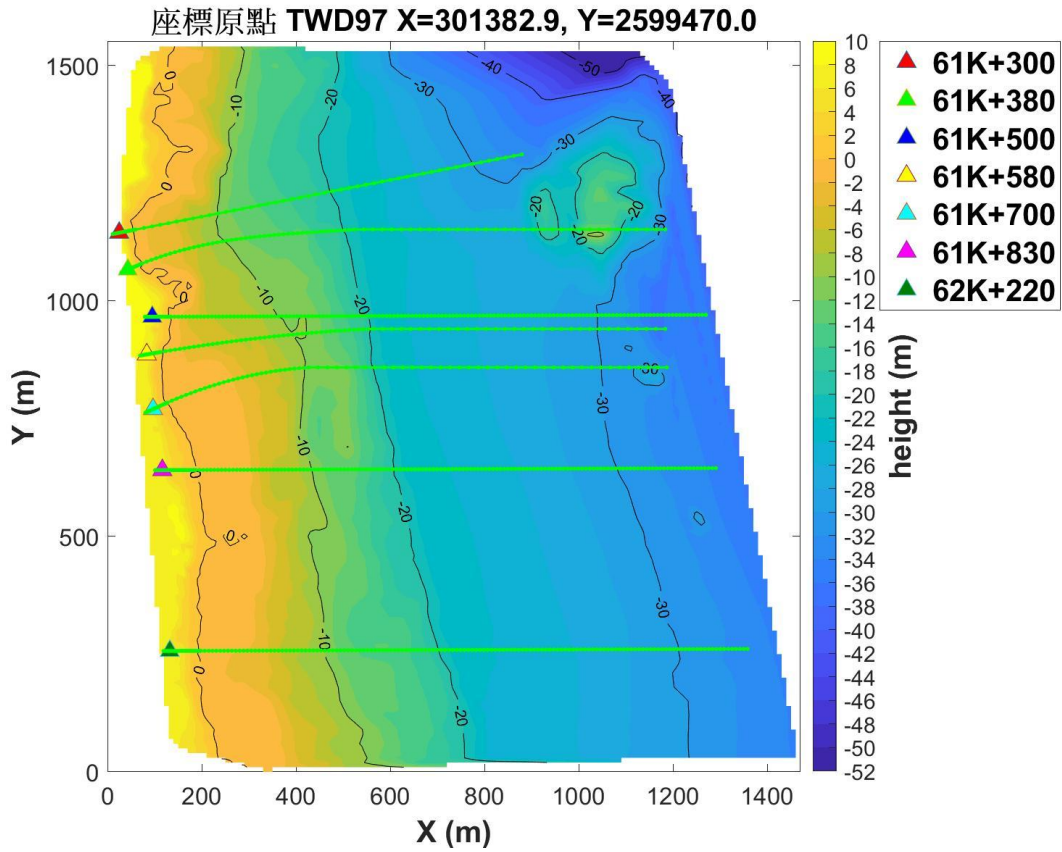


圖 4.3 台 11 線人定勝天段 7 個里程位置以及地形切線

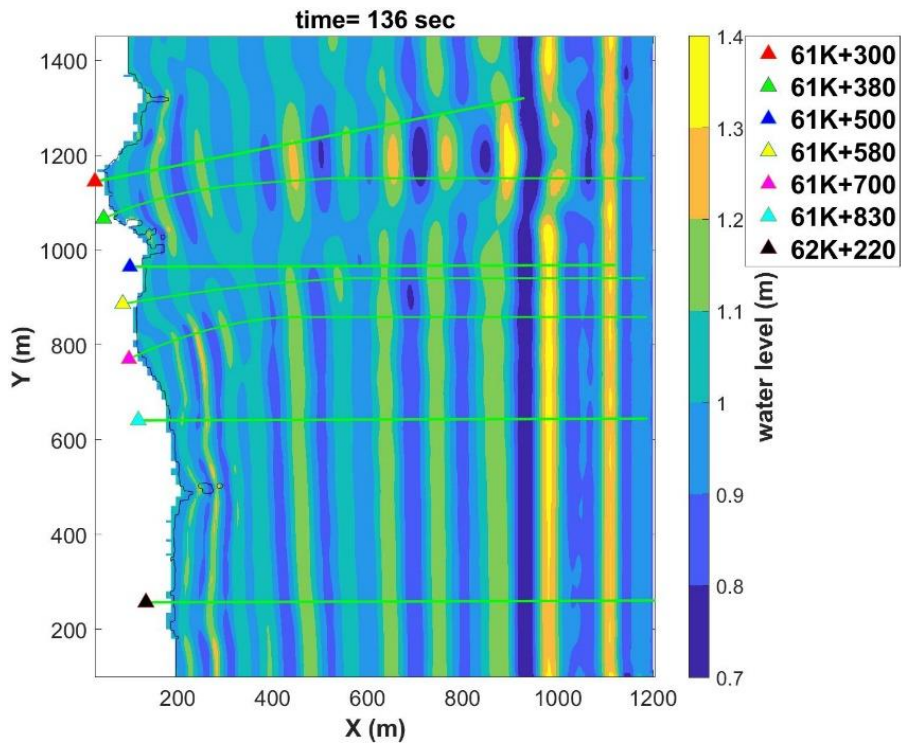


圖 4.4 台 11 線人定勝天段 7 個站沿波向線選取地形切線

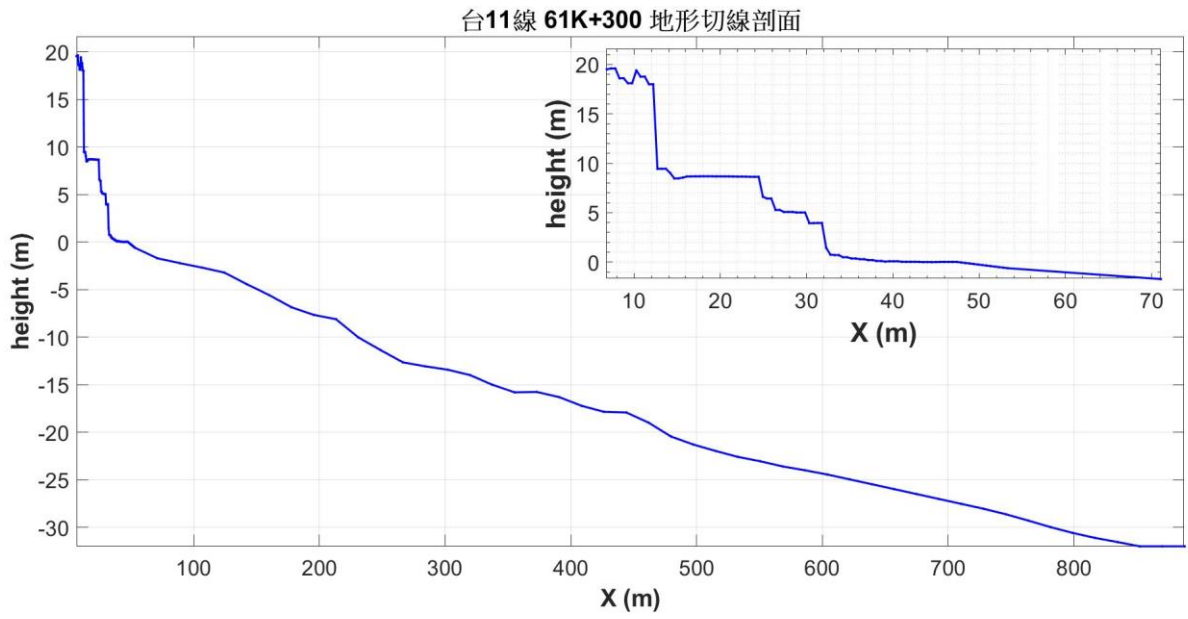


圖 4.5 61K+300 離岸方向的地形剖面

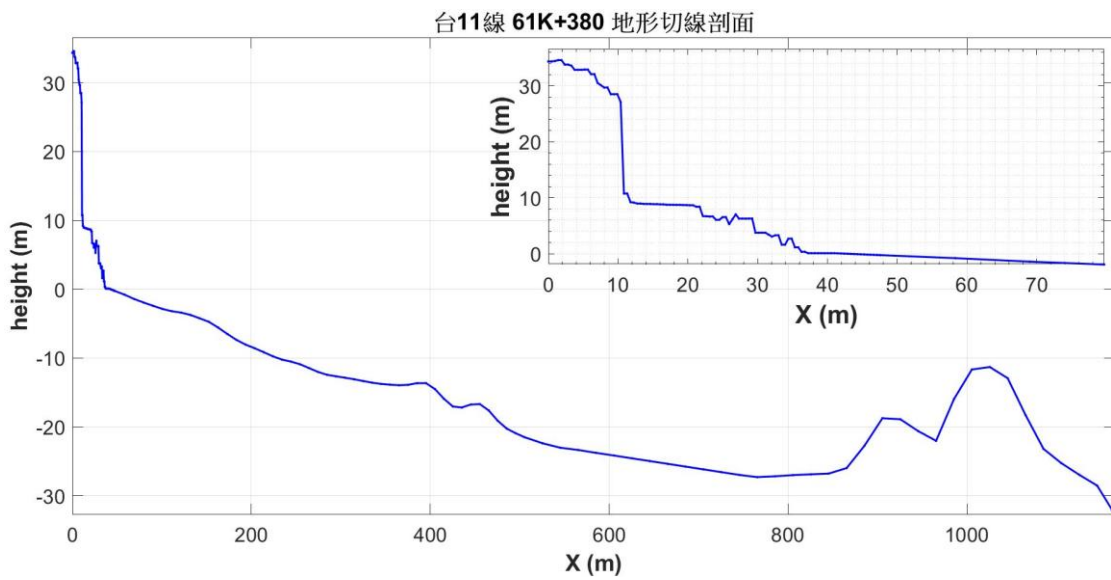


圖 4.6 61K+380 離岸方向的地形剖面

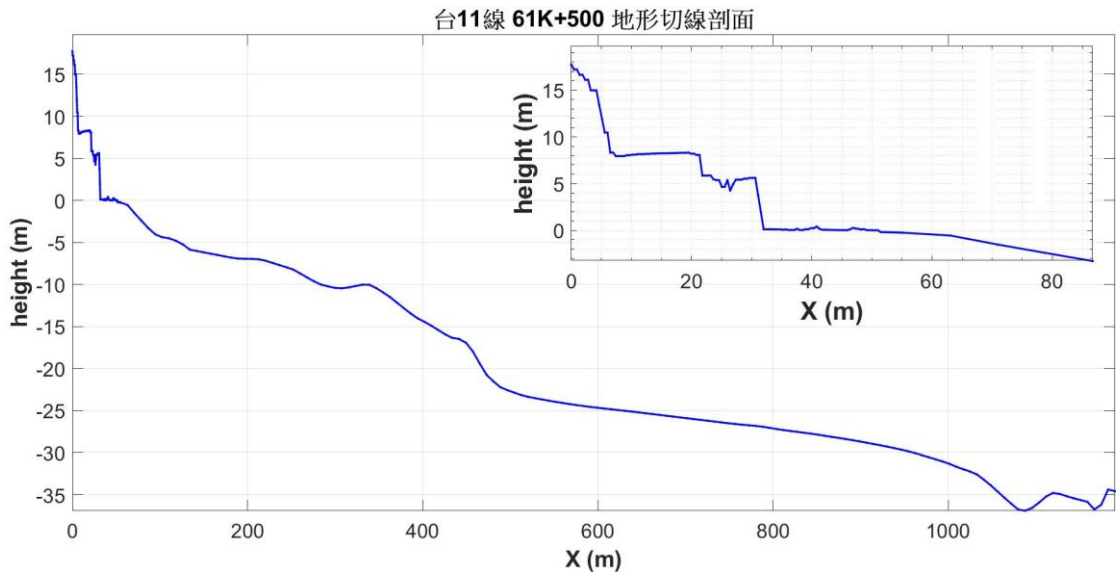


圖 4.7 61K+500 離岸方向的地形剖面

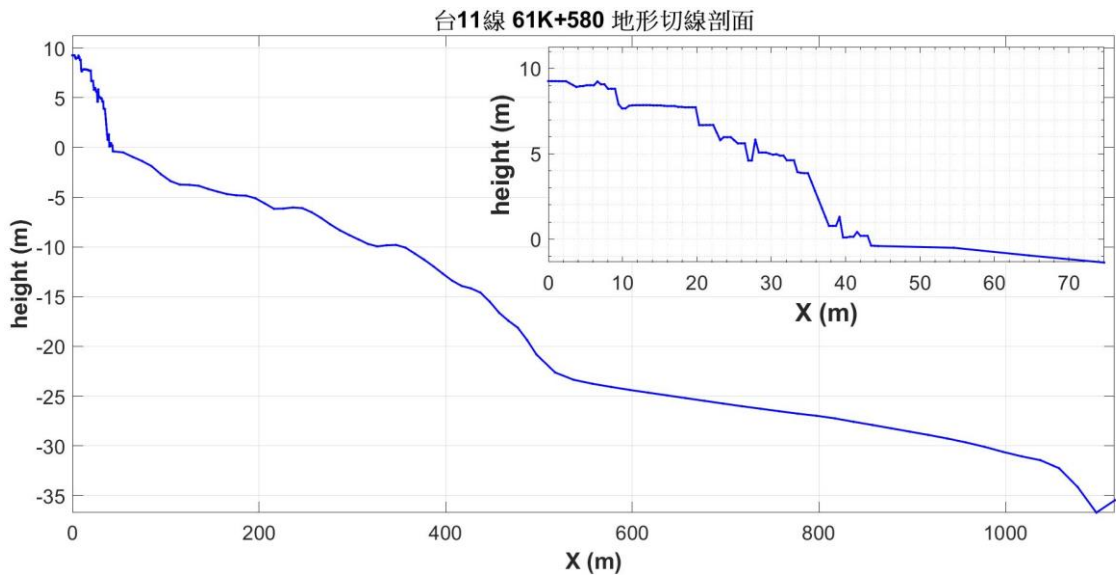


圖 4.8 61K+580 離岸方向的地形剖面

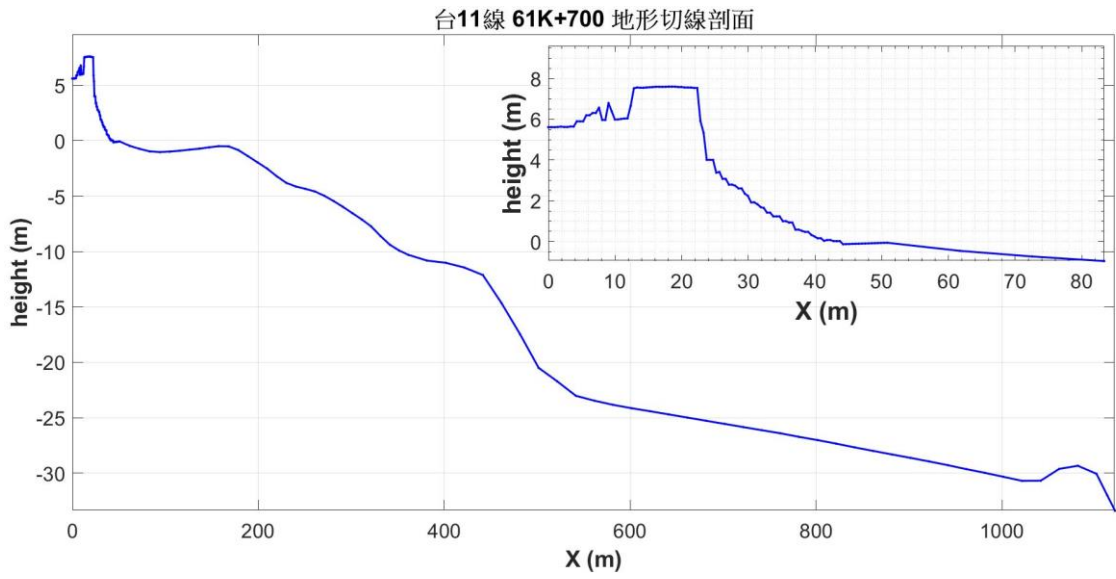


圖 4.9 61K+700 離岸方向的地形剖面

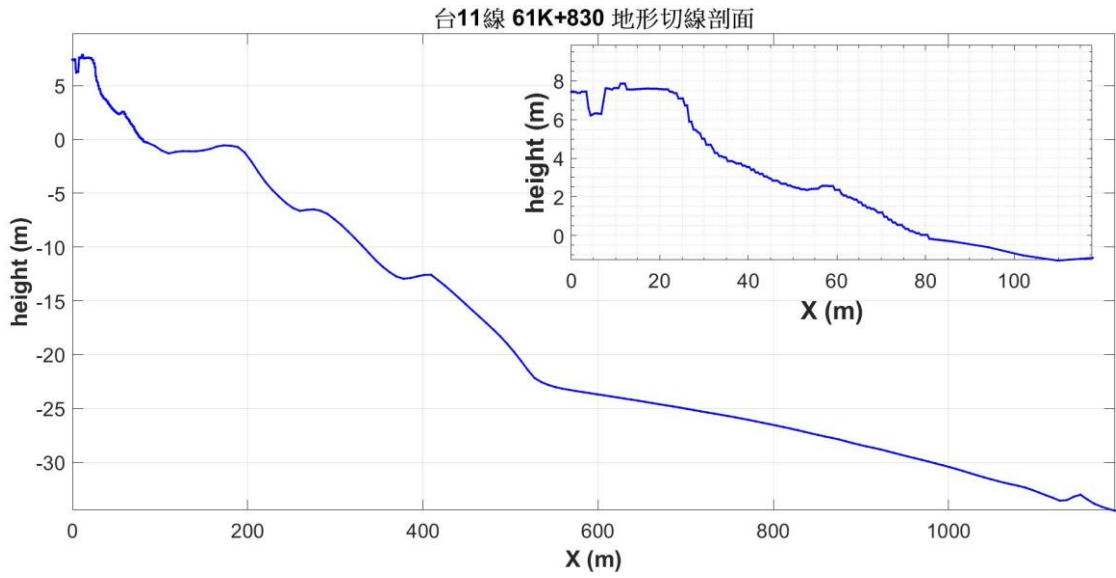


圖 4.10 61K+830 離岸方向的地形剖面

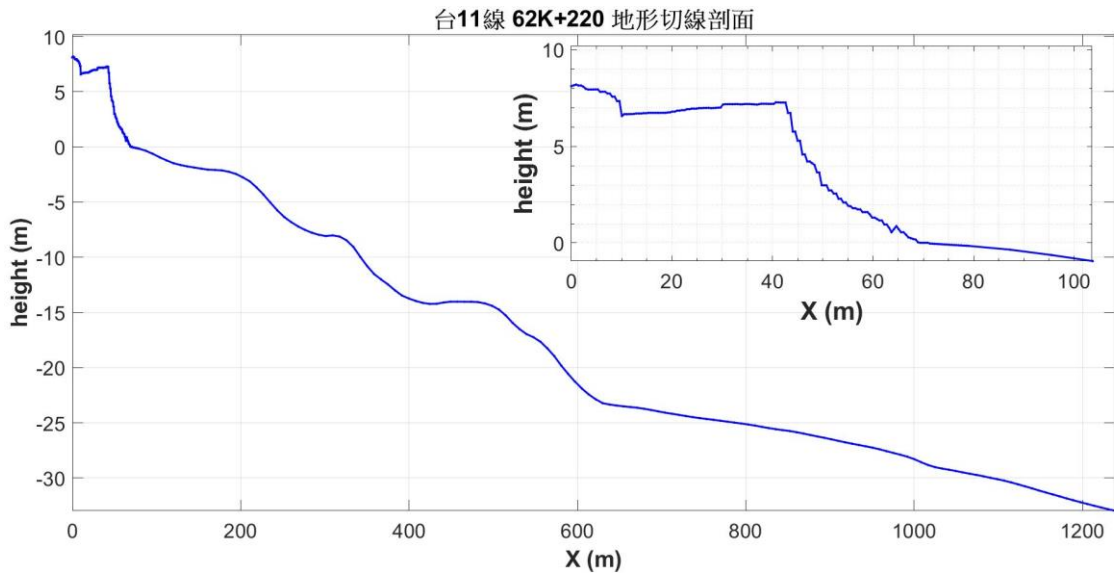


圖 4.11 62K+220 離岸方向的地形剖面

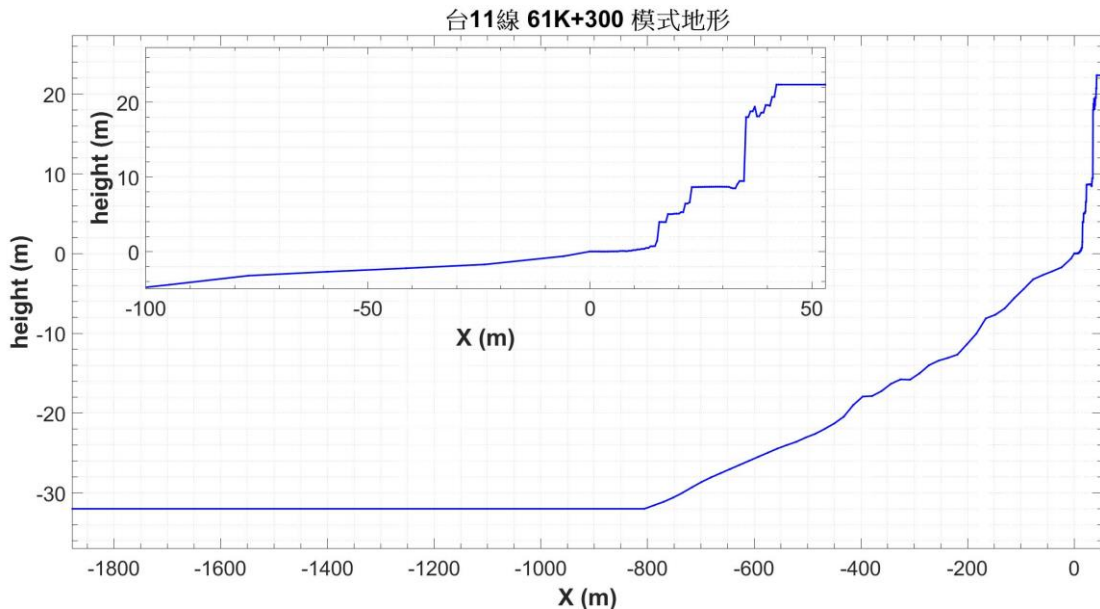


圖 4.12 模式使用的 61K+300 站切線地形

4.3 模式設定

模式的 X 方向網格解析度共分成三個區域，左側區域為均一水深 32m 的波浪入射區，解析度為 2m；右側區域為高程大於 0m 的陸地，解析度為 0.5m；介於水深 32m 到 0m 的中間區域由左到右解析度由 2m 線性變化到 0.5m。在垂直的 Y 方向解析度為 0.5m。至於時間解析方面使用調整式的時間步長，每個時間步驟都調整一次解析度。另外因為模

式地形由圖 4.4 的切線取得，亦即假設了 COBRAS 情境入射波沿著該切線前進。

邊界條件的設定在上邊界(頂部)、下邊界(底部)以及右邊界為牆，而左邊界使用連續 16 個正弦波入射。除了參考 2015 年 8 月蘇迪勒颱風和天鵝颱風，2016 年 9 月梅姬颱風以及 2018 年 9 月潭美颱風的警報期間，港研中心在花蓮港外海的 AWCP 觀測的示性波高和尖峰周期觀測值(圖 3.13 到 3.15)之外，另外再考慮花蓮港和石梯漁港的潮位(圖 3.9 和 3.10)和暴潮等因素。在此選擇 5 到 12m 等 8 種入射波高條件以及 10 到 16 秒等 7 種入射週期條件，再搭配 -1 到 3m 等 9 種初始水位條件的組合來模擬浪襲道路(圖 4.13)，並將初始水位條件視於情境的潮位。另外由於水深 32m 的入射波區入射超過 12m 的正弦波，模式的入射波於入射後容易因波形不穩定而降低波高，故波高的上限值選擇 12m。所有模擬的初始條件為流速 0 且無擾動單一水位的水平面。模擬時間設定為第一波到達陸地後，再加上 16 個入射波周期。

人定勝天段模擬條件組合

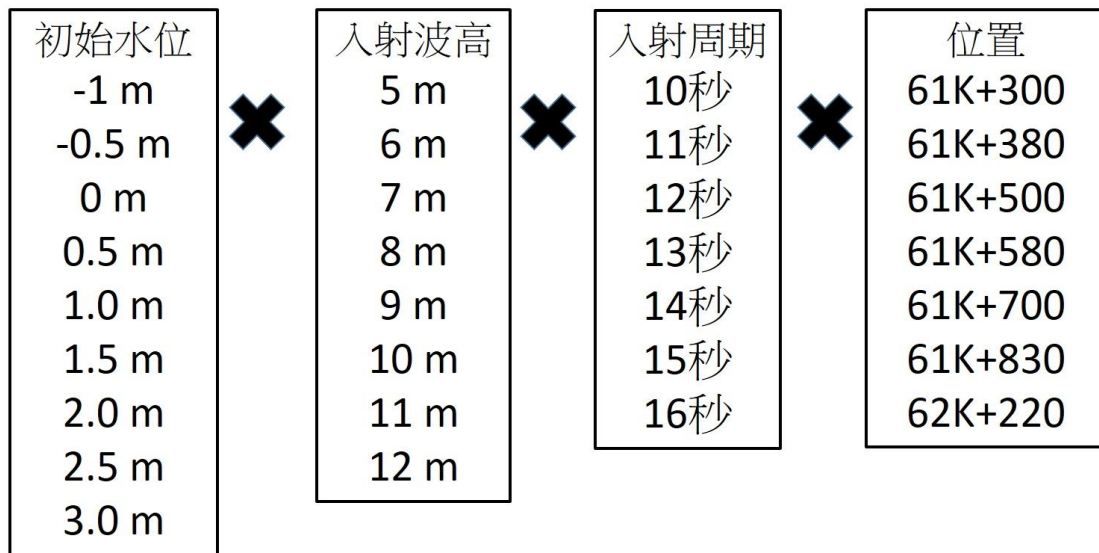


圖 4.13 不同情境模擬之海況條件組合

4.4 模擬流程

模擬流程先考慮 61K+300 站在海況條件最嚴重的情況，即左邊界先以波高 12m、週期 16 秒的連續 16 個正弦波入射，以及 3m 的初始水位進行模擬。如果在此條件下發生道路溢淹，則以調降左邊界的入射波之波高、週期或初始水位後重啟新的模擬，基本上以該方式降低海況條件直到道路和道路臨海邊緣不發生溢淹或已達條件的下限值為止，參照圖 4.14 的流程。此外當滿足無溢淹的海況條件時，仍模擬了數個海況條件值更小的情境來確認溢淹情況是否不同。而 61K+380 站則參考相鄰的 61K+300 站之溢淹結果來決定的第一次模擬條件，並於模擬後對應於道路或道路邊緣的溢淹結果各自增加或降低初始水位、入射波高和入射週期條件，直到增加或降低的條件皆已被模擬為止，流程如圖 4.15 所示。其他五站的模擬流程與 61K+380 站相同。最後分析所有模擬情境的模擬期間 VOF 空間分布最大值來探討發生道路溢淹的海況條件。

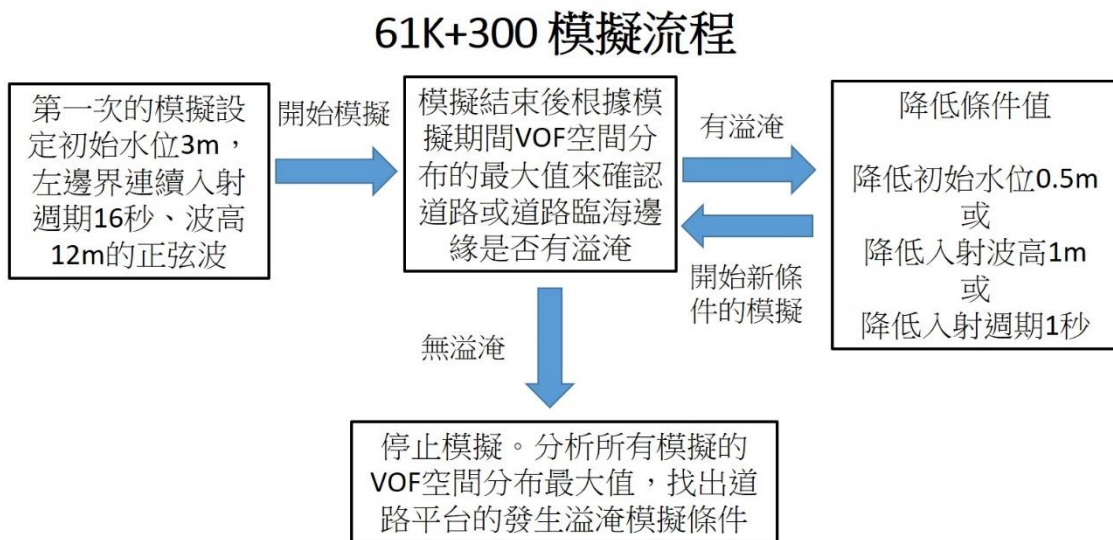


圖 4.14 61k+300 之情境模擬流程

模擬流程

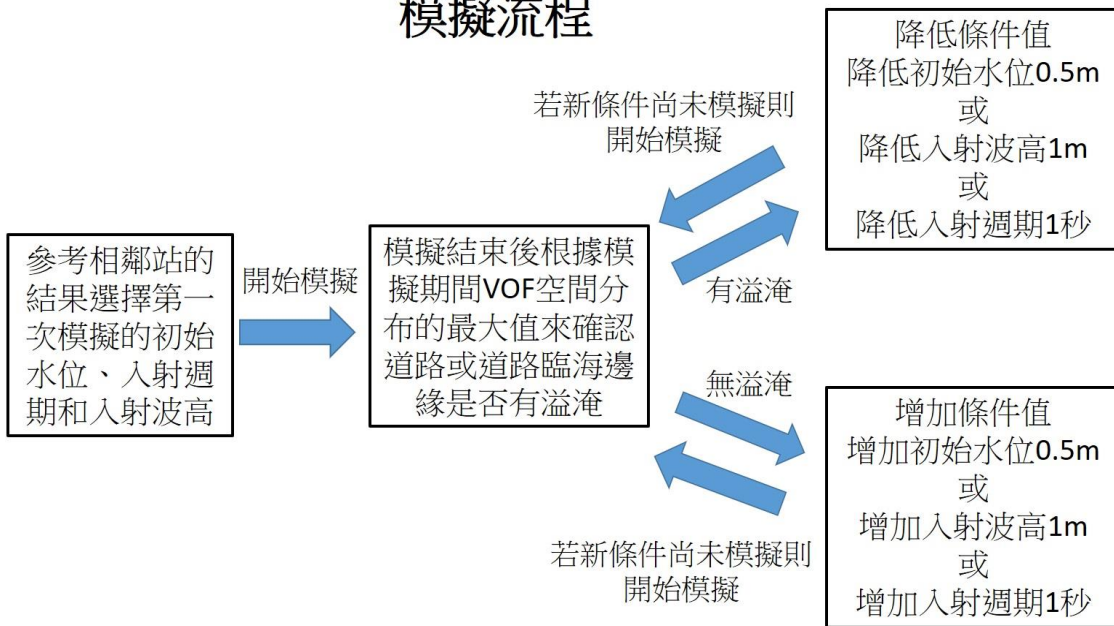


圖 4.15 61K+380、+500、+580、+700、+830 和+220 的模擬流程

以 61K+300 站為例，左邊界入射波高 12m、週期 16 秒的連續正弦波且初始水位為 3m 所得的模擬時間第 50、100、150、200、250、300、和 400 秒的 VOF 空間分布如圖 4.16。模擬期間曾發生數次海浪越上高程 8.7m 的道路平台，如圖 4.17、4.18 為模擬期間的其中兩次越波事件。在模擬結束之後，輸出模擬期間 VOF 空間分布最大值來判斷溢淹與否，如圖 4.19。由圖 4.19 的下圖可知陸地區域 X 座標 0 到 35.5m 皆有溢淹的狀況，其中 23.5 到 31.5m 之間為寬 8m 的路面範圍。當浪襲造成道路溢淹或者是道路臨海邊緣出現溢淹時，皆降低其中一個海況條件進行新的情境模擬，因此進行以下的三個後續模擬：

波高 11m，週期 16 秒，初始水位 3.0m

波高 12m，週期 15 秒，初始水位 3.0m

波高 12m，週期 16 秒，初始水位 2.5m

以此類推，直到不發生溢淹或已達海況條件的下限值為止。

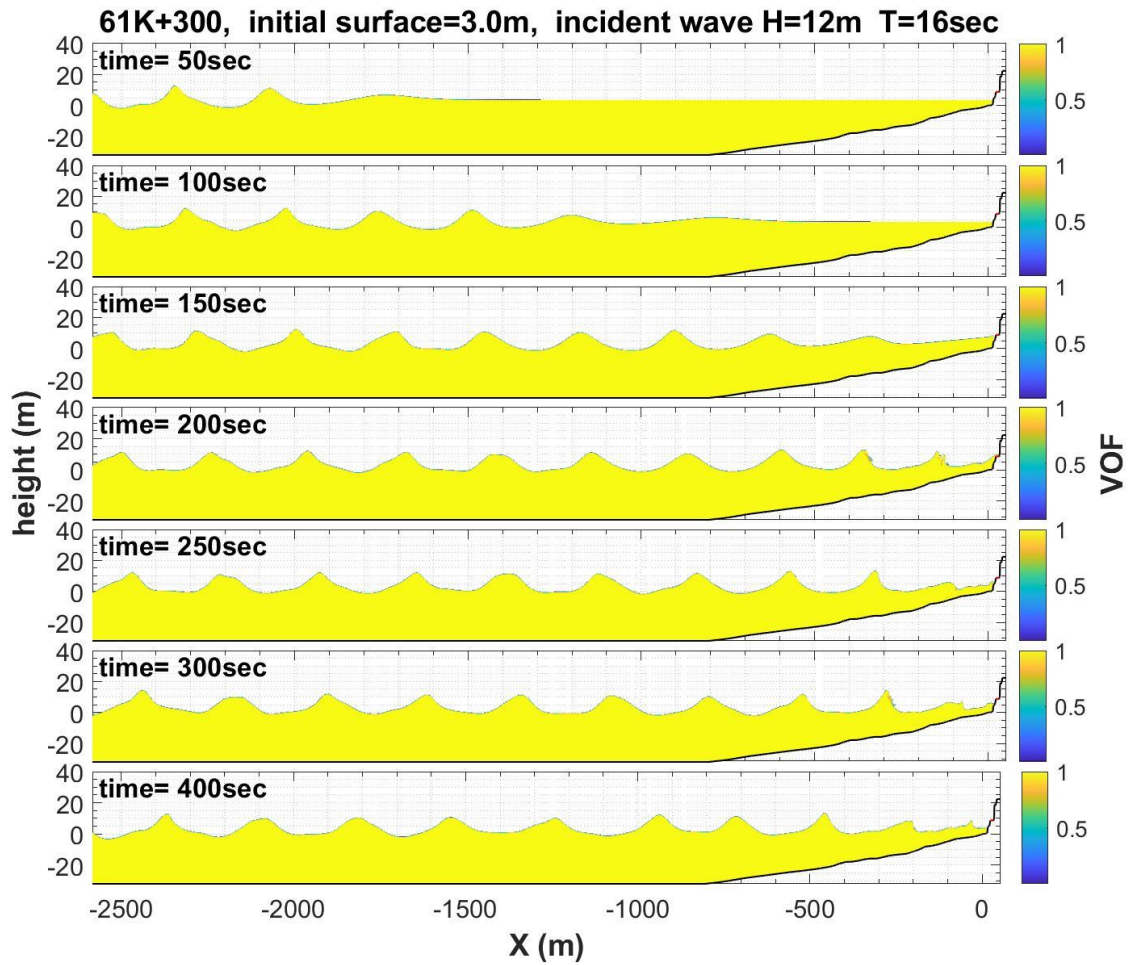


圖 4.16 61K+300 站情境模擬 7 個時間段 VOF 空間分布

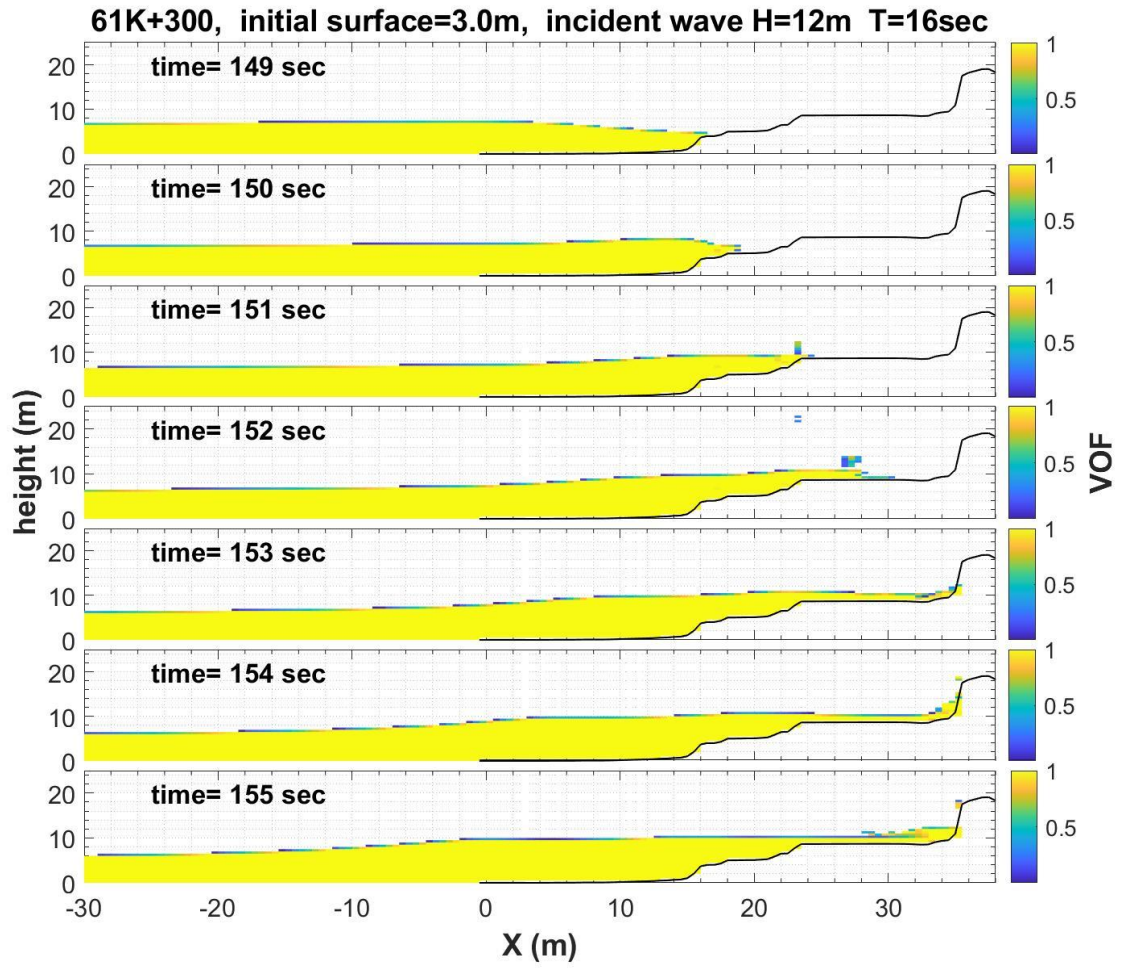


圖 4.17 61K+300 站情境模擬第 149 到 155 秒發生浪襲

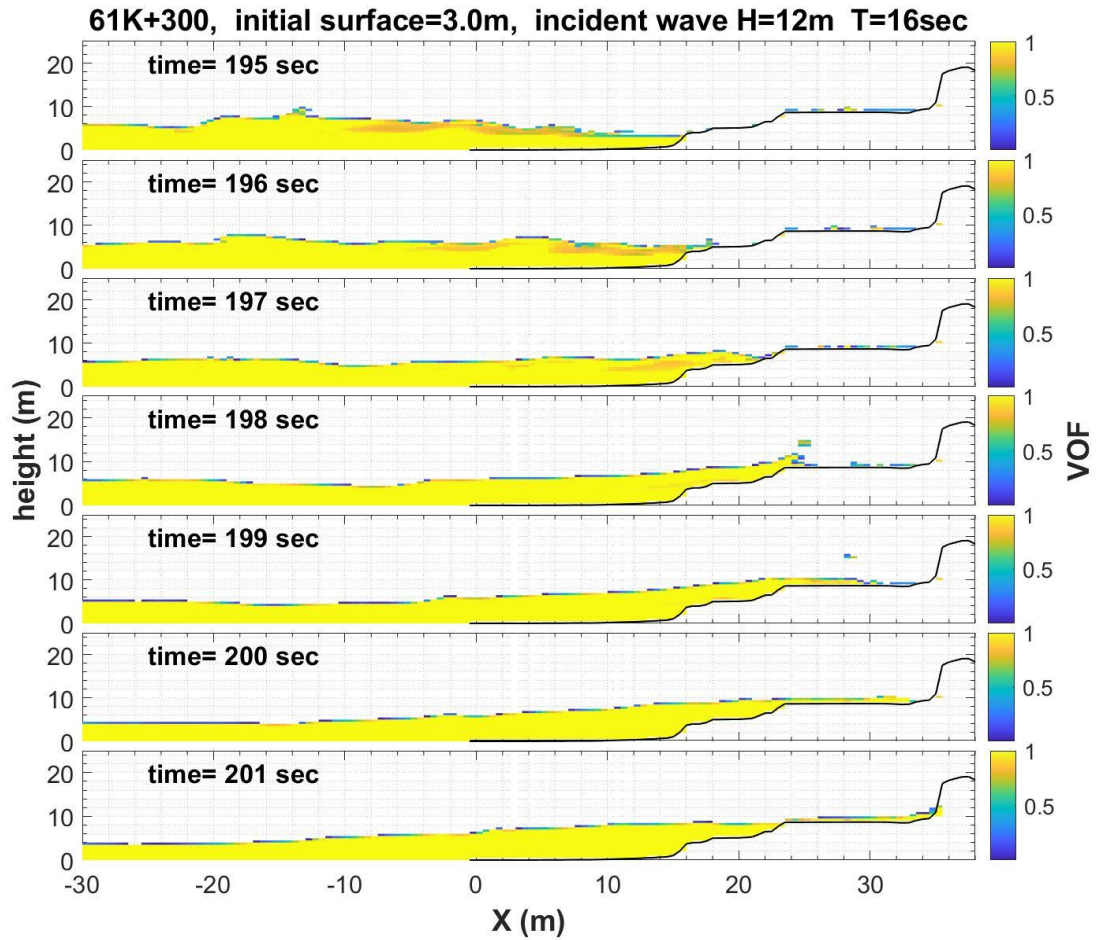


圖 4.18 61K+300 站情境模擬第 195 到 201 秒發生浪襲

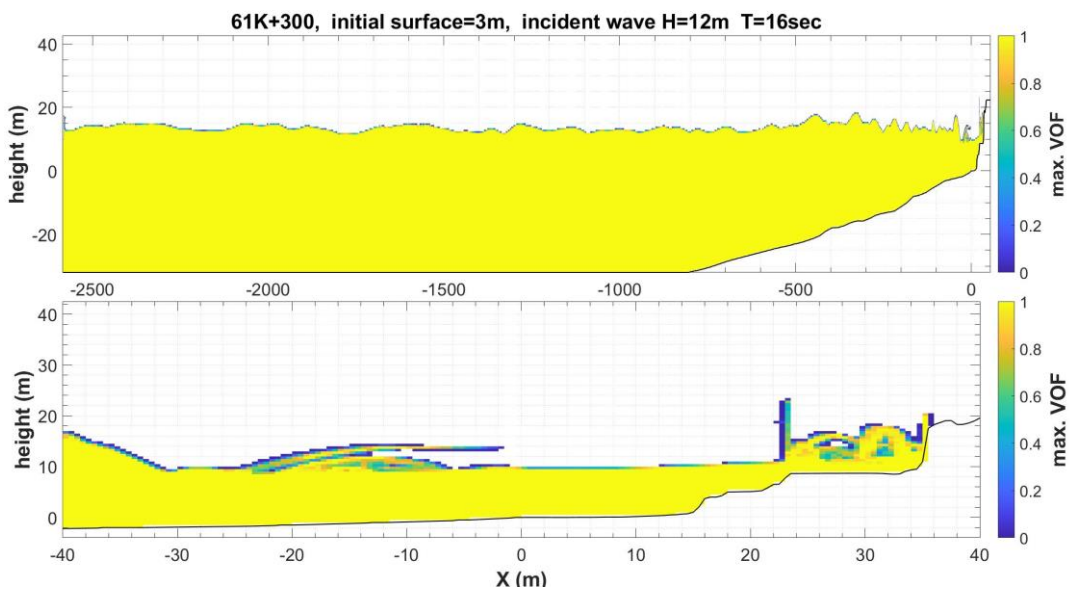


圖 4.19 61K+300 站模擬期間的 VOF 空間分布最大值

4.5 模擬結果

本研究對台 11 線人定勝天段 61+300K、61+380K、61+500K、61+580K、61+700K、61+830K 和 62+220K 等 7 個站依不同海況條件各進行情境模擬。為後續分析道路與道路臨海邊緣的溢淹情形以及考量道路通行安全，在此將道路發生溢淹定義為模擬期間的道路路面出現淹水或道路上方出現浪花皆視為溢淹。而道路臨海邊緣的溢淹定義亦相同。各情境可根據溢淹的定義決定出陸地溢淹距離，其距離的起點為海陸交界處，而終點設限制在道路的陸側邊緣。針對 8m 路寬的另外再定義道路溢淹距離，藉以了解道路是否雙向車道皆出現溢淹，其起點和終點各為道路的靠海和靠陸邊緣，溢淹距離介於 0 到 8m。後續所分析之道路臨海邊緣的溢淹高程，其定義為道路臨海邊緣出現的最大淹水高度或浪花高度，該值有助於海況條件將達到發生道路溢淹前的警戒參考。每個站依上述的定義分析各情境數值並於後續 4.5.1 到 4.5.7 節列出，並於 4.5.8 節作討論。

4.5.1 台11線61K+300站

人定勝天段 61K+300 站所在的道路高程約 8.7m，道路離海岸線距離約 23.5m，基於不同的邊界入射波高、波浪周期以及初始水位條件組合，共進行 334 個浪襲道路的情境模擬。結果有 145 個情境發生道路溢淹，其中 142 個情境溢淹滿整個路寬。圖 4.20 為波高 10m、週期 15 秒以及潮位 1m 的情境條件所發生的道路溢淹。所有情境的陸地溢淹距離如表 4-1a 和 4-1b。另外道路邊緣的最大水位高程表列於 4-2a、4-2b。

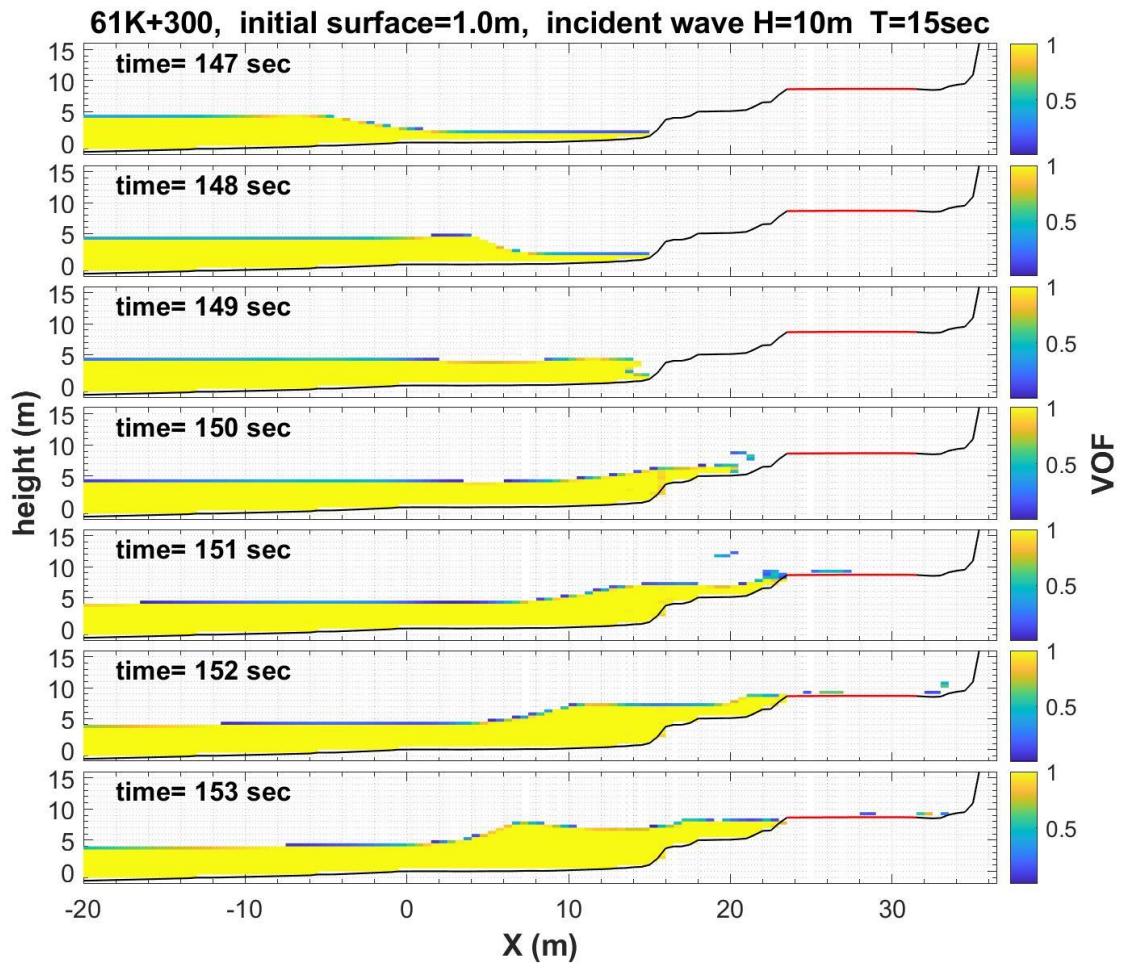


圖 4.20 61K+300 道路溢淹的情境

註：路面為 X=23.5 到 31.5 處(紅線)

表 4-1a 61K+300 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 5m						波高 6m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+300	1.0							16.0							21.0
	1.5	17.0	17.5	17.0	17.5	17.5	17.5	21.0	17.5	17.5	17.0	17.5	21.0	21.0	21.0
	2.0	17.5	21.0	21.0	21.0	21.5	22.0	22.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.5	21.0	22.0
	2.5	22.5	23.0	22.0	22.0	22.5	22.5	31.5 (8)	22.5	22.5	22.0	23.0	22.5	23.0	31.5 (8)
	3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
省道 里程	潮位 (m)	波高 7m						波高 8m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+300	-0.5														21.0
	0.0														21.0 22.0
	0.5														22.0 22.5
	1.0					21.0	21.0	22.0			17.5	21.0	22.0	21.5	22.5
	1.5	17.5	17.5	18.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	22.0	22.0	23.0
	2.0	21.0	21.0	21.0	22.0	22.0	22.0	22.5	21.0	21.0	22.0	22.5	22.5	22.5	23.0
	2.5	22.5	22.5	23.0	22.5	22.5	23.5	31.5 (8)	22.5	23.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
	3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-1b 61K+300 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 9m						波高 10m								
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	
61K+300	-1.0							21.0						21.5	22.0	
	-0.5							21.0	22.0					21.5	22.0	22.5
	0.0					21.0	21.5	22.0				21.0	21.5	22.0	31.5 (8)	
	0.5				21.0	21.5	22.0	22.5			21.5	22.0	22.0	22.5	31.5 (8)	
	1.0			21.0	21.0	22.0	23.0	23.5	17.5	21.0	22.0	22.5	23.5	31.5 (8)	31.5 (8)	
	1.5	21.5	20.5	22.0	21.5	22.5	22.5	31.5 (8)	21.5	21.5	22.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	2.0	22.0	22.0	21.5	22.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	22.0	22.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	2.5	23.0	22.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
省道 里程	潮 位 (m)	波高 11m						波高 12m								
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	
61K+300	-1.0				21.5	22.0	22.0	23.0			22.0	22.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	
	-0.5				21.0	22.0	22.5	23.0		18.5	21.0	22.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	
	0.0			21.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)		21.0	23.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	0.5		21.0	21.0	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	21.0	21.5	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	1.0	21.0	22.0	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	21.0	22.0	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	1.5	21.0	22.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	21.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	2.0	22.0	22.5	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	21.5	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	2.5	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-2a 61K+300 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 5m							波高 6m						
		週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	
		10 秒	11 秒	12 秒	13 秒	14 秒	15 秒	16 秒	10 秒	11 秒	12 秒	13 秒	14 秒	15 秒	16 秒
61K+300	1.0							0.0							0.0
	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5
	2.5	9.0	9.2	9.5	7.7	8.1	10.5	13.0	8.1	8.7	8.0	10.5	8.1	10.6	12.0
	3.0	12.5	11.5	13.0	17.6	20.0	14.7	19.0	10.5	13.0	12.5	20.8	29.2	23.0	15.5
省道 里程	潮 位 (m)	波高 7m							波高 8m						
		週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	
		10 秒	11 秒	12 秒	13 秒	14 秒	15 秒	16 秒	10 秒	11 秒	12 秒	13 秒	14 秒	15 秒	16 秒
61K+300	-0.5														0.0
	0.0													0.0	7.2
	0.5													7.3	8.7
	1.0					0.0	0.0	7.3			0.0	0.0	7.1	0.0	8.5
	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	7.6	10.5
	2.0	0.0	0.0	0.0	7.5	7.8	8.0	9.0	0.0	0.0	7.2	8.0	11.0	8.8	34.0
	2.5	8.5	8.7	11.8	8.8	9.0	11.5	14.5	10.5	10.0	9.2	13.5	12.5	23.0	18.0
	3.0	22.7	12.7	10.0	12.5	13.3	39.8	16.5	13.1	19.7	24.2	14.5	13.0	13.0	12.0

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

表 4-2b 61K+300 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 9m							波高 10m							
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	
61K+300	-1.0							0.0							0.0	8.0
	-0.5							0.0	7.2					0.0	7.2	8.1
	0.0					0.0	0.0	7.6				0.0	0.0	7.3	10.7	
	0.5				0.0	0.0	7.8	10.5			0.0	7.0	9.0	9.0	14.0	
	1.0			0.0	0.0	7.5	9.3	16.5	0.0	0.0	7.3	8.1	13.6	10.1	37.5	
	1.5	0.0	0.0	7.2	0.0	8.8	8.4	12.0	0.0	0.0	7.8	10.1	11.9	15.0	31.5	
	2.0	7.0	7.5	0.0	7.8	10.5	11.7	13.2	7.4	9.0	7.7	15.5	17.0	30.5	15.2	
	2.5	10.0	9.7	10.0	12.2	13.6	18.5	28.5	8.1	9.6	17.2	26.0	14.6	16.5	13.5	
	3.0	12.0	22.5	23.2	17.5	12.6	28.0	17.0	13.0	16.0	15.5	14.5	32.2	13.0	15.7	
省道 里程	潮 位 (m)	波高 11m							波高 12m							
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	
61K+300	-1.0				0.0	7.2	8.0	10.0			7.1	8.5	8.8	10.1	13.0	
	-0.5				0.0	7.7	8.7	12.5		0.0	0.0	7.8	12.1	12.5	12.1	
	0.0			0.0	7.1	13.0	20.0	11.2		0.0	9.5	10.5	9.5	9.7	13.0	
	0.5		0.0	0.0	9.1	9.5	11.0	10.8	0.0	0.0	9.8	13.0	12.0	17.7	19.0	
	1.0	0.0	7.2	8.3	9.5	9.5	18.2	10.2	0.0	7.7	8.5	10.0	14.0	10.6	18.5	
	1.5	0.0	8.5	8.5	11.0	22.5	14.0	14.5	0.0	8.8	12.5	24.5	29.5	12.5	22.0	
	2.0	7.5	9.0	9.4	20.6	21.0	25.5	30.7	0.0	9.5	12.0	18.2	16.5	20.0	20.0	
	2.5	12.0	13.0	9.8	11.5	15.5	16.7	24.0	14.5	14.0	12.5	17.3	22.0	20.2	25.2	
	3.0	16.5	12.2	16.0	16.0	20.0	16.6	25.0	13.0	11.5	15.0	21.5	15.0	20.0	23.0	

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

4.5.2 台11線61K+380站

人定勝天段 61K+380 站所在的道路高程約 8.7m，道路離海岸線距離約 21.5m，基於不同的邊界入射波高、波浪周期以及初始水位條件組合，共進行 257 個浪襲道路的情境模擬。結果有 54 個情境發生道路溢淹，其中 44 個情境溢淹滿整個 8m 路寬、其他 9 個情境溢淹亦達 7.5m 路寬。圖 4.21 為波高 10m、週期 14 秒以及潮位 2m 的情境條件所發生的道路溢淹。所有情境的陸地溢淹距離如表 4-3a 和 4-3b。另外道路邊緣的最大水位高程列於表 4-4a 和 4-4b。

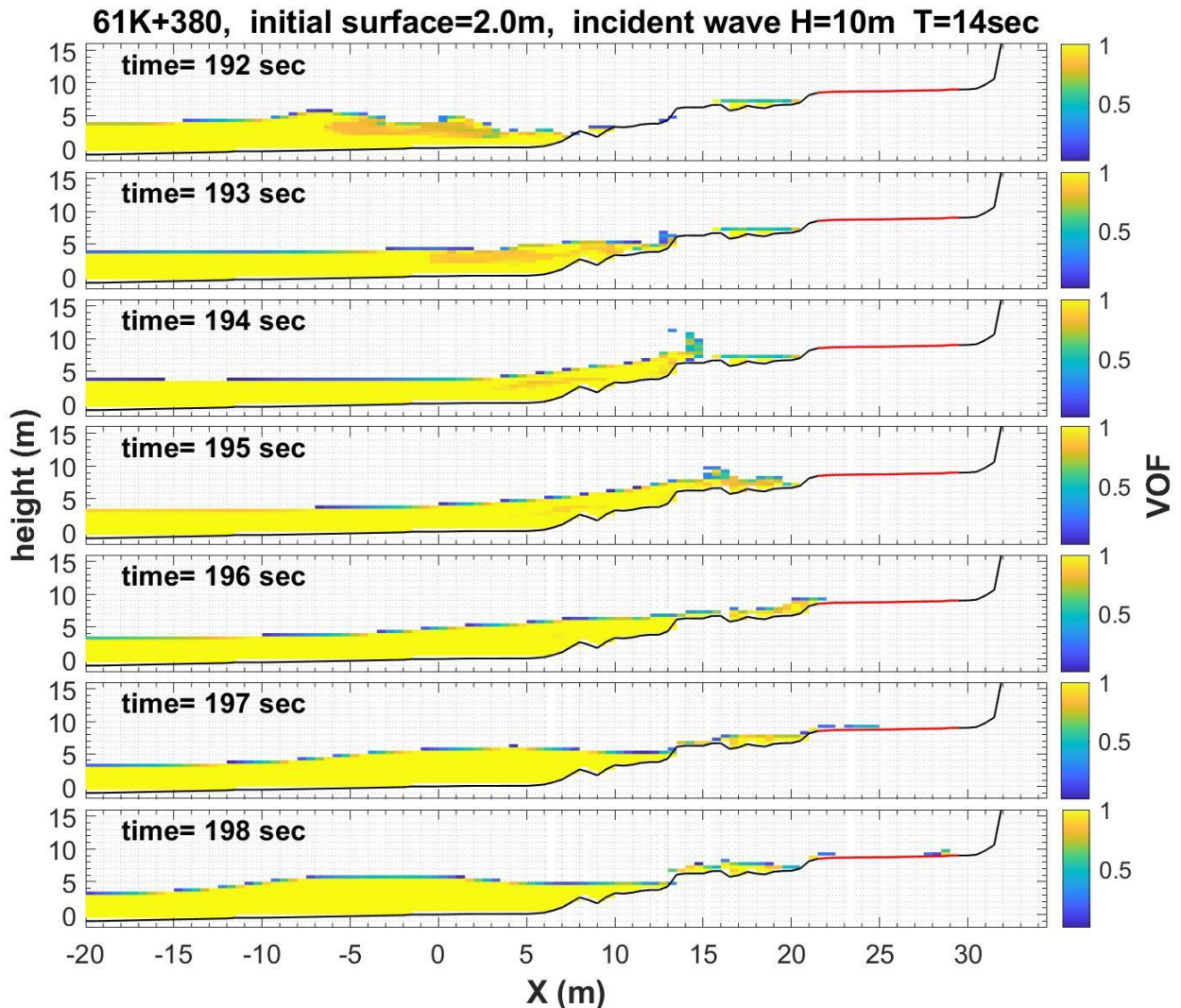


圖 4.21 61K+380 道路溢淹的情境

註：路面為 X=21.5 到 29.5 處(紅線)

表 4-3a 61K+380 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 5m							波高 6m						
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+380	1.5													14.5	13.0
	2.0	12.5	13.0	15.0	15.0	13.0	15.0	15.0	14.5	13.0	14.5	15.0	15.0	15.0	17.0
	2.5	15.0	15.5	15.0	15.5	18.5	17.0	17.0	17.0	15.5	16.0	15.5	18.5	20.5	21.0
	3.0	16.0	19.0	19.0	20.0	20.0	21.0	20.5	20.0	20.0	20.5	20.5	21.0	29.5 (8)	29.5 (8)
省道 里程	潮 位 (m)	波高 7m							波高 8m						
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+380	1.0												18.5	15.5	15.5
	1.5				13.0	16.0	14.5	15.5				15.0	15.0	15.5	16.5
	2.0	15.0	13.0	15.0	16.0	15.5	19.0	17.5	15.0	15.0	15.0	15.5	17.0	20.5	20.5
	2.5	15.0	15.0	17.0	20.0	21.0	20.5	20.5	15.5	16.0	18.5	20.0	20.5	20.5	29.5 (8)
	3.0	20.0	20.5	28.5 (7)	29.5 (8)	28.5 (7)	29.5 (8)	29.5 (8)	20.0	20.5	29.5 (8)	29.5 (8)	29.5 (8)	29.5 (8)	29.5 (8)

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-3b 61K+380 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 9m						波高 10m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+380	-0.5														16.0
	0.0							15.0						15.5	17.0
	0.5						15.5	16.0		12.5	14.5	15.0	16.0	18.5	20.0
	1.0					15.5	17.0	20.0	12.5	12.5	15.0	15.0	17.0	20.0	21.0
	1.5	14.5	13.0	14.5	15.0	16.0	17.0	20.5	13.0	14.5	15.0	20.0	20.5	20.5	28.5 (7)
	2.0	15.0	15.0	15.0	17.0	20.0	29.5 (8)	29.5 (8)	15.0	15.0	15.5	20.0	29.5 (8)	29.5 (8)	29.5 (8)
	2.5	18.5	20.0	20.0	20.5	20.5	29.5 (8)	29.5 (8)	18.5	20.5	21.0	21.0	29.5 (8)		
	3.0	21.0	20.5	29.5 (8)	29.5 (8)	29.5 (8)	29.5 (8)		20.5	29.5 (8)	29.5 (8)	29.5 (8)	29.5 (8)		
省道 里程	潮位 (m)	波高 11m						波高 12m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+380	-1.0						16.5	20.0					16.0	15.5	20.5
	-0.5					15.0	16.0	20.5				15.0	16.0	18.5	20.0
	0.0				15.5	15.5	17.0	20.5		14.5	15.0	15.0	20.0	21.0	21.5
	0.5		13.0	15.0	15.5	20.5	20.0	21.0		13.0	15.0	18.0	21.0	28.5 (7)	29.5 (8)
	1.0	12.5	15.0	15.0	17.0	20.5	20.5	29.5 (8)	14.5	15.5	16.0	20.0	28.5 (7)	29.5 (8)	29.5 (8)
	1.5	12.5	15.0	17.0	20.0	20.5	28.5 (7)	29.5 (8)	15.0	16.0	17.5	20.5	29.5 (8)		
	2.0	15.5	15.5	20.0	20.5	29.5 (8)	29.5 (8)		15.0	17.0	20.0	29.5 (8)	29.5 (8)		
	2.5	17.0	20.0	28.5 (7)	29.5 (8)	29.5 (8)			17.0	20.5	29.5 (8)	29.5 (8)			
	3.0	20.5	28.5 (7)	29.5 (8)	29.5 (8)				20.0	28.5 (7)	29.5 (8)				

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-4a 61K+380 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 5m							波高 6m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+380	1.5													0.0	0.0
	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	9.3
	3.0	0.0	0.0	0.0	8.0	8.1	9.5	10.5	8.0	7.8	10.5	12.0	11.3	11.7	15.0
省道 里程	潮位 (m)	波高 7m							波高 8m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+380	1.0												0.0	0.0	0.0
	1.5				0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	0.0	0.0
	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	9.4
	2.5	0.0	0.0	0.0	8.5	10.0	11.7	12.3	0.0	0.0	0.0	8.0	9.5	23.0	11.5
	3.0	8.1	8.8	14.0	9.7	9.5	10.4	25.0	8.5	9.4	10.1	10.0	20.5	10.1	11.2

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括溯上水位以及飛濺的浪花。

表 4-4b 61K+380 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 9m							波高 10m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+380	-0.5														0.0
	0.0							0.0						0.0	0.0
	0.5						0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4
	1.0					0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	13.5
	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	7.9	13.5	8.8	15.7
	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	9.4	11.2	0.0	0.0	0.0	8.5	9.3	13.5	16.0
	2.5	0.0	8.0	8.3	8.7	11.0	10.1	11.5	0.0	9.0	9.2	12.5	9.9		
	3.0	9.1	17.0	11.4	10.2	11.0	12.5		9.2	12.7	12.1	11.6	15.8		
省道 里程	潮 位 (m)	波高 11m							波高 12m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+380	-1.0						0.0	8.3					0.0	0.0	8.6
	-0.5					0.0	0.0	8.8				0.0	0.0	0.0	8.3
	0.0				0.0	0.0	0.0	9.0		0.0	0.0	0.0	8.0	9.4	11.0
	0.5		0.0	0.0	0.0	9.1	8.5	9.4		0.0	0.0	0.0	9.1	10.2	10.6
	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	14.5	12.0	0.0	0.0	0.0	8.3	13.7	11.8	14.0
	1.5	0.0	0.0	0.0	8.5	8.7	16.5	10.2	0.0	0.0	0.0	12.1	10.2		
	2.0	0.0	0.0	8.0	9.1	12.5	11.5		0.0	0.0	8.4	12.0	10.7		
	2.5	0.0	8.5	10.1	10.1	12.7			0.0	9.2	9.8	12.2			
	3.0	9.0	12.2	11.7	14.0				8.5	9.6	14.5				

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

4.5.3 台11線61K+500站

人定勝天段 61K+500 站所在的道路高程約 8.2m，道路離海岸線距離約 30m，基於不同的邊界入射波高、波浪周期以及初始水位條件組合，共進行 299 個浪襲道路的情境模擬。結果有 99 個情境發生道路溢淹且皆溢淹滿 8m 路寬。圖 4.22 為波高 10m、週期 15 秒以及潮位 1m 的情境條件所發生的道路溢淹。所有情境的陸地溢淹距離如表 4-5a 和 4.5b。另外道路邊緣的最大水位高程列於表 4-6a 和 4-6b。

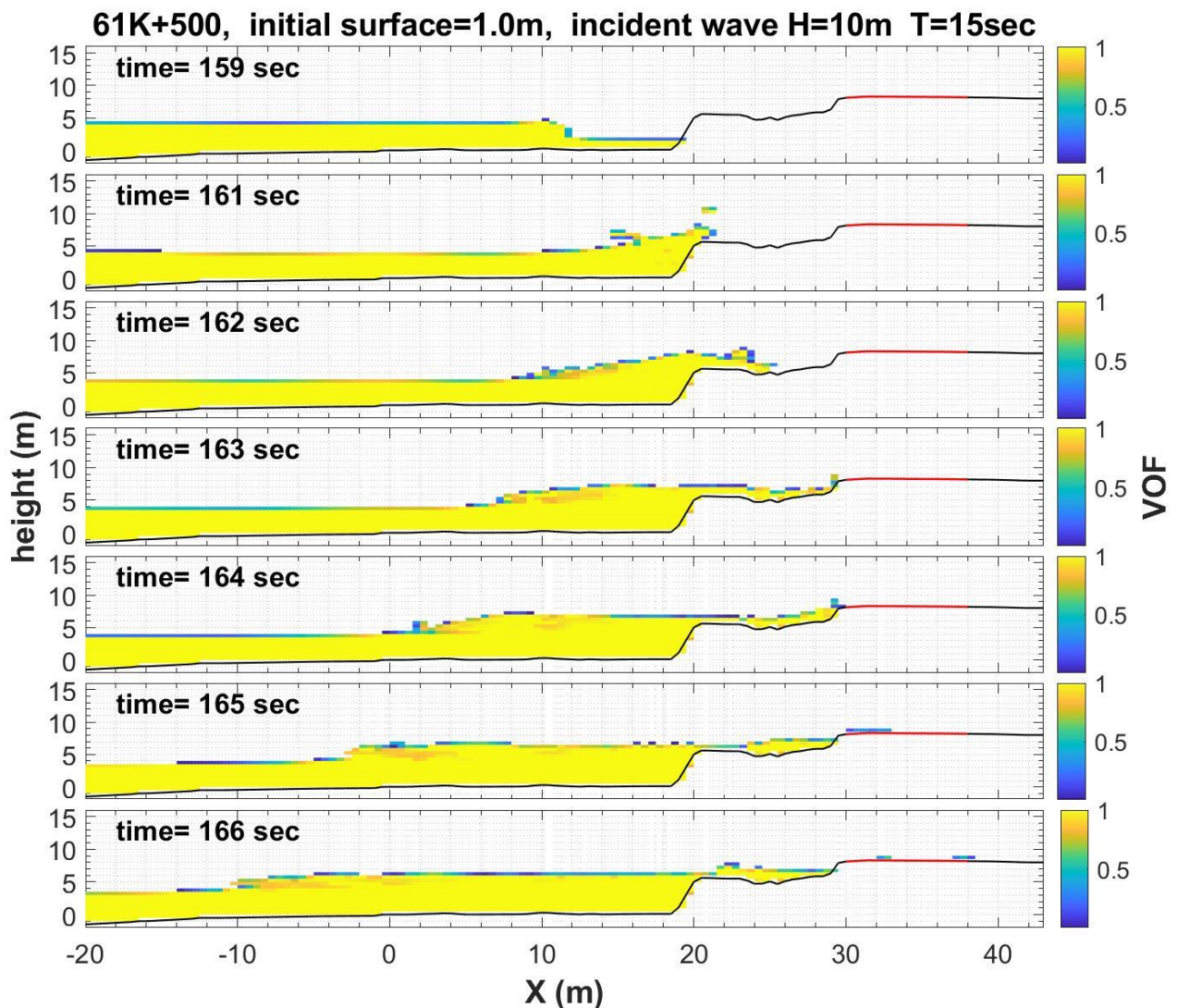


圖 4.22 61K+500 道路溢淹的情境

註：路面為 X=30 到 38 處(紅線)

表 4-5a 61K+500 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 5m							波高 6m						
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+500	1.5		19.5	20.5	26.5	28.5	26.5	26.5	21.5	24.0	28.0	26.5	26.5	26.5	28.5
	2.0	26.5	26.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	24.0	28.0	28.5	28.5	29.5	29.5	28.5
	2.5	28.5	29.0	29.0	29.0	29.0	29.5	38 (8)	29.0	28.5	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)
	3.0	29.5	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	29.0	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)
省道 里程	潮位 (m)	波高 7m							波高 8m						
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+500	1.0			24.5	26.5	25.5	25.5	28.5	19.5	19.5	24.5	28.5	26.5	28.5	28.5
	1.5	24.5	24.5	25.0	28.5	28.5	28.5	28.5	20.0	24.5	26.5	28.5	29.0	28.5	29.5
	2.0	26.5	28.5	28.5	29.5	29.5	29.0	29.5	28.5	28.5	29.5	29.5	29.5	38 (8)	38 (8)
	2.5	28.5	29.0	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	29.5	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)
	3.0	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)		

1.無數值的部分表示無模擬該情境。

2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-5b 61K+500 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 9m						波高 10m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+500	-0.5							25.0			20.0	19.5	20.0	28.5	24.5
	0.0				20.0	20.0	25.0	26.5			19.5	25.0	26.5	26.5	28.5
	0.5			25.5	28.5	26.5	28.5	28.5		24.5	26.5	28.5	28.5	29.0	29.5
	1.0		26.0	26.5	28.5	29.0	28.5	29.0	19.5	28.5	28.5	29.0	28.5	38 (8)	38 (8)
	1.5	25.5	26.5	29.0	28.5	29.0	29.0	38 (8)	25.0	29.0	29.0	29.0	29.0	38 (8)	38 (8)
	2.0	28.0	28.5	29.0	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	28.5	29.0	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)
	2.5	29.5	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)	29.0	38 (8)	38 (8)	38 (8)	38 (8)		
	3.0	38 (8)	38 (8)	38 (8)					38 (8)	38 (8)					
省道 里程	潮位 (m)	波高 11m						波高 12m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+500	-1.0						26.5	28.5					26.5	28.5	28.5
	-0.5			24.5	26.5	25.0	28.5	29.0			28.5	25.0	28.5	28.5	29.5
	0.0		24.5	24.0	26.5	28.5	28.5	28.5		20.0	28.5	26.5	29.5	28.5	38 (8)
	0.5		22.5	28.5	28.5	29.0	38 (8)	38 (8)		28.5	28.5	29.0	29.5	38 (8)	38 (8)
	1.0	20.0	26.5	29.0	29.0	38 (8)	38 (8)	38 (8)	26.5	27.0	28.5	29.0	38 (8)	38 (8)	38 (8)
	1.5	26.5	28.5	29.0	38 (8)	38 (8)			25.0	28.5	29.5	38 (8)	38 (8)		
	2.0	28.5	28.5	38 (8)	38 (8)				26.5	28.5	38 (8)	38 (8)			
	2.5	29.0	38 (8)	38 (8)					28.5	38 (8)	38 (8)				
	3.0	38 (8)	38 (8)						38 (8)	38 (8)					

1.無數值的部分表示無模擬該情境。

2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-6a 61K+500 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 5m							波高 6m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+500	1.5				0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2.0		0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8
	2.5	0.0	0.0	7.2	7.7	7.9	7.5	7.3	0.0	0.0	7.4	7.7	10.3	9.0	7.2
	3.0	6.5	9.0	16.9	10.0	14.5	9.5	35.0	8.3	7.4	11.5	10.3	10.5	17.5	12.5
省道 里程	潮 位 (m)	波高 7m							波高 8m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+500	1.0											0.0	0.0	0.0	0.0
	1.5			0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	7.1	7.0
	2.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.1	6.5	6.5	0.0	0.0	0.0	7.3	9.5	7.8	12.5
	2.5	0.0	7.0	8.1	9.0	9.5	9.0	10.0	6.5	7.4	8.6	11.0	14.5	13.5	16.6
	3.0	7.2	11.5	11.5	10.1	12.5	11.8	13.0	8.6	9.2	14.0	15.7	10.2	12.5	13.0

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

表 4-6b 61K+500 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 9m							波高 10m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+500	-0.5							0.0			0.0	0.0	0.0	6.9	0.0
	0.0				0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	6.9
	0.5			0.0	6.5	0.0	6.5	7.3		0.0	0.0	6.5	7.1	9.0	9.0
	1.0		0.0	0.0	7.4	8.5	7.5	8.7	0.0	6.5	7.3	9.0	7.5	10.3	12.7
	1.5	0.0	0.0	8.5	7.5	9.0	9.0	9.5	0.0	10.0	13.0	14.0	9.5	9.3	13.4
	2.0	0.0	7.9	8.6	12.0	12.5	12.5	12.0	7.0	9.0	11.0	11.1	11.0	11.0	14.0
	2.5	10.5	16.0	15.0	14.3	18.0	12.5	12.5	9.0	16.0	11.5	12.5	14.5		
	3.0	15.0	12.5	17.0					13.1	14.0					
省道 里程	潮位 (m)	波高 11m							波高 12m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+500	-1.0						0.0	6.5					0.0	7.1	6.5
	-0.5			0.0	0.0	0.0	6.5	13.1			7.2	0.0	7.1	7.2	9.5
	0.0		0.0	0.0	0.0	7.0	7.6	7.5		0.0	6.5	0.0	15.2	7.5	16.5
	0.5		0.0	7.4	7.4	8.4	10.5	11.2		6.8	7.4	8.4	11.0	14.5	30.5
	1.0	0.0	0.0	10.0	9.0	10.9	10.3	12.6	0.0	0.0	7.4	10.5	11.2	11.5	10.5
	1.5	0.0	7.4	9.6	11.0	10.5			0.0	8.0	8.6	11.8	14.0		
	2.0	6.5	8.0	16.8	16.0				0.0	7.7	13.0	12.5			
	2.5	9.0	18.0	13.6					8.0	10.0	13.0				
3.0	15.6	13.0						19.5	22.5						

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括溯上水位以及飛濺的浪花。

4.5.4 台11線61K+580站

人定勝天段 61K+580 站所在的道路高程約 7.8m，道路離海岸線距離約 23.5m，基於不同的邊界入射波高、波浪周期以及初始水位條件組合，共進行 296 個浪襲道路的情境模擬。結果有 116 個情境發生道路溢淹且皆溢淹滿 8m 路寬。圖 4.23 為波高 10m、週期 15 秒以及潮位 1m 的情境條件所發生的道路溢淹。所有情境的陸地溢淹距離如表 4-7a 和 4.7b。而道路邊緣的最大水位高程如表 4-8a 和 4-8b。

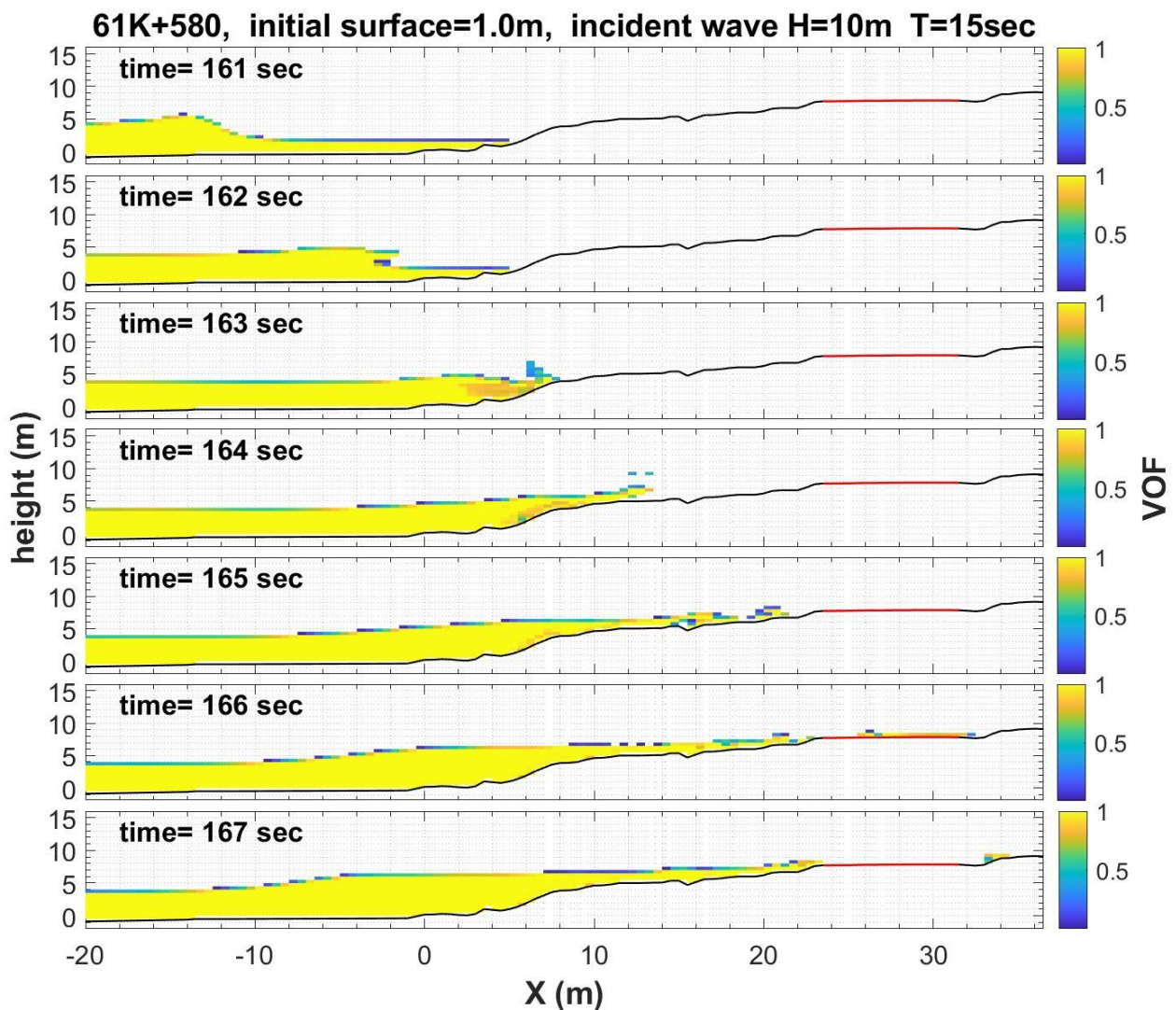


圖 4.23 61K+580 道路溢淹的情境

註：路面為 X=23.5 到 31.5 處(紅線)

表 4-7a 61K+580 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 5m							波高 6m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	
61K+580	1.0										8.5	9.5	10.5	14.0	14.5	
	1.5	11.0	10.5	14.0	14.5	14.5	15.5	14.5	14.5	15.0	16.0	14.5	15.0	14.5	16.0	
	2.0	18.0	16.0	18.0	19.5	18.5	18.0	20.5	17.5	18.0	21.5	21.5	21.5	22.0	22.0	
	2.5	21.5	22.0	22.5	22.0	22.0	22.5	22.0	21.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
	3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	
省道 里程	潮位 (m)	波高 7m							波高 8m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	
61K+580	0													11.5	14.5	
	0.5							14.5					14.5	18.0	20.0	
	1.0		8.5	10.5	14.5	14.5	16.0	20.0	8.5	10.5	14.5	18.0	20.0	21.5	22.0	
	1.5	14.5	15.5	14.5	18.0	20.5	18.0	21.5	14.5	20.0	16.0	20.0	22.0	21.5	22.5	
	2.0	18.0	21.5	21.5	21.5	22.0	22.0	21.5	21.5	22.0	22.0	22.0	22.5	22.0	22.5	
	2.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
	3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-7b 61K+580 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 9m								波高 10m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒		
61K+580	-1.0														18.0		
	-0.5							14.0					14.0	14.5	16.0		
	0.0					14.5	15.0	20.0				14.5	15.0	18.0	22.0		
	0.5				15.0	19.5	22.0	22.0			18.0	18.0	21.5	22.0	31.5 (8)		
	1.0	10.5	14.5	15.0	20.0	21.5	22.0	31.5 (8)	14.5	16.0	18.0	22.0	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)		
	1.5	20.0	18.0	20.0	21.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	15.5	20.0	22.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)		
	2.0	21.5	22.0	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	21.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)		
	2.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)			31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)					
	3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)				31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)						
省道 里程	潮位 (m)	波高 11m								波高 12m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒		
61K+580	-1.0						15.0	20.0					16.5	21.5	22.0		
	-0.5					20.0	20.0	22.0			14.5	14.5	19.0	22.0	31.5 (8)		
	0.0			14.5	14.5	18.5	22.0	31.5 (8)		14.5	14.5	18.5	22.0	23.0	31.5 (8)		
	0.5		18.0	19.5	21.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)		20.0	22.0	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)		
	1.0	15.5	20.0	21.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	18.0	20.0	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)			
	1.5	16.5	21.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	20.0	21.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)				
	2.0	22.0	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	20.0	22.5	31.5 (8)						
	2.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)					31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)						
	3.0	31.5 (8)	31.5 (8)						31.5 (8)	31.5 (8)							

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-8a 61K+580 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 5m							波高 6m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+580	1.0										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	7.4	7.5	7.8	8.3
	2.5	7.2	7.9	8.3	8.0	8.0	8.5	8.0	7.5	8.0	9.0	8.7	9.5	8.5	8.5
	3.0	9.0	9.5	9.2	10.0	10.6	11.0	9.5	9.5	8.7	9.5	9.5	13.3	10.0	10.0
省道 里程	潮 位 (m)	波高 7m							波高 8m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+580	0													0.0	0.0
	0.5							0.0					0.0	0.0	0.0
	1.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	7.6
	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	7.5	8.4
	2.0	0.0	7.2	7.4	7.2	7.6	8.0	7.3	7.5	8.0	7.8	8.0	10.5	8.0	8.4
	2.5	8.1	8.5	8.5	9.0	9.8	9.1	18.5	8.1	9.5	9.2	10.0	11.0	9.5	9.1
	3.0	9.0	11.0	13.5	9.2	10.5	9.2	10.6	9.6	15.5	10.5	11.5	9.8	10.0	12.5

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

表 4-8b 61K+580 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 9m							波高 10m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+580	-1.0														0.0
	-0.5							0.0					0.0	0.0	0.0
	0.0					0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	0.0	7.9
	0.5				0.0	0.0	7.6	8.2			0.0	0.0	7.5	7.6	9.6
	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	7.7	9.2	0.0	0.0	0.0	7.7	8.0	9.2	9.0
	1.5	0.0	0.0	0.0	7.6	8.1	9.6	9.5	0.0	0.0	10.0	8.5	8.9	9.2	11.8
	2.0	7.5	7.7	8.0	10.0	8.6	8.7	10.7	7.4	8.0	10.0	9.2	9.5	9.3	10.5
	2.5	8.5	12.0	10.5	9.8	9.3			8.5	10.1	9.5	11.1			
	3.0	11.0	12.0	14.7	10.5				10.5	11.0	9.6				
省道 里程	潮 位 (m)	波高 11m							波高 12m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+580	-1.0						0.0	0.0					0.0	7.4	8.0
	-0.5					0.0	0.0	7.8			0.0	0.0	0.0	7.9	8.5
	0.0			0.0	0.0	0.0	7.8	8.5		0.0	0.0	0.0	7.9	8.5	9.0
	0.5		0.0	0.0	0.0	8.7	8.3	8.8		0.0	7.6	8.1	8.4	8.7	17.5
	1.0	0.0	0.0	7.3	8.0	9.0	10.5	10.0	0.0	0.0	8.0	8.6	9.5	12.0	
	1.5	0.0	7.5	8.2	10.0	10.0	9.8	9.5	0.0	7.6	17.0	15.2	10.0		
	2.0	8.0	8.1	9.0	9.2	10.0	12.0	10.0	0.0	8.5	10.5				
	2.5	9.6	10.5	11.5					8.5	9.5	9.8				
	3.0	9.6	12.0						8.8	21.5					

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

4.5.5 台11線61K+700站

人定勝天段 61K+700 站所在的道路高程約 7.6m，道路離海岸線距離約 22m，基於不同的邊界入射波高、波浪周期以及初始水位條件組合，共進行 303 個浪襲道路的情境模擬。結果有 112 個情境發生道路溢淹，其中 110 個情境溢淹滿 8m 路寬。圖 4.24 為波高 10m、週期 15 秒以及潮位 1m 的情境條件所發生的道路溢淹。所有情境的陸地溢淹距離如表 4-9a 和 4-9b。另外道路邊緣的最大水位高程如表 4-10a、4-10b。

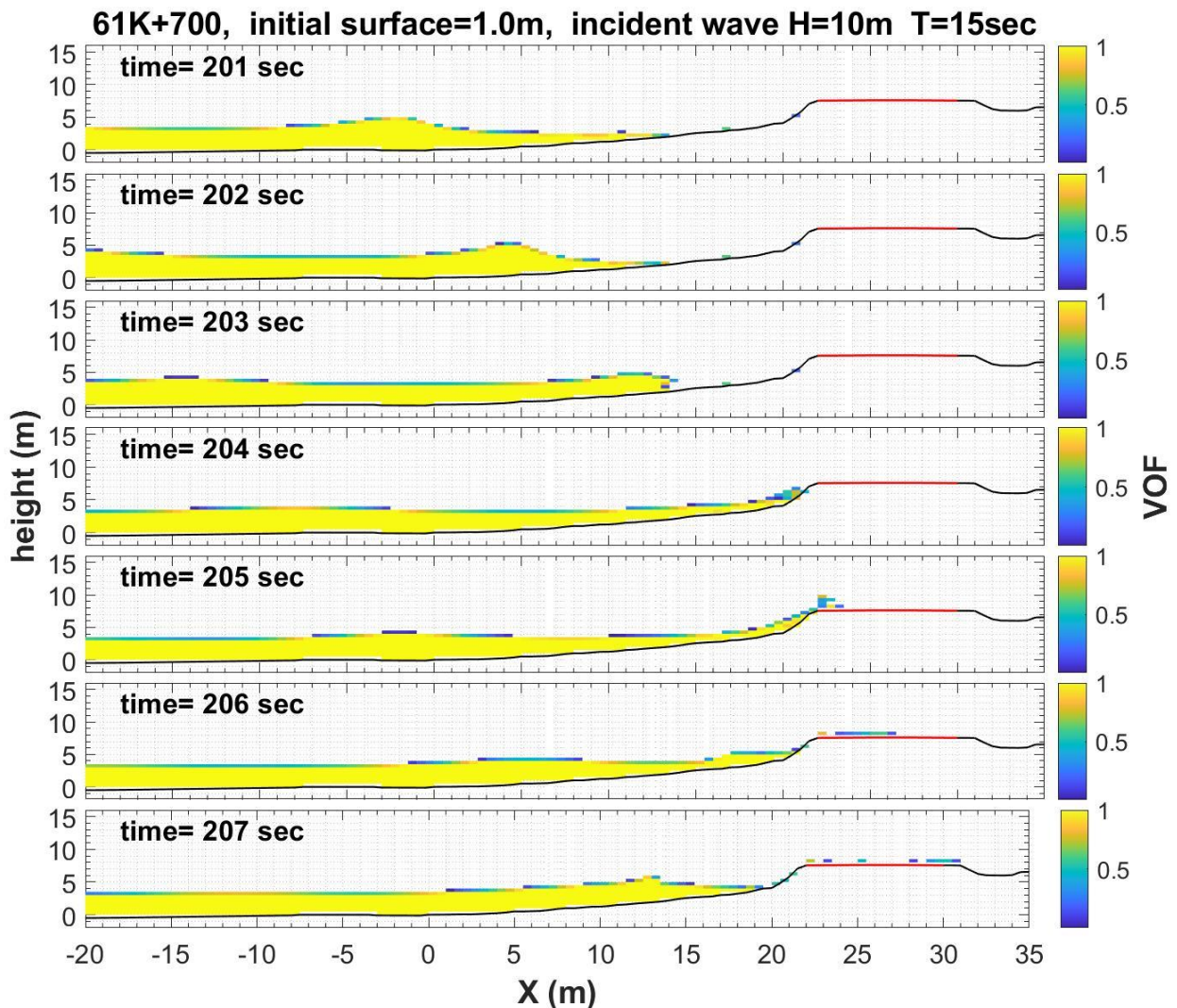


圖 4.24 61K+700 道路溢淹的情境

註：路面為 X=22 到 30 處(紅線)

表 4-9a 61K+700 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 5m						波高 6m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+700	0.5													19.0	19.0
	1.0		18.5	18.5	18.5	19.0	20.0	20.0		18.5	19.0	19.5	20.0	20.0	20.5
	1.5	18.5	19.5	19.5	20.0	20.0	20.0	20.5	19.0	19.5	20.0	20.5	20.5	21.5	20.5
	2.0	20.0	20.5	20.5	21.0	21.5	21.0	20.5	20.5	20.5	20.5	21.0	21.0	30 (8)	30 (8)
	2.5	21.5	21.5	21.0	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	20.5	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)
	3.0	21.5	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)		
省道 里程	潮位 (m)	波高 7m						波高 8m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+700	0.0							19.0						20.0	20.0
	0.5			18.5	18.5	19.0	19.5	19.5		18.5	18.5	19.0	20.0	20.0	20.5
	1.0	18.5	19.0	20.0	20.0	20.5	20.5	20.5	19.5	20.0	20.0	20.5	20.5	20.5	20.5
	1.5	19.5	20.0	20.5	20.5	20.5	20.5	21.5	20.0	20.0	20.5	20.5	20.5	21.0	24(2)
	2.0	21.5	21.0	20.5	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	21.0	20.5	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)
	2.5	21.0	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	21.5	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)
	3.0	30 (8)	30 (8)	30 (8)					30 (8)	30 (8)					

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-9b 61K+700 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 9m						波高 10m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+700	-1.0													18.5	19.0
	-0.5						20.0	20.0					20.0	20.0	21.5
	0.0					20.0	20.5	20.5			19.0	20.0	20.5	20.5	20.5
	0.5		18.5	19.5	20.0	20.5	20.5	20.5	18.5	19.5	20.0	20.5	20.5	20.5	21.5
	1.0	20.0	20.0	20.5	20.5	20.5	20.5	30 (8)	20.0	20.5	20.5	21.0	21.0	30 (8)	30 (8)
	1.5	20.5	20.5	20.5	21.0	21.0	30 (8)	30 (8)	20.5	20.5	21.5	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)
	2.0	20.5	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)		30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	
	2.5	21.5	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)			30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)		
	3.0	30 (8)	30 (8)												
省道 里程	潮位 (m)	波高 11m						波高 12m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+700	-1.0					18.5	20.0	21.0				19.0	20.0	20.0	20.5
	-0.5				20.0	20.5	21.0	21.0			20.0	20.5	20.5	20.5	21.5
	0.0			20.0	20.5	20.5	20.5	21.5	18.5	19.5	20.5	21.5	20.5	21.5	30 (8)
	0.5	19.0	20.5	20.0	20.5	21.0	30 (8)	30 (8)	19.0	20.5	20.5	21.5	21.5	30 (8)	30 (8)
	1.0	20.5	20.5	20.5	20.5	21.5	30 (8)	30 (8)	20.5	20.5	20.5	22.0	30 (8)	30 (8)	
	1.5	20.5	20.5	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)		20.5	21.0	30 (8)	30 (8)	30 (8)		
	2.0	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)			30 (8)	30 (8)	30 (8)	30 (8)			
	2.5	30 (8)	30 (8)						30 (8)	30 (8)	30 (8)				

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-10a 61K+700 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 5m							波高 6m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+700	0.5													0.0	0.0
	1.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2
	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	6.0	6.5	12.5	7.5
	2.0	0.0	6.5	8.5	8.5	9.5	8.1	10.0	6.5	6.5	7.5	8.5	8.0	28.0	14.5
	2.5	10.2	8.5	8.5	11.0	10.5	13.5	9.6	7.1	15.0	9.0	14.5	10.0	11.5	10.5
	3.0	12.5	12.0	19.7	11.0	13.5	14.0	14.0	9.1	11.0	14.5	11.1	11.5		
省道 里程	潮位 (m)	波高 7m							波高 8m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+700	0.0							0.0						0.0	0.0
	0.5			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0
	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	6.5	7.0	0.0	0.0	0.0	6.5	6.3	7.5	9.5
	1.5	0.0	0.0	7.1	7.0	8.0	6.7	8.5	0.0	0.0	7.5	7.5	7.2	8.0	10.0
	2.0	12.2	8.6	11.5	10.2	9.1	15.0	10.0	8.0	12.5	17.7	10.5	12.0	10.0	9.5
	2.5	8.0	9.5	10.5	10.0	10.0	12.0	14.0	9.5	9.0	10.5	9.0	12.5	12.5	12.2
	3.0	10.5	10.2	10.5					11.5	18.2					

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

表 4-10b 61K+700 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 9m							波高 10m						
		週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	
		10 秒	11 秒	12 秒	13 秒	14 秒	15 秒	16 秒	10 秒	11 秒	12 秒	13 秒	14 秒	15 秒	16 秒
61K+700	-1.0													0.0	0.0
	-0.5						0.0	0.0					0.0	0.0	9.5
	0.0					0.0	6.0	6.3			0.0	0.0	6.2	6.5	7.0
	0.5		0.0	0.0	0.0	6.0	6.6	6.8	0.0	0.0	0.0	6.0	6.7	9.0	8.4
	1.0	0.0	0.0	6.6	6.0	7.1	7.3	8.7	0.0	6.0	7.0	7.9	8.0	10.0	10.0
	1.5	6.5	6.6	9.0	10.5	11.0	13.0	15.0	6.8	7.0	8.5	11.0	9.2	16.0	13.5
	2.0	7.5	13.0	12.2	10.2	11.5	10.7		10.5	10.5	15.1	9.5	9.2	12.0	
	2.5	8.2	9.3	11.5	11.5	11.5			10.0	10.7	12.0	13.5	35.8		
	3.0	10.5	10.5												
省道 里程	潮 位 (m)	波高 11m							波高 12m						
		週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	週 期	
		10 秒	11 秒	12 秒	13 秒	14 秒	15 秒	16 秒	10 秒	11 秒	12 秒	13 秒	14 秒	15 秒	16 秒
61K+700	-1.0					0.0	0.0	7.8				0.0	0.0	0.0	7.4
	-0.5				0.0	6.0	8.0	8.0			0.0	6.0	6.7	8.5	10.5
	0.0			0.0	6.5	7.5	7.4	8.2	0.0	0.0	6.0	11.7	7.4	8.5	10.0
	0.5	0.0	6.0	0.0	6.0	8.0	8.5	9.0	0.0	6.0	7.0	14.5	8.2	9.5	10.5
	1.0	6.0	6.1	7.0	8.5	8.5	14.0	9.5	7.0	6.8	7.3	9.0	9.7	10.6	
	1.5	6.7	7.3	8.5	9.5	12.5	11.0		8.5	8.5	10.0	9.5	17.5		
	2.0	13.5	8.6	14.5	10.5	10.5			10.5	8.6	8.9	12.0			
	2.5	9.7	18.5						9.6	14.5	22.0				
	3.0														

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

4.5.6 台11線61K+830站

人定勝天段 61K+830 站所在的道路高程約 7.5m，道路離海岸線距離約 58m，基於不同的邊界入射波高、波浪周期以及初始水位條件組合，共進行 248 個浪襲道路的情境模擬。結果有 108 個情境發生道路溢淹，其中 107 個情境溢淹滿 8m 路寬。圖 4.25 為波高 10m、週期 15 秒以及潮位 1m 的情境條件所發生的道路溢淹。所有情境的陸地溢淹距離如表 4-11a 和 4.11b。另外道路邊緣的最大水位高程如表 4-12a 和 4.12b。

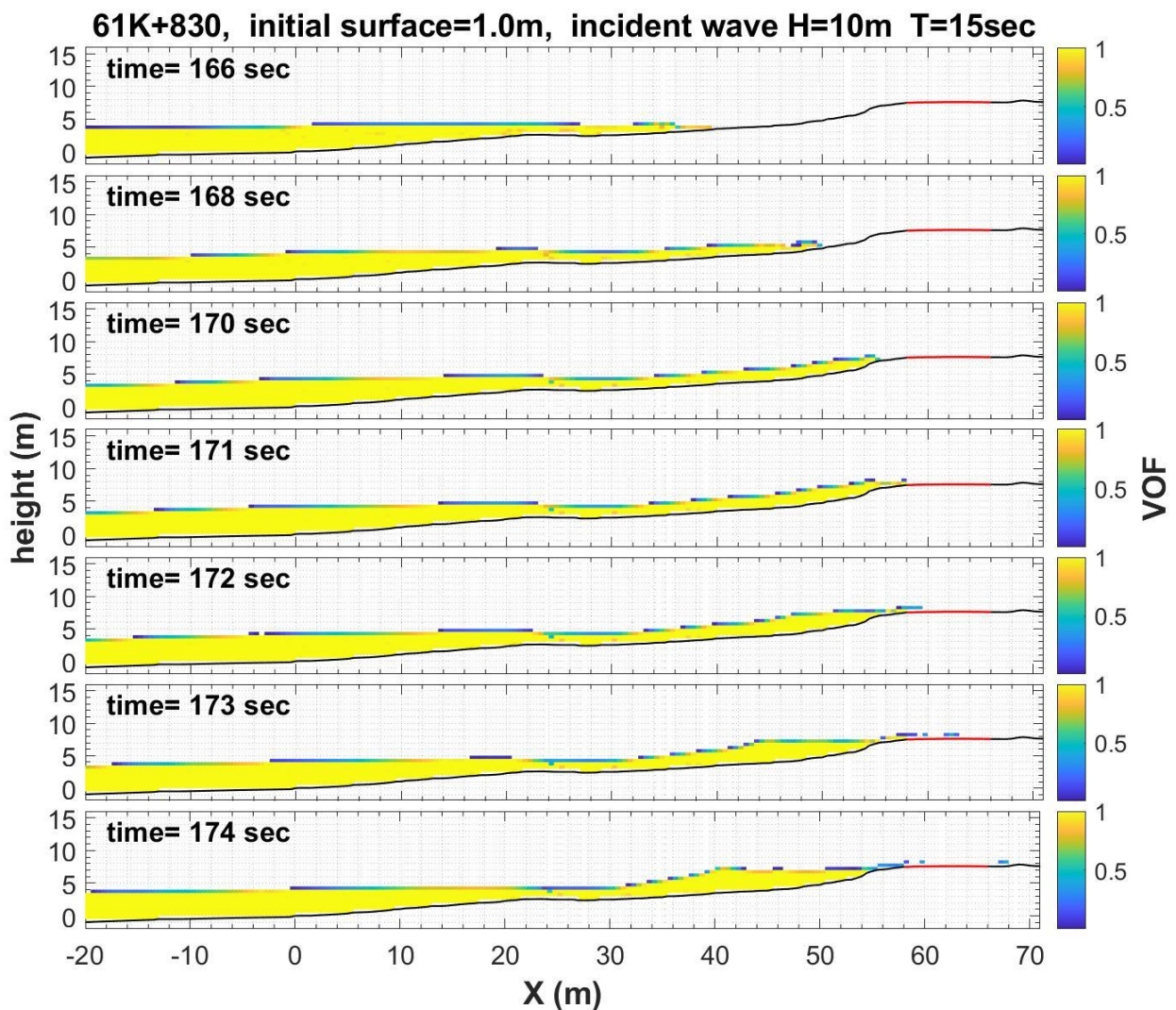


圖 4.25 61K+830 道路溢淹的情境

註：路面為 X=23.5 到 31.5 處(紅線)

表 4-11a 61K+830 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 5m						波高 6m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+830	2.0													52.5	53.5
	2.5	48.0	48.0	49.5	50.0	52.0	52.0	53.5	48.0	49.5	51.5	53.0	53.5	53.5	54.5
	3.0	49.5	53.5	52.0	53.0	53.5	53.5	54.0	52.0	53.0	53.5	53.5	54.0	57.5	66 (8)
省道 里程	潮位 (m)	波高 7m						波高 8m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+830	0.5														53.5
	1.0							52.0						53.5	54.5
	1.5						53.5	54.0				53.5	53.5	54.5	66 (8)
	2.0					53.5	54.5	57.5			52.5	53.5	55.0	66 (8)	66 (8)
	2.5	50.0	50.5	53.5	53.5	54.0	57.5	66 (8)	52.0	53.5	54.0	57.0	66 (8)	66 (8)	66 (8)
	3.0	53.0	53.5	53.5	55.0	57.5	66 (8)	66 (8)	53.5	53.5	57.0	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-11b 61K+830 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 9m						波高 10m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+830	-1.0													48.0	45.0
	-0.5							50.0						50.0	53.5
	0.0						50.0	52.0					50.0	53.0	54.5
	0.5					50.5	53.5	53.5				53.5	53.5	57.5	66 (8)
	1.0				52.0	53.5	57.5	66 (8)			52.0	53.5	57.5	66 (8)	66 (8)
	1.5			52.0	54.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)		52.0	53.5	57.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)
	2.0		52.5	53.5	57.0	66 (8)	66 (8)	66 (8)		53.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)
	2.5	53.5	53.5	57.0	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	53.5	55.0	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)
	3.0	53.5	57.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	55.0	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)
省道 里程	潮 位 (m)	波高 11m						波高 12m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
61K+830	-1.0						48.5	53.5					48.5	53.5	57.5
	-0.5						53.5	57.5				51.0	53.5	57.5	66 (8)
	0.0				50.0	53.5	55.0	57.5			50.0	53.5	55.0	57.5	66 (8)
	0.5			52.0	53.5	55.0	66 (8)	66 (8)		50.5	53.5	57.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)
	1.0		51.0	53.5	57.0	66 (8)	66 (8)	66 (8)	50.0	53.5	57.5	58.5 (0.5)	66 (8)	66 (8)	66 (8)
	1.5	52.0	53.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	53.5	57.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)
	2.0	53.5	57.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	54.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)
	2.5	54.0	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	55.5	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)
	3.0	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)	66 (8)					

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為路寬 8m 的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-12a 61K+830 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 5m							波高 6m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+830	2.0													0.0	0.0
	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	8.2
省道 里程	潮 位 (m)	波高 7m							波高 8m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+830	0.5														0.0
	1.0							0.0						0.0	0.0
	1.5						0.0	0.0				0.0	0.0	0.0	8.3
	2.0					0.0	0.0	8.1			0.0	0.0	0.0	8.3	8.4
	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	8.5	0.0	0.0	0.0	8.0	8.2	8.4	8.5
	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	8.4	8.5	0.0	0.0	8.0	8.3	8.5	8.5	8.7

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括溯上水位以及飛濺的浪花。

表 4-12b 61K+830 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 9m							波高 10m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+830	-1.0													0.0	0.0
	-0.5							0.0						0.0	0.0
	0.0						0.0	0.0					0.0	0.0	0.0
	0.5					0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	8.2	8.3
	1.0				0.0	0.0	8.1	8.3			0.0	0.0	8.2	8.4	8.5
	1.5			0.0	0.0	8.2	8.4	8.5		0.0	0.0	8.2	8.5	8.7	8.7
	2.0		0.0	0.0	8.1	8.6	8.5	8.8		0.0	8.2	8.4	8.7	8.9	9.2
	2.5	0.0	0.0	8.0	8.5	8.4	8.7	8.9	0.0	0.0	8.2	8.7	9.6	9.0	9.3
	3.0	0.0	8.1	8.4	8.4	8.7	8.9	8.9	0.0	8.3	8.7	8.7	9.1	9.1	10.0
省道 里程	潮 位 (m)	波高 11m							波高 12m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
61K+830	-1.0						0.0	0.0					0.0	0.0	8.2
	-0.5						0.0	8.1				0.0	0.0	8.2	8.4
	0.0				0.0	0.0	0.0	8.3			0.0	0.0	0.0	8.7	8.6
	0.5			0.0	0.0	0.0	8.4	8.6		0.0	0.0	8.1	8.5	8.8	8.8
	1.0		0.0	0.0	8.0	8.4	8.9	8.7	0.0	0.0	8.1	8.5	8.6	8.9	9.1
	1.5	0.0	0.0	8.2	8.7	8.6	9.2	9.1	0.0	8.2	8.4	8.8	10.0	9.5	9.4
	2.0	0.0	8.2	8.4	8.6	9.1	9.3	9.2	0.0	8.3	8.5	9.0	8.9	9.5	9.7
	2.5	0.0	8.3	9.1	8.8	9.5	9.4	10.0	7.5	8.5	8.7	9.1	9.8	10.1	10.6
	3.0	8.2	8.4	8.8	10.0	9.2	10.0	10.0	8.7	8.6					

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

4.5.7 台11線62K+220站

人定勝天段 62K+220 站所在的道路高程約 7.3m，道路離海岸線距離約 29m，基於不同的邊界入射波高、波浪周期以及初始水位條件組合，所以共進行 339 個浪襲情境模擬。結果有 136 個情境發生停車場或道路區域的溢淹，其中 120 個情境溢淹滿整個停車場和道路共 32m 寬的區域。圖 4.20 為波高 10m、週期 15 秒以及潮位 1m 的情境條件所發生的溢淹，紅線包含臨海的停車場寬 24m 以及陸側的路面寬度 8m。所有情境的陸地溢淹距離如表 4-19a 和 4.19b，道路溢淹距離如表 4-20a 和 4.20b，而道路邊緣的最大水位高程如表 4-21a 和 4.21b。

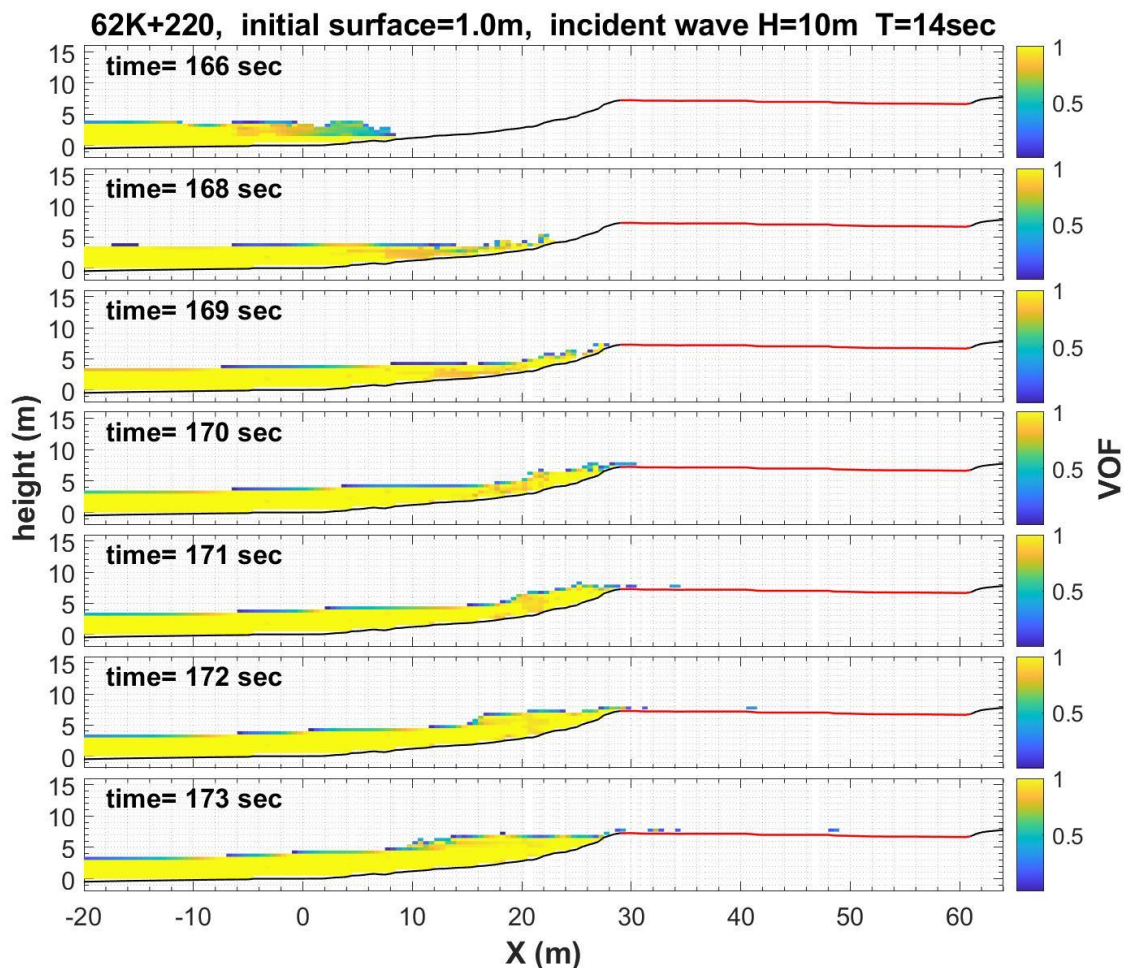


圖 4.26 62K+220 道路溢淹的情境

註：X=29 到 53m 為停車場，X=53 到 61m 為路面(紅線)

表 4-13a 62K+220 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 5m						波高 6m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
62K+220	0.0														24.0
	0.5													24.5	25.0
	1.0							24.5					24.5	25.5	26.5
	1.5	21.5	22.0	23.5	23.5	24.5	24.5	25.5	22.0	23.5	24.5	25.0	26.0	26.5	26.5
	2.0	24.5	24.0	25.0	24.5	25.0	25.5	26.5	25.5	25.0	24.5	26.0	26.5	26.5	27.5
	2.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	27.0	26.5	26.5	26.5	26.5	28.0	27.0	49 (20)
	3.0	61 (32)	61 (32)	60.5 (31.5)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)
省道 里程	潮 位 (m)	波高 7m						波高 8m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
62K+220	-1.0													24.0	25.0
	-0.5						22.5	24.5					24.0	24.5	26.5
	0					23.5	24.5	25.0				22.5	24.5	25.5	26.5
	0.5				24.5	25.0	26.5	26.5			24.5	26.0	26.5	26.5	28.0
	1.0			24.5	25.5	26.5	26.5	26.5	23.5	24.5	25.5	26.5	26.5	27.0	49 (20)
	1.5	23.5	24.5	25.5	26.5	26.5	27.5	47.5 (18.5)	24.5	25.5	26.5	26.5	27.5	27.5	61 (32)
	2.0	25.5	26.0	26.5	26.5	27.5	53.5 (24.5)	60.5 (31.5)	26.5	26.5	26.5	47.5 (18.5)	61 (32)	61 (32)	61 (32)
	2.5	27.0	27.0	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	26.5	27.5	61 (32)	60.5 (31.5)	61 (32)	61 (32)	
	3.0	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)		61 (32)	61 (32)	61 (32)				

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為臨海停車場 24m 區域加上路寬 8m 的溢淹距離，起點停車場靠海側的邊緣。

表 4-13b 62K+220 情境模擬的陸地溢淹距離(單位 m)

省道 里程	潮位 (m)	波高 9m						波高 10m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
62K+220	-1.0					21.5	25.0	26.0				24.0	25.5	26.5	27.0
	-0.5				24.0	25.0	26.5	26.5			24.0	25.0	26.5	26.5	28.0
	0.0			24.0	25.0	25.5	26.5	27.0		24.0	25.0	26.5	26.5	28.0	53.5 (24.5)
	0.5		24.5	25.5	26.5	27.0	28.0	61 (32)	24.0	26.0	26.5	28.0	27.5	61 (32)	61 (32)
	1.0	24.5	25.5	26.5	26.5	28.0	49.5 (20.5)	61 (32)	25.0	26.5	26.5	48 (19)	61 (32)	61 (32)	61 (32)
	1.5	25.5	27.0	26.5	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	26.5	27.0	28.0	49.5 (20.5)	61 (32)	61 (32)	61 (32)
	2.0	26.5	26.5	50 (21)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	26.5	49.5 (20.5)	61 (32)	61 (32)	6	61 (32)	61 (32)
	2.5	61 (32)	61 (32)	60.5 (31.5)					61 (32)	61 (32)	61 (32)				
	3.0	61 (32)	61 (32)						61 (32)						
省道 里程	潮位 (m)	波高 11m						波高 12m							
		週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
62K+220	-1.0			24.0	25.0	26.5	27.0	52.5 (23.5)		22.5	24.5	26.5	27.0	28.5	61 (32)
	-0.5		24.0	25.0	26.5	26.5	27.5	61 (32)		25.0	26.5	27.0	28.0	61 (32)	61 (32)
	0.0	22.5	24.5	26.0	26.5	28.0	51 (22)	61 (32)	24.0	26.0	26.5	27.5	61 (32)	61 (32)	61 (32)
	0.5	25.0	26.5	26.5	52.5 (23.5)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	26.0	26.5	28.0	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)
	1.0	26.0	26.5	27.0	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	26.5	27.0	49.5 (20.5)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)
	1.5	26.5	27.0	49 (20)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	27.0	28.0	60.5 (31.5)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)
	2.0	28.0	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	28.0	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)	61 (32)
	2.5	61 (32)	61 (32)	61 (32)					61 (32)	61 (32)					
	3.0	61 (32)							61 (32)						

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。括弧數值為臨海停車場 24m 區域加上路寬 8m 的溢淹距離，起點停車場靠海側的邊緣。

表 4-14a 62K+220 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 5m							波高 6m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
62K+220	0.0														0.0
	0.5													0.0	0.0
	1.0							0.0					0.0	0.0	6.3
	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	6.8
	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	6.9	7.5
	2.5	6.6	6.9	6.6	6.8	7.0	6.6	7.2	7.0	6.8	7.0	7.0	7.7	7.1	7.7
	3.0	8.5	9.2	8.2	8.7	10.5	10.0	7.9	8.5	8.5	8.5	9.0	9.0	8.1	8.0
省道 里程	潮 位 (m)	波高 7m							波高 8m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
62K+220	-1.0													0.0	0.0
	-0.5						0.0	0.0					0.0	0.0	6.5
	0					0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	0.0	6.5
	0.5				0.0	0.0	6.4	6.8			0.0	0.0	6.6	6.9	7.6
	1.0			0.0	0.0	6.5	6.7	7.0	0.0	0.0	0.0	6.6	6.8	7.2	7.8
	1.5	0.0	0.0	0.0	6.5	6.9	7.5	7.7	0.0	0.0	6.6	6.8	7.5	7.7	8.0
	2.0	0.0	0.0	6.5	6.9	7.5	7.9	8.3	6.6	6.9	6.9	7.8	9.0	8.6	9.5
	2.5	7.2	7.5	9.0	7.9	8.0	8.0	8.3	7.0	8.2	9.0	9.5	8.2	8.6	
	3.0	9.0	9.5	11.0	8.0	8.0	10.0		9.5	9.5	9.5				

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括潮上水位以及飛濺的浪花。

表 4-14b 62K+220 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位 m)

省道 里程	潮 位 (m)	波高 9m							波高 10m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
62K+220	-1.0					0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	6.6	7.1
	-0.5				0.0	0.0	6.6	6.7			0.0	0.0	6.6	6.8	7.8
	0.0			0.0	0.0	0.0	6.8	7.1		0.0	0.0	6.5	6.7	7.6	7.9
	0.5		0.0	0.0	6.7	7.2	7.7	7.9	0.0	0.0	6.7	7.6	7.5	7.9	8.2
	1.0	0.0	0.0	6.6	7.0	7.6	8.0	8.1	0.0	6.6	7.0	7.8	8.0	8.3	8.4
	1.5	0.0	7.3	6.8	9.0	9.0	8.5	8.3	6.5	7.7	7.7	7.8	8.1	8.4	8.6
	2.0	6.9	7.0	7.8	9.0	10.5	9.5	10.5	6.9	7.8	9.0	10.5	8.7	8.9	9.6
	2.5	8.1	10.3	8.5					8.0	8.5	8.7				
	3.0	10.0	10.0						9.5						
省道 里程	潮 位 (m)	波高 11m							波高 12m						
		週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒	週 期 10 秒	週 期 11 秒	週 期 12 秒	週 期 13 秒	週 期 14 秒	週 期 15 秒	週 期 16 秒
62K+220	-1.0			0.0	0.0	6.6	7.3	8.0		0.0	0.0	6.6	7.1	8.0	8.4
	-0.5		0.0	0.0	6.6	6.9	7.5	8.0		0.0	6.5	7.1	7.7	8.2	8.4
	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	7.6	7.8	8.4	0.0	0.0	6.7	7.5	8.1	8.4	8.7
	0.5	0.0	6.6	7.0	7.7	8.1	8.2	8.6	0.0	7.0	7.7	8.0	8.5	10.0	9.3
	1.0	0.0	6.9	7.3	7.9	9.0	8.6	9.0	6.8	7.3	7.9	8.2	9.0	8.9	9.2
	1.5	6.7	7.2	7.9	8.2	8.6	8.8	9.5	7.3	7.8	8.2	8.5	9.1	9.9	9.5
	2.0	8.0	8.1	9.0	10.6	8.8	10.5	10.0	8.7	9.5	10.1	9.5	10.5	15.0	10.2
	2.5	8.0	8.5	9.0					8.1	9.0					
	3.0	9.5							10.5						

註 1.無數值的部分表示無模擬該情境。

註 2.道路臨海邊緣的水位包括溯上水位以及飛濺的浪花。

4.5.8 討論

根據 4.5.1 到 4.5.7 節各站的陸地溢淹距離表，顯示在絕大部分的情境中，當入射波高越高，入射週期越大且初始水位值越高則溢淹距離越遠。另外為瞭解道路是否出現雙向道路溢淹的情形，亦在上述幾節的表格中列出道路的溢淹距離(人定勝天段的路寬 8m，除了 62K+220 定義為停車場寬 24m 加路寬 8m，共 32m)，結果顯示絕大部分發生道路溢淹時，溢淹範圍會達到整個路面。此情形在 62K+220 亦相同，當停車場加道路的區域發生溢淹時，大多會淹滿整個區域。主要是因為海浪溯上(或飛濺)的水體持續往道路內側流動，加上路寬僅 8m 所致。另外根據上述幾節中各站接近道路邊緣的水位最大高程表，道路邊緣最大溯上(或飛濺)水位高程的趨勢與入射波高、週期和潮位等三者情境條件之間沒有一定的相關性，可能與波浪在道路邊坡造成的向上衝擊型態有關。

為了解人定勝天段 7 個站發生道路溢淹條件之間的差異，在此根據各站的所有道路溢淹的情境條件，以固定潮位的方式，每站列出每個入射周期會發生溢淹的入射波高下限值。在 9 種潮位情況下，其下限條件如圖 4.27 到 4.35。當潮位為-1 到 0m 時，波高至少需要 10m 以上，同時週期需 14 秒以上的情況才會出現溢淹。而隨著潮位的增加，出現溢淹的週期最小值下降，各週期發生溢淹的波高下限亦下降。

大致而言，61K+380 站在各種潮位條件下皆需要較大的周期和波高才能出現溢淹，原因是該情境模擬的地形在外海有一水深接近 10m 的突起地形(圖 4.6)，導致入射波浪的部分破碎，使傳遞到岸邊的能量遭到削弱。而 62K+220 站因其路面高程較低(7.3m)且離岸距離較近(27m)，在各種潮位情況下，發生溢淹所需的條件值皆偏低。另外當潮位在 1m 以下時，61K+300 站僅次於 62K+220 站，也屬於容易溢淹的位置。當潮位在 2m 以上時，61K+700 站發生溢淹所需的週期和波高條件相對於其他站較低，可能與其路面高程 7.6m 以及離岸距離僅 21m 有關。

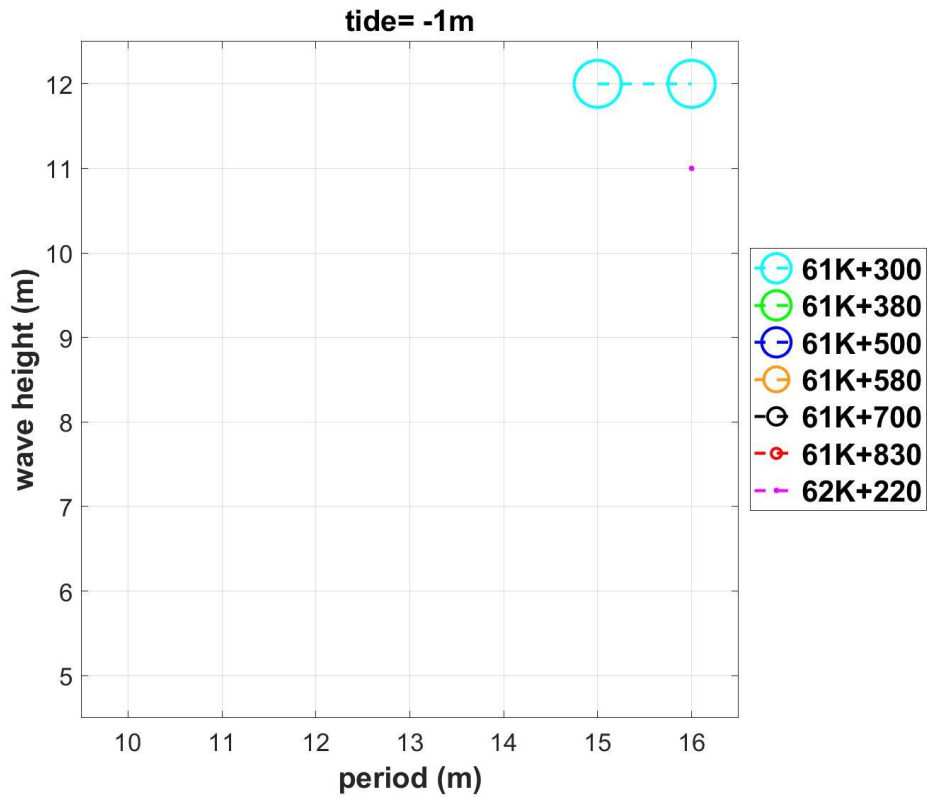


圖 4.27 當潮位-1m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限

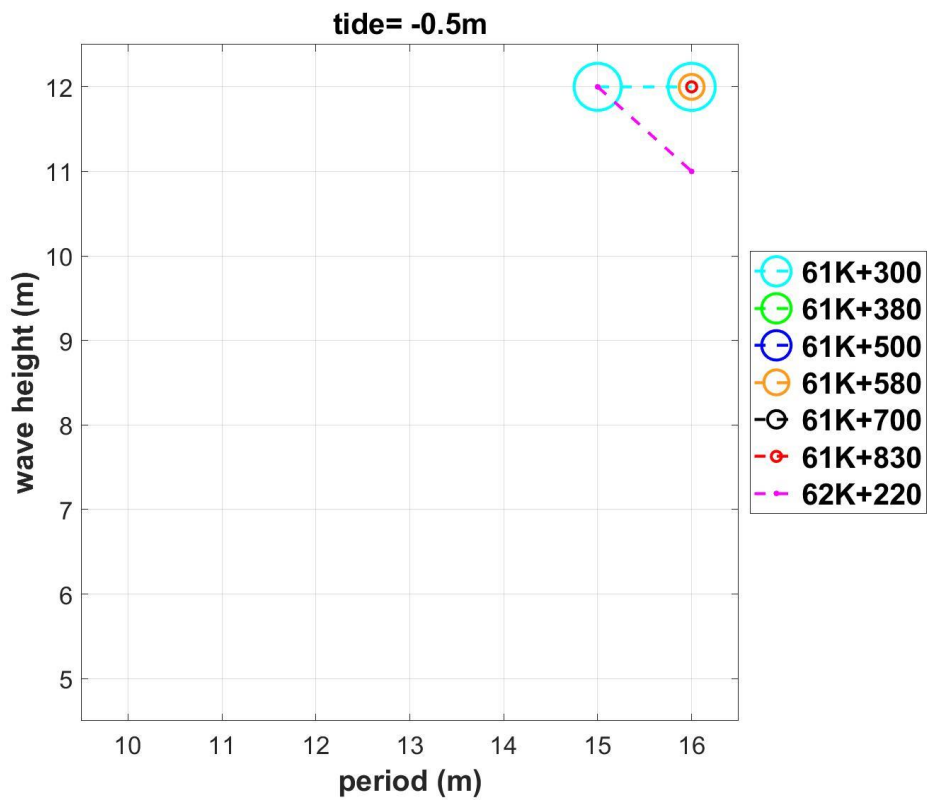


圖 4.28 當潮位-0.5m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限

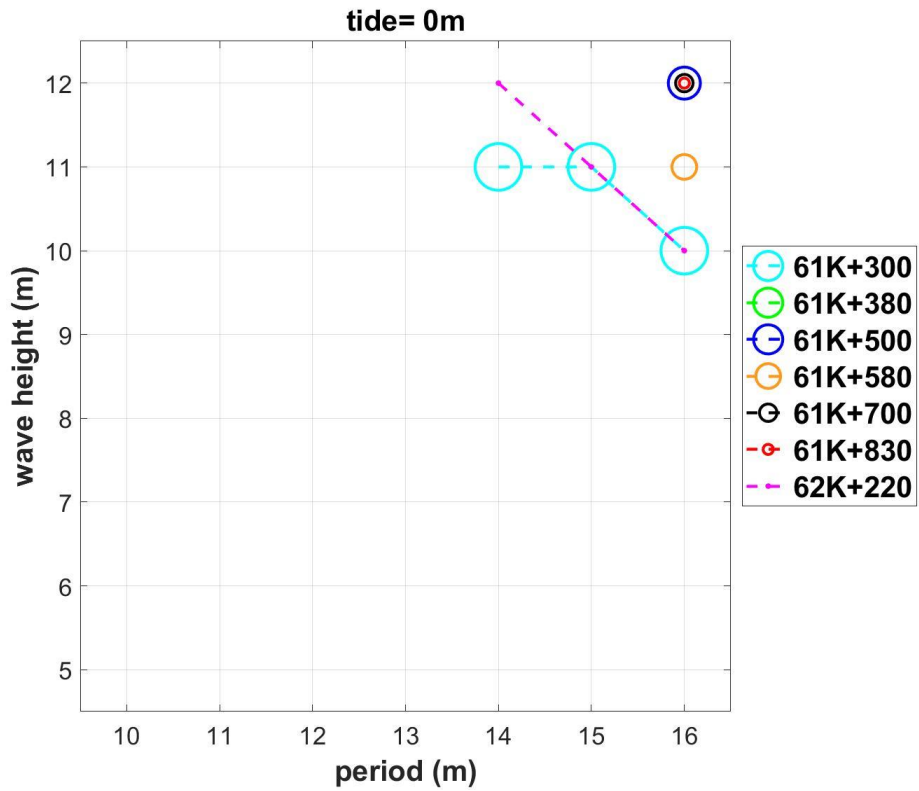


圖 4.29 當潮位 0m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限

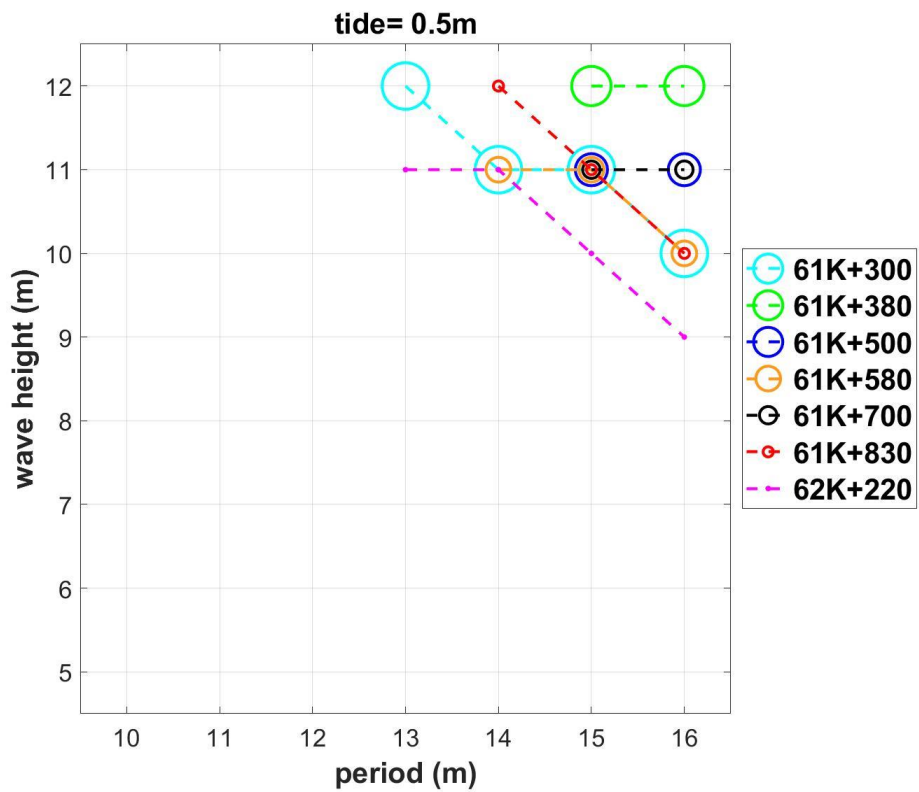


圖 4.30 當潮位 0.5m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限

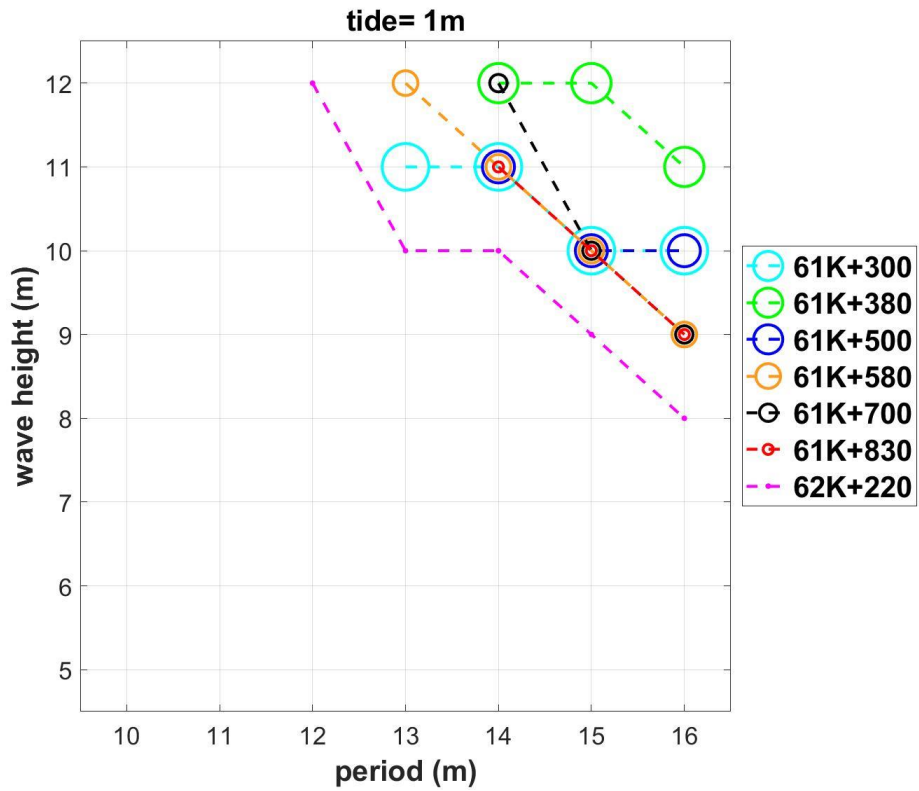


圖 4.31 當潮位 1m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限

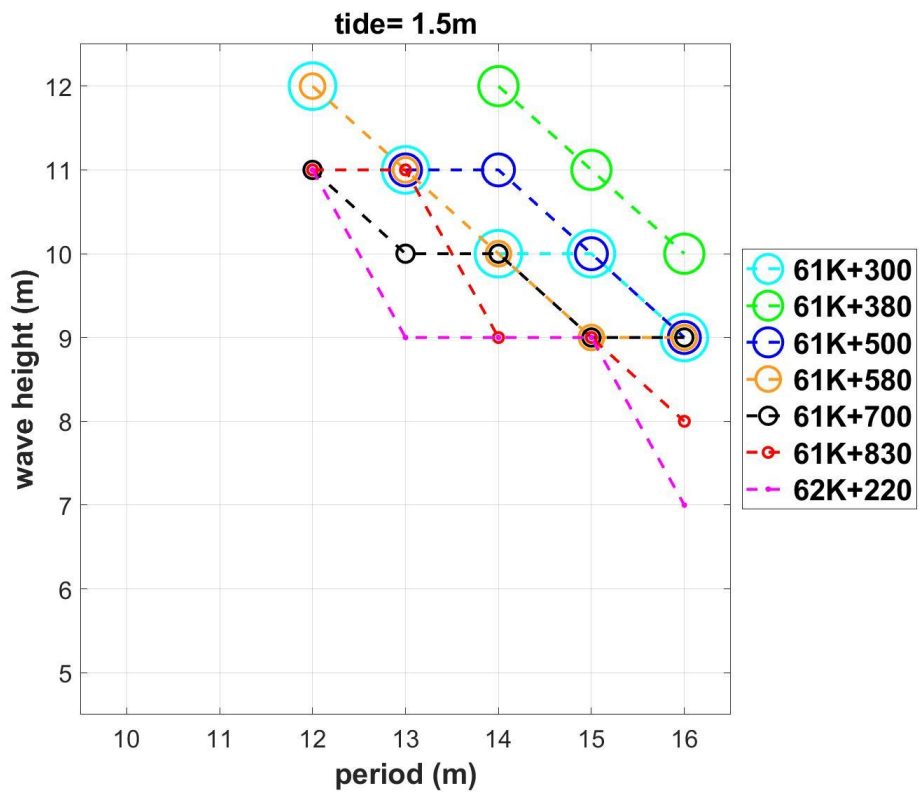


圖 4.32 當潮位 1.5m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限

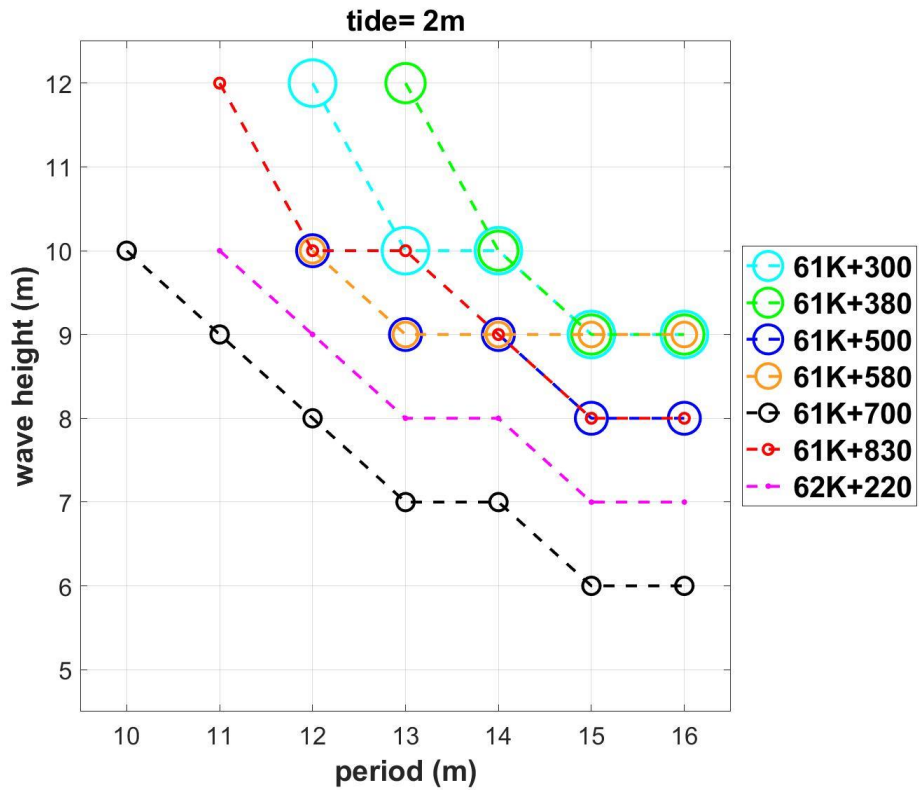


圖 4.33 當潮位 2m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限

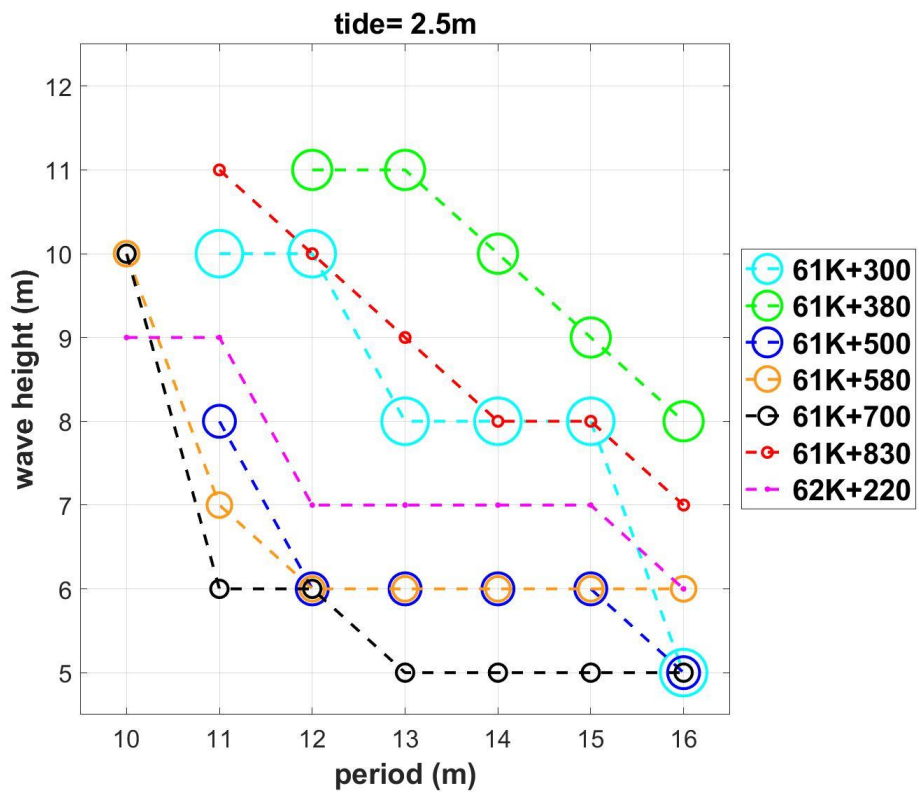


圖 4.34 當潮位 2.5m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限

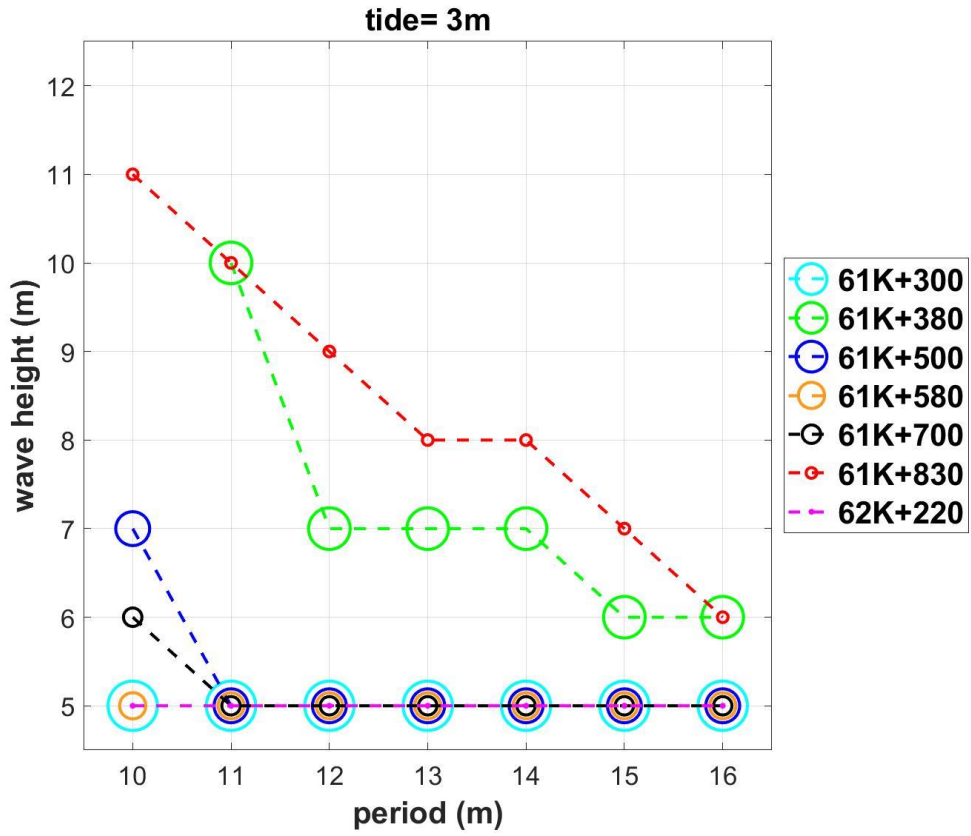


圖 4.35 當潮位 3m 時，各週期對應發生溢淹的波高下限

4.6 花蓮海岸公路浪襲預警系統

4.6.1 浪襲警戒燈號定義

根據人定勝天段 7 個里程位置的情境模擬結果，本文參考交通部運輸研究所合作研究計畫(陳等，2017)在台九線南興和多良段的方式制定警戒燈號。浪襲海岸公路警戒等級的燈號顏色所表示的意義，除了提供相關防災單位作為警戒發布的參考，也便於防災人員的使用與民眾的宣導認知。燈號顏色的定義如下：

灰色：缺少示性波高、尖峰週期或潮位等預報值而無法判斷。

綠色：接近道路邊緣的水位(或浪花)低於平台高程-1m。

黃色：接近道路邊緣的水位(或浪花)高於平台高程-1m，但路面尚未出現溢淹。

橙色：部分路面出現溢淹。

紅色：整個路面出現溢淹。

以圖 4.36 為例，其潮位條件皆為 1m，入射波週期皆為 16 秒，由上至下的入射波波高各為 7m、8m、9m 和 10m，按上述的燈號定義分別對應了警戒燈號綠、黃、橙和紅，圖中紅色虛線右側 $X=23.5$ 到 31.5m 為道路區域。根據上述定義，人定勝天 7 個站所有情境所對應的燈號列於圖 4.37 到圖 4.43。

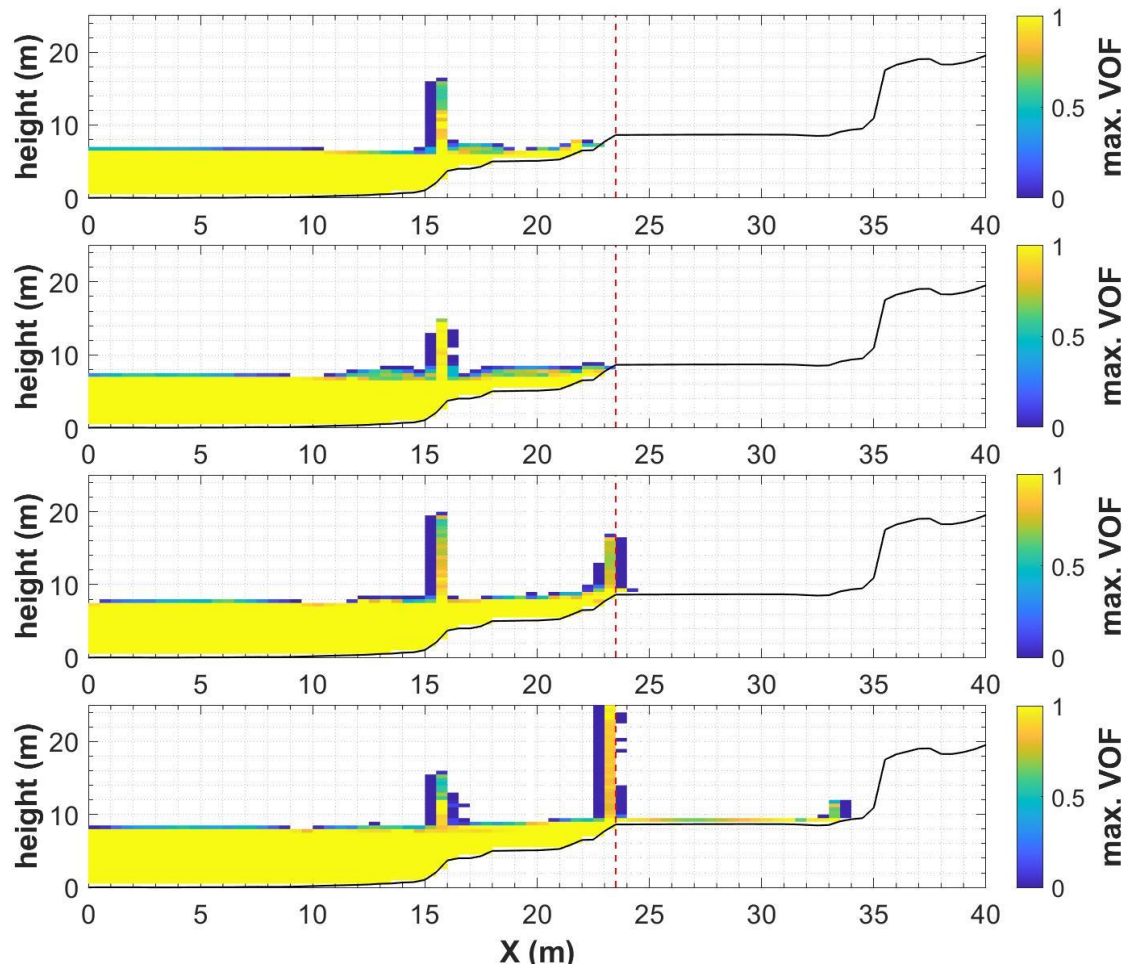


圖 4.36 61K+300 站 VOF 空間分布最大值

註：上至下對應綠、黃、橙和紅四種燈號(紅色虛線往右 8m 範圍為道路區域)

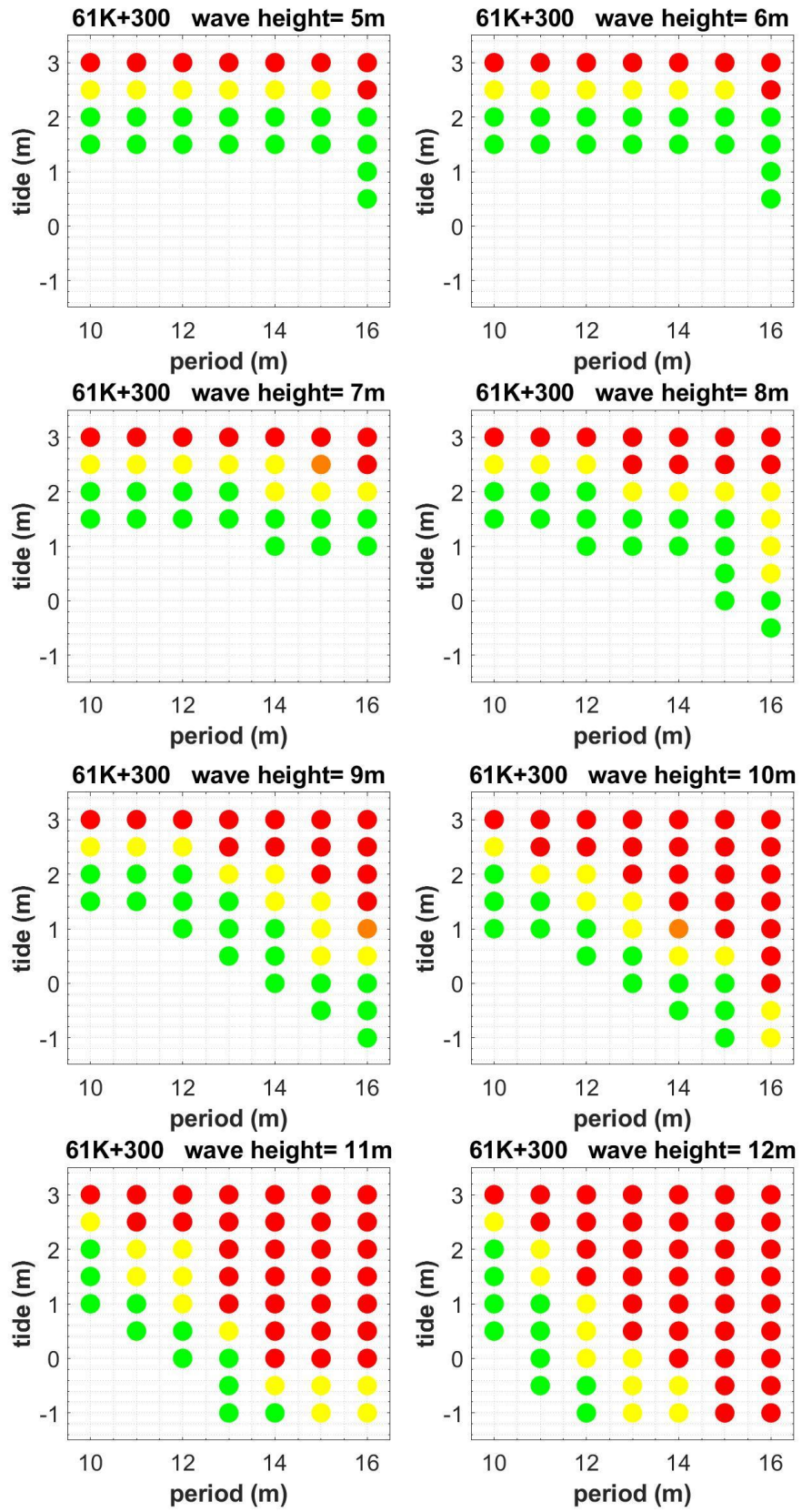


圖 4.37 61K+300 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

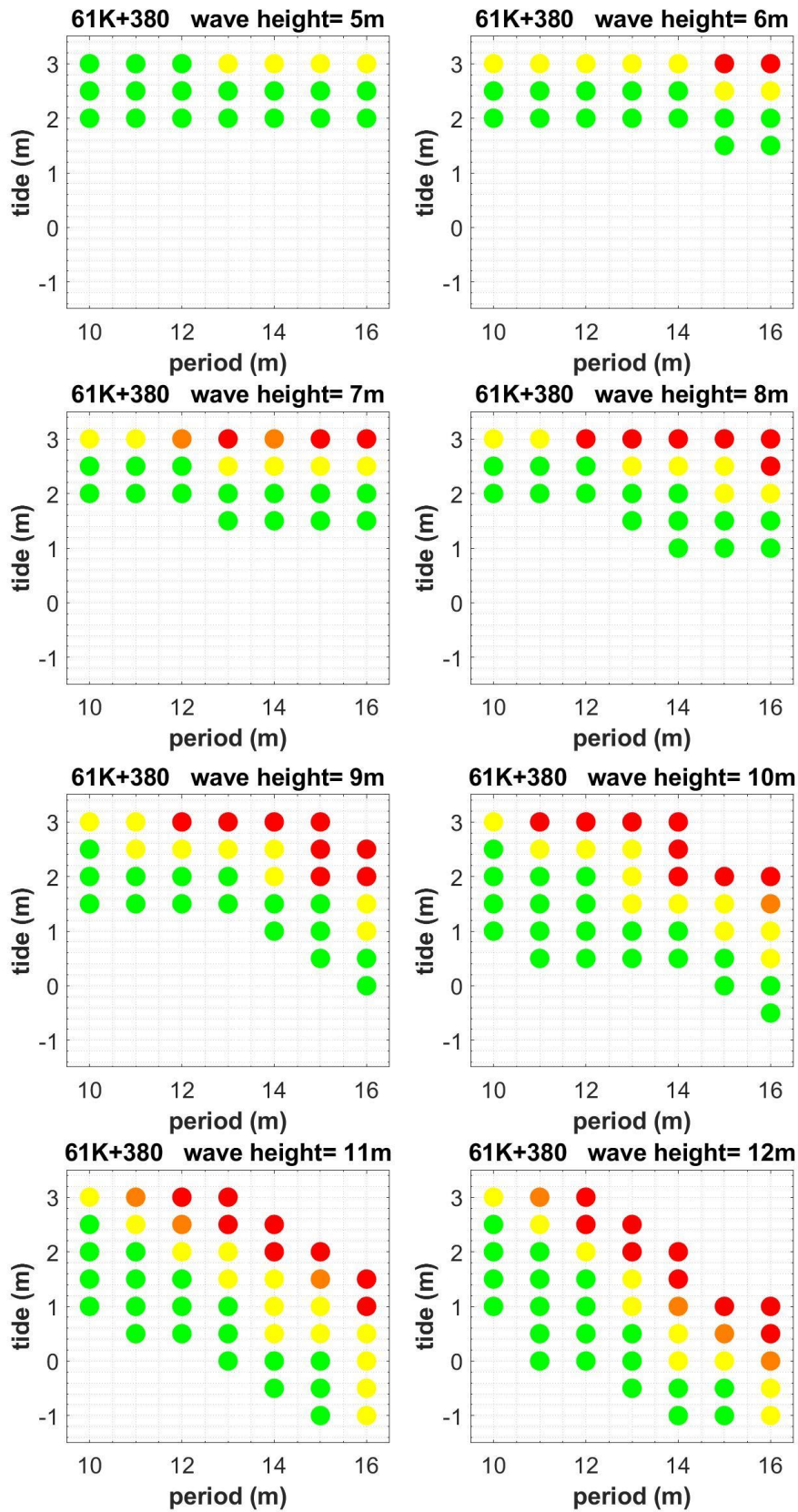


圖 4.38 61K+380 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

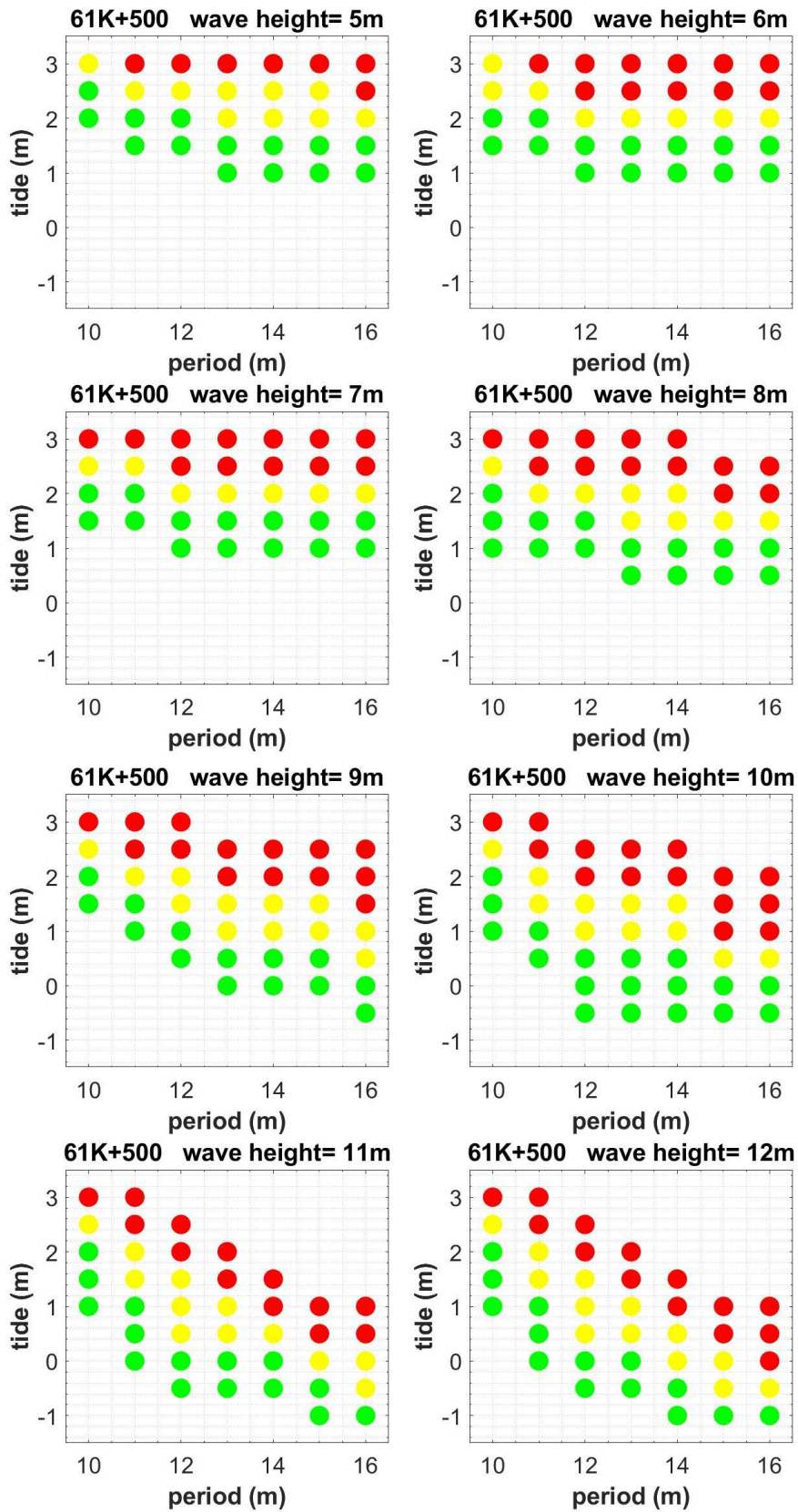


圖 4.39 61K+500 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

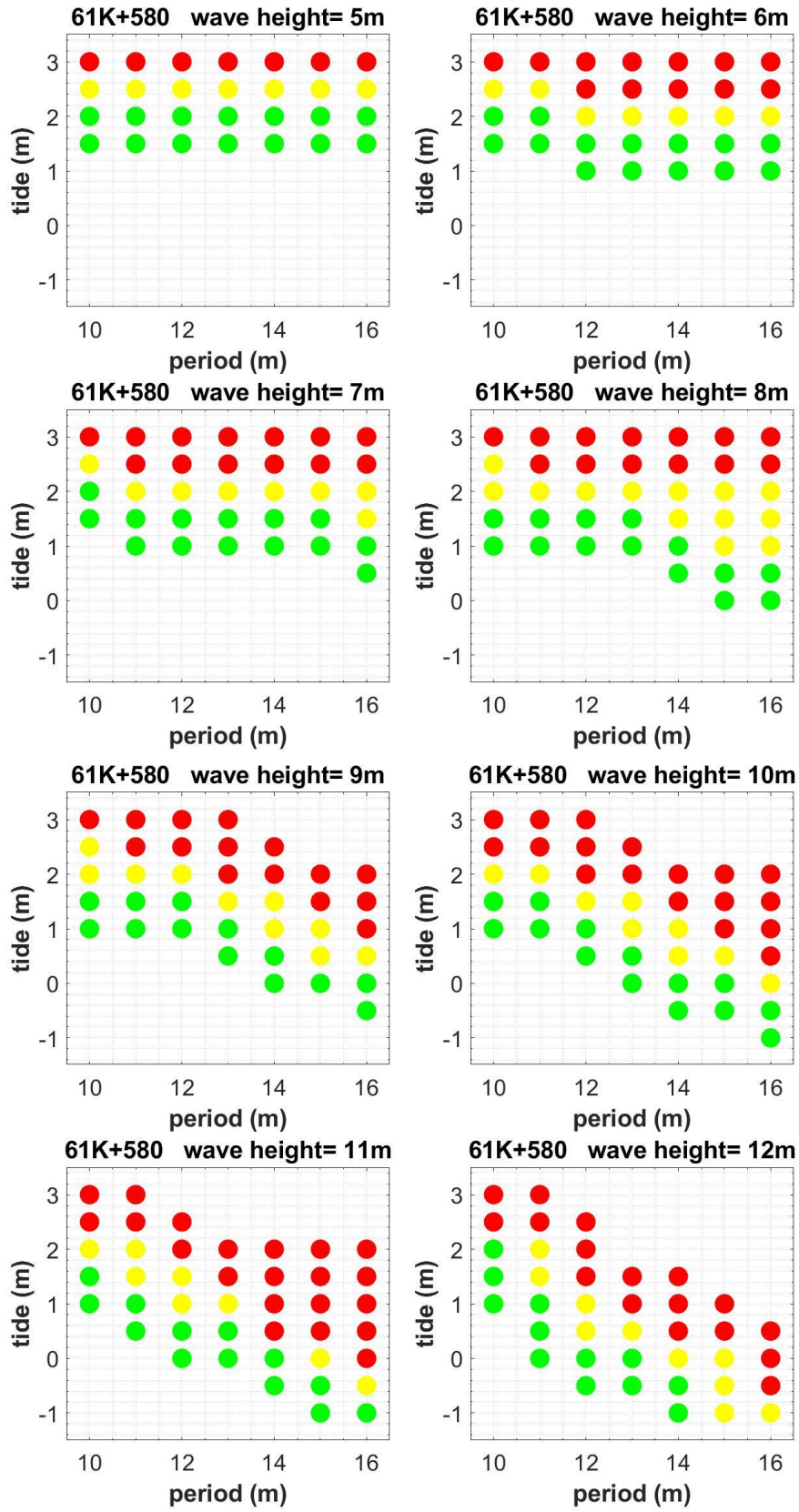


圖 4.40 61K+580 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

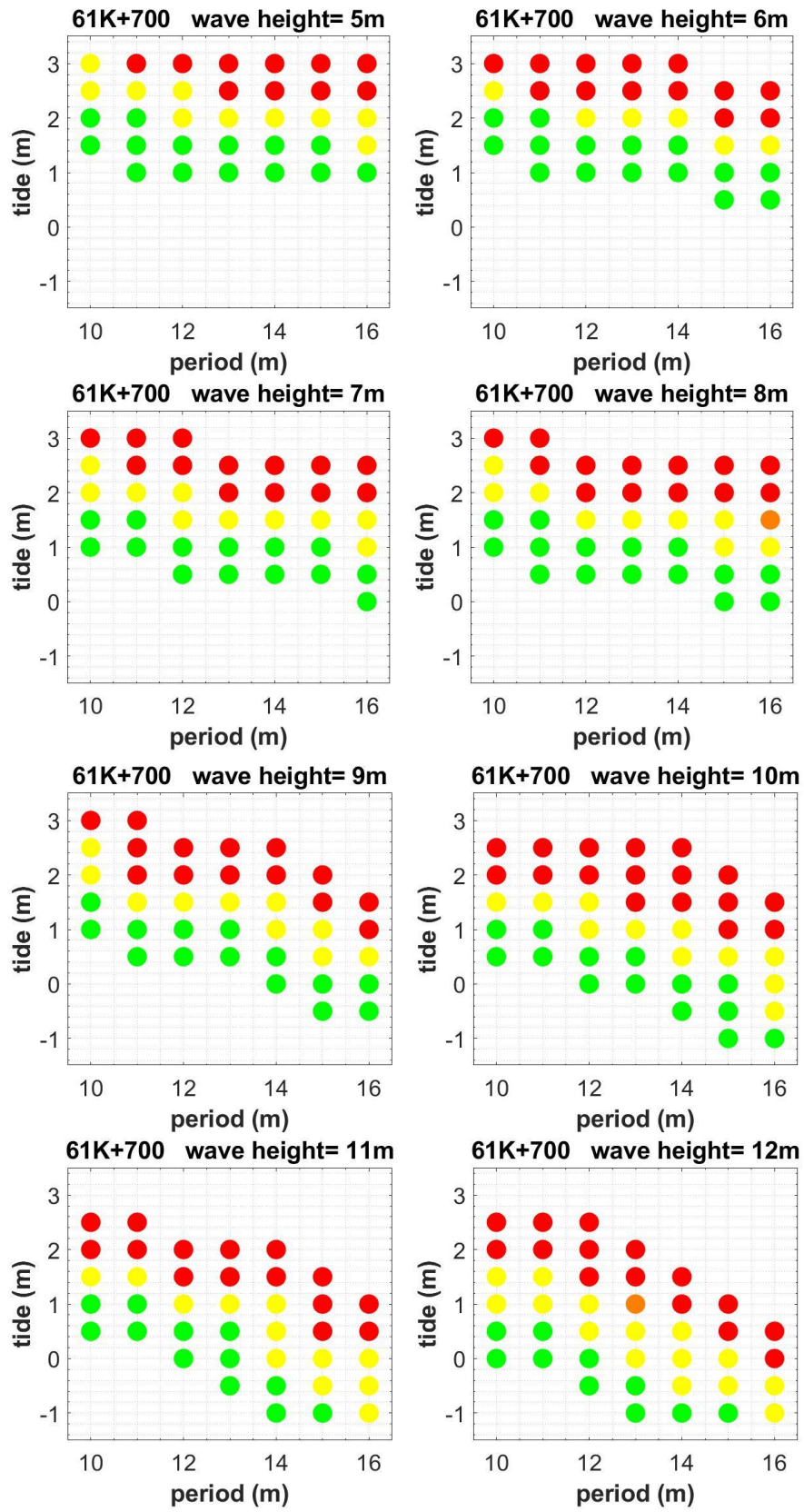


圖 4.41 61K+700 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

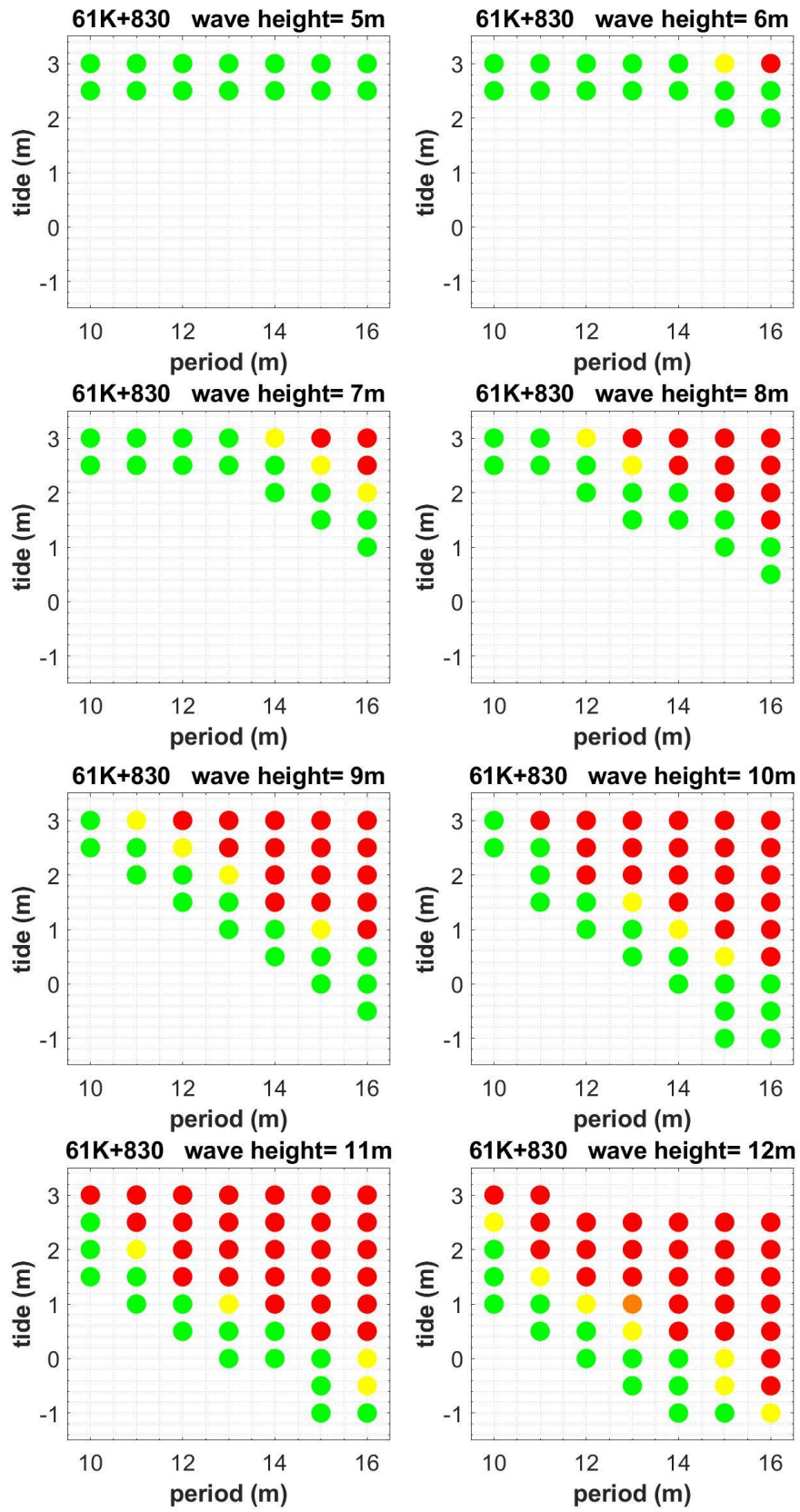


圖 4.42 61K+830 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

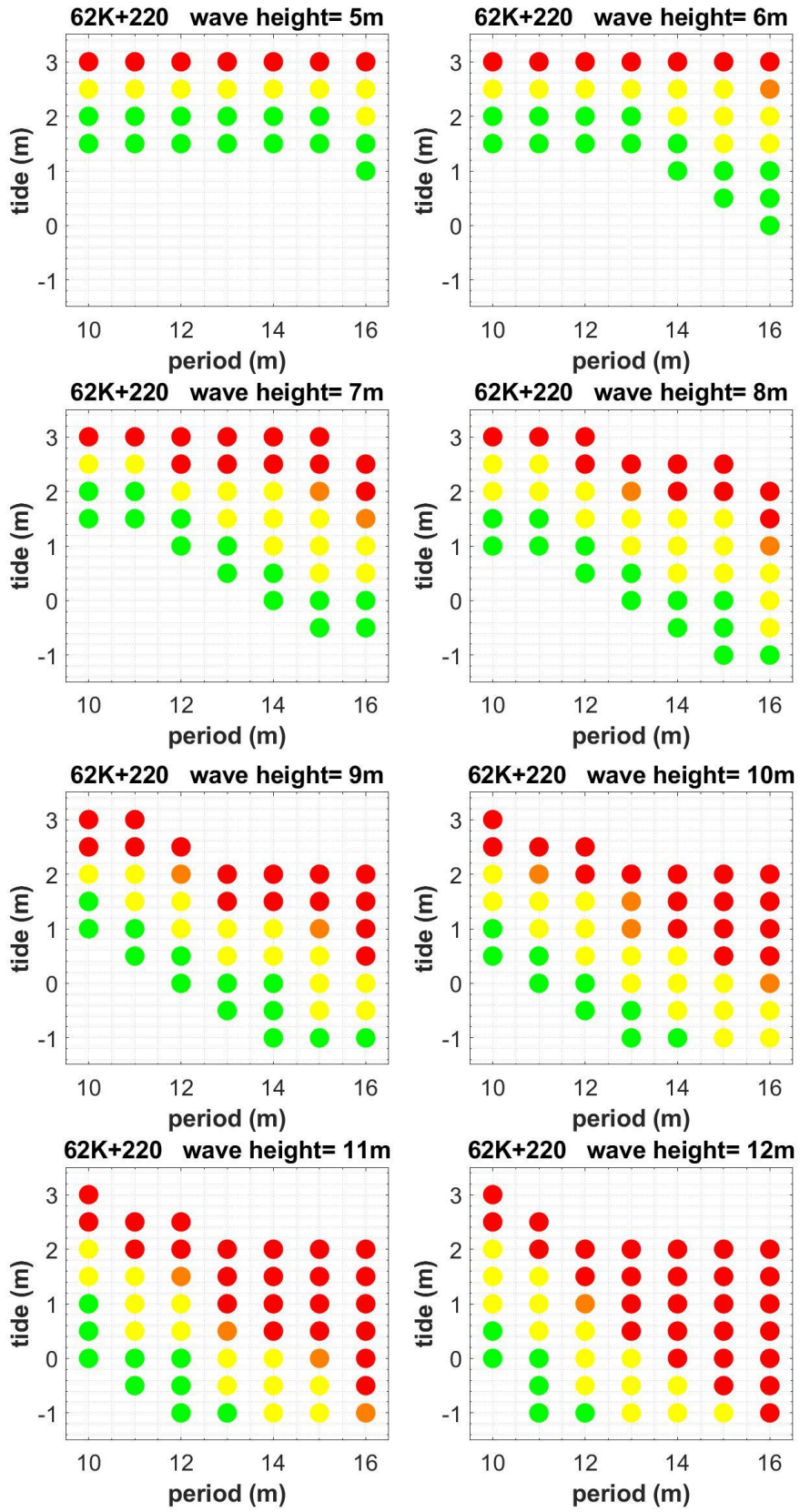


圖 4.43 62K+220 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

4.6.2 海況條件與浪襲系統的使用

由於浪襲警戒燈號是根據情境資料庫的邊界入射波波高、週期以及潮位等三個條件來決定，目前港灣技術研究中心可提供的 SWAN(Simulating WAVes Nearshore) 模式和 COHERENS(COupled Hydrodynamical Ecological model for REgionAl Shelf seas) 模式在人定勝天段外海的石門站(圖 4.44)資料，利用其示性波高、尖峰週期和潮位預報值來決定三個條件，並藉此產生台 11 線人定勝天段的海岸公路浪襲警戒預報檔，如圖 4.45。



圖 4.44 人定勝天段外海提供示性波高、尖峰週期和潮位預報位置

第1-4欄	第5-7欄			第8-28欄						第29欄
2020 07 03 12	1.059	4.946	-0.808	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 13	1.127	4.946	-0.594	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 14	1.050	4.946	-0.301	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 15	0.924	4.946	0.008	1	0.00	0	...	1	0.00	0
2020 07 03 16	0.828	4.946	0.256	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 17	0.736	4.946	0.395	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 18	0.701	4.946	0.398	1	0.00	0	1	0.00	0	1

圖 4.45 人定勝天段浪襲警戒預報檔內容

圖 4.45 各欄位的意義如下：

第 1 到 4 欄：年、月、日、時

第 5 到 7 欄：依序為預報的示性波高(m)、尖峰週期(sec)和潮位(m)

第 8 到 28 欄：第 8 到 11 欄各為里程編號 61K+300 的燈號、道路臨海邊緣的最大水位高程(m)以及道路臨海邊緣起算的溢淹距離(m)。後續的欄位與第 8 到 11 欄意義相同，各別屬於里程編號 61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220。

29 欄：7 個里程編號中最大的燈號值

情境燈號的決定方式是利用情境資料庫的入射波高、週期以及潮位等三種條件對預報值的示性波高修正值、尖峰周期和潮位等三個值進行陸地溢淹距離的內插，最後根據陸地溢淹距離或道路臨海邊緣的水位高程來決定警戒燈號。因為情境模擬的波高、週期和潮位的條件範圍有限(圖 4.13)，所以當預報的示性波高修正值、尖峰週期或潮位超出情境入射波高或周期的上限時，則對應到情境入射波高或週期上限值。同理如果低於情境下限時，則對應到下限值。

SWAN 預報的示性波高在利用情境資料庫內插之前需先經過三項修正。首先異常波浪的波高可視為示性波高的 2 倍，即直接將預報的示性波高值乘 2。第二項為水深修正，由於預報點的水深為 61m，而情境模擬邊界水深為 32m，故根據淺化作用來調整示性波高。假設波浪在不同水深的能通量不變，即 $C_g * E$ 為定值，其中 $E = a^2$ ， a 為波浪振幅。則可利用 4.11 式根據不同的波高和周期來計算由水深 61m 傳遞到

水深 32m 的淺化係數 K_s ，再將預報的示性波高值乘上 K_s 。

$$H_2 = H_1 K_s \quad (4.11)$$

其中 $K_s = \sqrt{\frac{c_{g1}}{c_{g2}}}$ ，下標 1 和 2 各代表水深 61m 和 32m。另外群波波速

$$C_g = \frac{C}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right), \text{ 個別波波速 } C = \frac{\omega}{k}, \text{ 波數 } k = \frac{2\pi}{L}, \text{ 角頻率 } \omega =$$

$\frac{2\pi}{T}$ ， T 為週期。波長 L 由 Fenton 和 Mckee(1990)的波長近似公式計算：

$$L = L_o \tanh^{2/3} \left(\frac{2\pi h}{L_o} \right)^{3/4}, \text{ 其中 } L_o = 1.56T^2。$$

第三項為利用波能的水平折射變化修正波高。由於 61K+380、61K+580、61K+700 等三站所取的地形切線是沿著折射的波向線，與其他四站的正東入射並不相同。故在此參照許(2003)的公式計算波能在水平方向上的折射變化，並利用 XBeach 模擬波浪從東邊界正向入射後的第 136 秒水位空間分佈畫出三站的波向線，如圖 4.46 到 4.48。以圖 4.46 為例，紅線為 61K+380 站的波向線，其中 b_0 (綠線)和 b (黃線)各為兩條波向線在外海和近岸的寬度。在此假設通過寬度 b_0 與通過寬度 b 兩者的能量一致。則可利用折射係數 K_r 乘上預報的示性波高作修正，如下式：

$$H = H_0 K_r \quad (4.12)$$

其中 $K_r = \sqrt{\frac{b}{b_0}}$ ， H 和 H_0 各為外海和近岸的波高。61K+380、61K+580、61K+700 三站所計算的 K_r 值各為 1.11、1.13 和 1.16。其他四站由於沒有折射，故其 K_r 值=1。綜合上述三種修正，預報的示性波高修正值如(4.13)式。

$$H_s^{\text{修正值}} = 2H_s^{\text{預報值}} K_s K_r \quad (4.13)$$

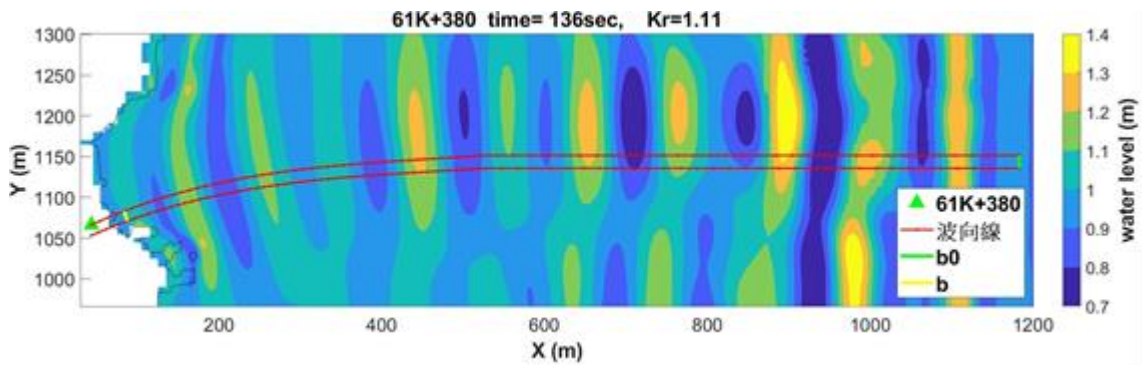


圖 4.46 61K+380 波向線寬度計算的折射係數($K_r=1.11$)

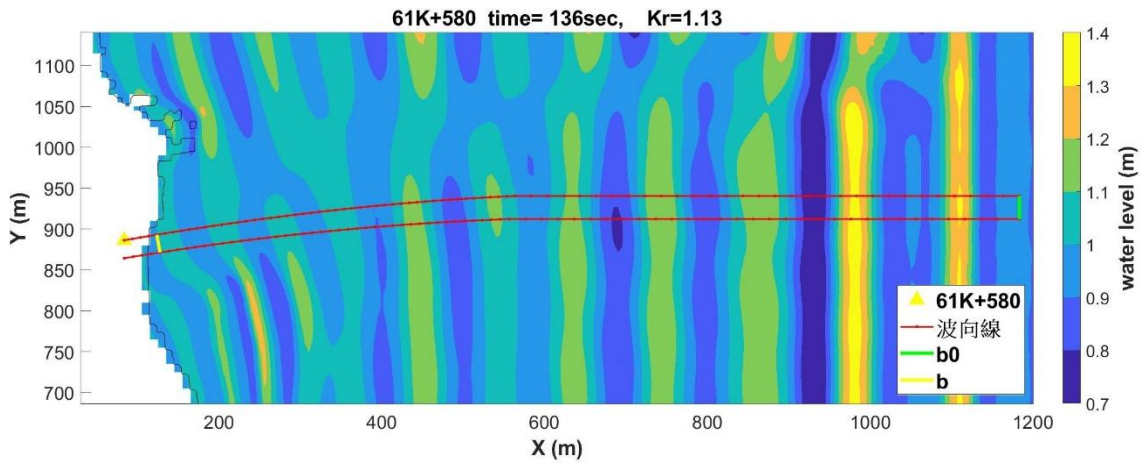


圖 4.47 61K+580 波向線寬度計算的折射係數($K_r=1.13$)

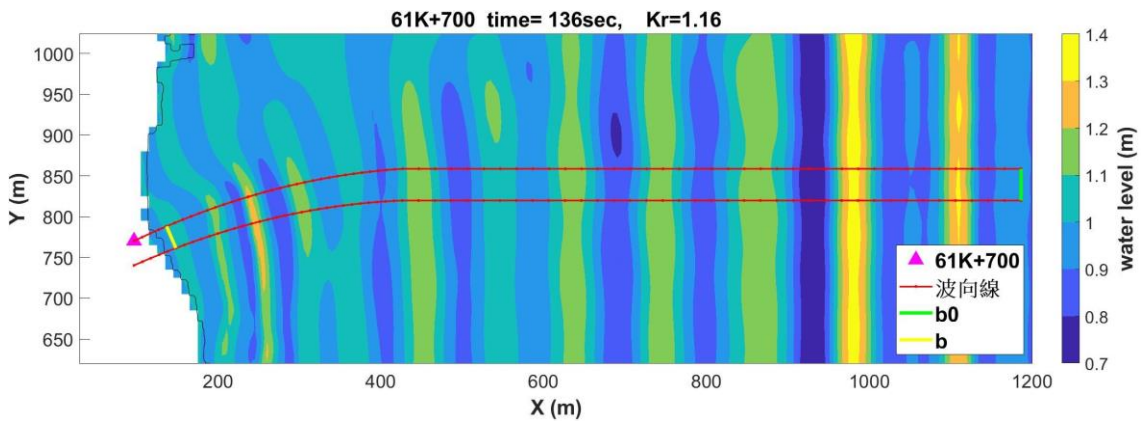


圖 4.48 61K+700 波向線寬度計算的折射係數($K_r=1.16$)

以圖 4.45 第 1 行 2020 年 7 月 3 日 12 時的 61K+300 站為例。當示性波高為 1.059m(第 5 欄)、尖峰週期為 4.946 秒(第 6 欄)、潮位-0.808 m(第 7 欄)時，利用 4.13 式對示性波高進行修正可得 2.119m，並將該值當作情境的入射波高條件。由於 2.119m 低於情境入射波高最小值

5m、而週期亦低於情境入射週期最小值 10 秒，故無法利用情境條件內插。然而最接近的情境條件為波高 5m、週期 10 秒及潮位 1.5m，且該模擬情境為綠燈(圖 4.37)。由於 2020 年 7 月 3 日 12 時段的波高、週期和潮位皆低於前述模擬情境的波高、週期和潮位，故給予綠燈值 1(第 8 欄)，並給予道路臨海邊緣的最大水位高程(第 9 欄)和道路溢淹距離(第 10 欄)兩者 0 值。

花蓮海岸公路浪襲預警系統之視窗以網頁形式作為顯示，如圖 4.49 所示。網頁上圖可展示人定勝天段各路段的顏色燈號；中間圖展示波高，包括花蓮港的氣象局浮標即時觀測值及人定勝天段外海的 SWAN 預報值；下圖則展示潮位，包括花蓮港的氣象局即時觀測值及人定勝天外海的 COHERENCE 預報值。顏色燈號可以選擇各里程編號進行預報查詢，可提供相關單位作為封路決策之參考依據。

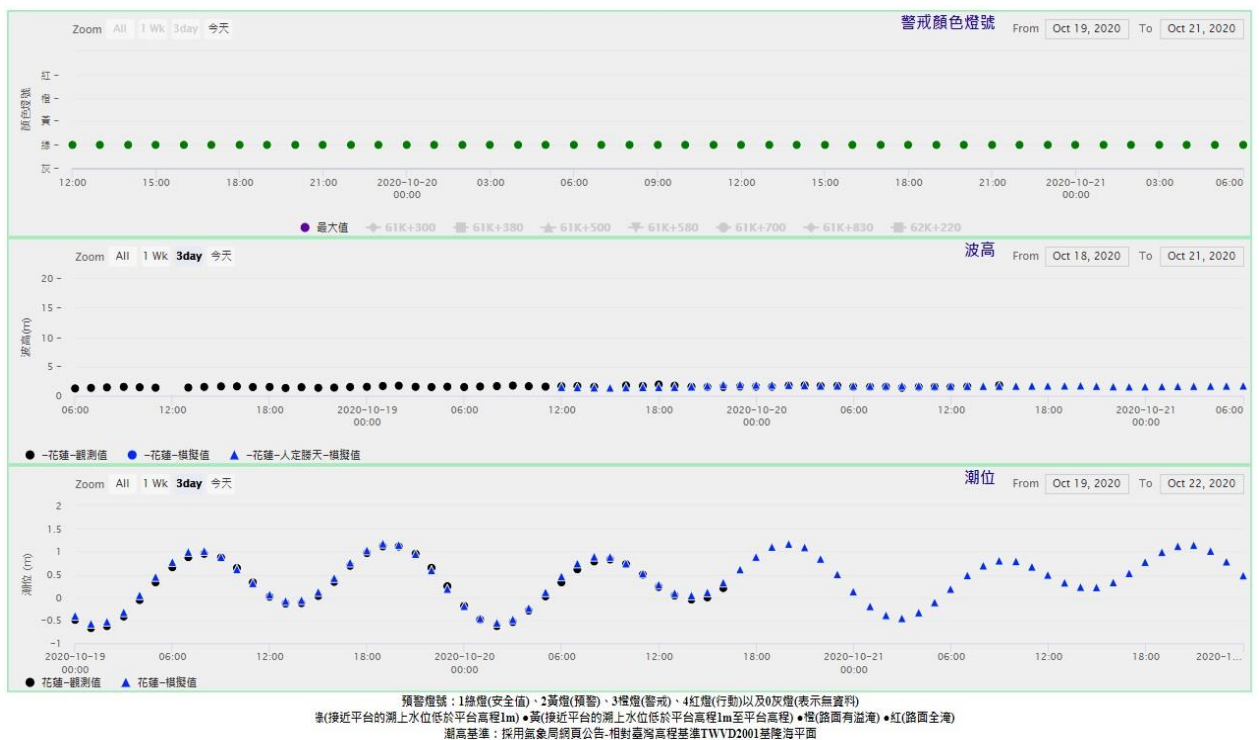


圖 4.49 花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面圖

4.6.3 浪襲系統的路段浪襲評估與驗證

為了進一步評估人定勝天段 7 個站可能受到浪襲影響的程度，本節使用港研中心過去 2018 年 3 月 3 日到 2020 年 9 月 8 日期間在人定勝天段外海所預報的 COHERENCE 潮汐資料(經度 121.509、緯度 23.516)以及 SWAN 波浪資料(經度 121.52，緯度 23.5)搭配上上述的情境資料庫條件來計算資料期間每個小時的浪襲燈號。圖 4.50 和 4.51 各為特定的潮位和波浪條件使人定勝天段 7 站的任 1 站出現橙燈和紅燈的結果。在 16872 小時的資料中，橙和紅燈各佔 51 和 49 小時。另外表 4-15 為同樣方式個別對 7 個站進行計算所得的浪襲燈號時數。由該表可知 61K+580、61K+700 和 62K+220 道路浪襲的時數為 89、91 和 99，佔前三名，可列為颱風來襲時的優先關注地點。

表 4-15 2018-2020 年波潮位預報值搭配情境模擬所得浪襲時數

里程編號	浪襲警戒燈號發生時數				道路發生浪襲時數	道路高程(m)
	綠	黃	橙	紅		
61K+300	16802	4	27	39	66	8.7
61K+380	16820	12	33	7	40	8.7
61K+500	16827	3	25	17	42	8.2
61K+580	16777	6	40	49	89	7.8
61K+700	16816	8	53	38	91	7.6
61K+830	16819	1	23	29	52	7.5
62K+220	16760	13	62	37	99	7.3

2018 年潭美颱風期間在 9 月 28 日晚間 8 點左右，台 11 線 61K400 附近曾發生浪襲道路事件(圖 2.9)。根據當時 COHERENCES 潮位預報值為 0.67m，而 SWAN 預報的示性波高以及尖峰週期各為 5.41m 和 16.3 秒。預報的示性波高經 (4.13)式修正的結果為 11.59m，將潮位、尖峰週期以及修正的示性波高利用 61K+380 站的情境資料庫作內插可得到陸地溢淹距離為 28.88m，而當溢淹距離超過 21m 代表道路溢淹(路寬 8m 有 7.38m 出現溢淹)。其警戒燈號屬於橙燈，即與當時發生道路浪襲

的情況符合。

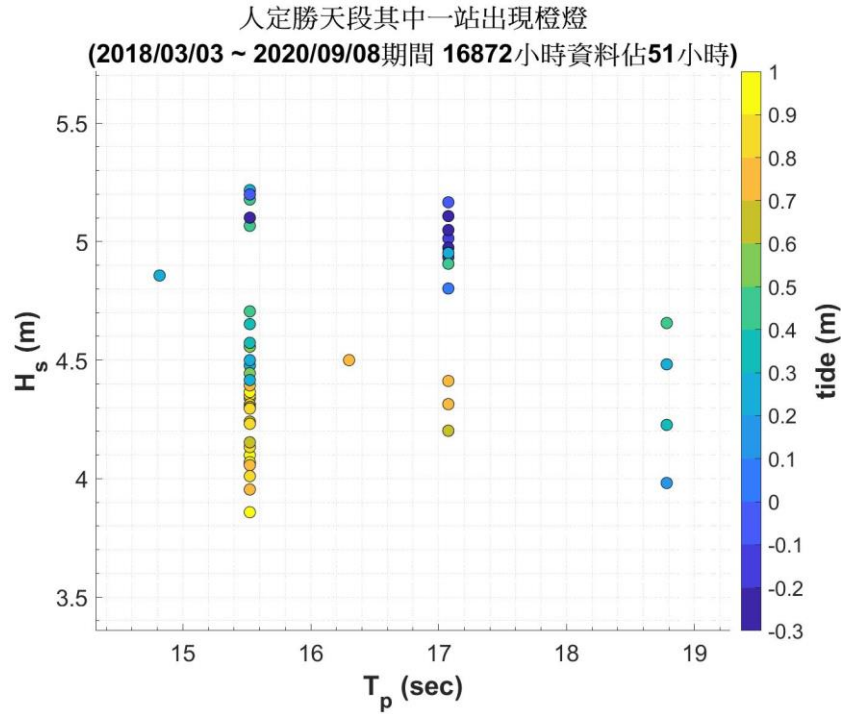


圖 4.50 2018-2020 年波潮預報模擬出現橙燈的浪襲事件分布圖

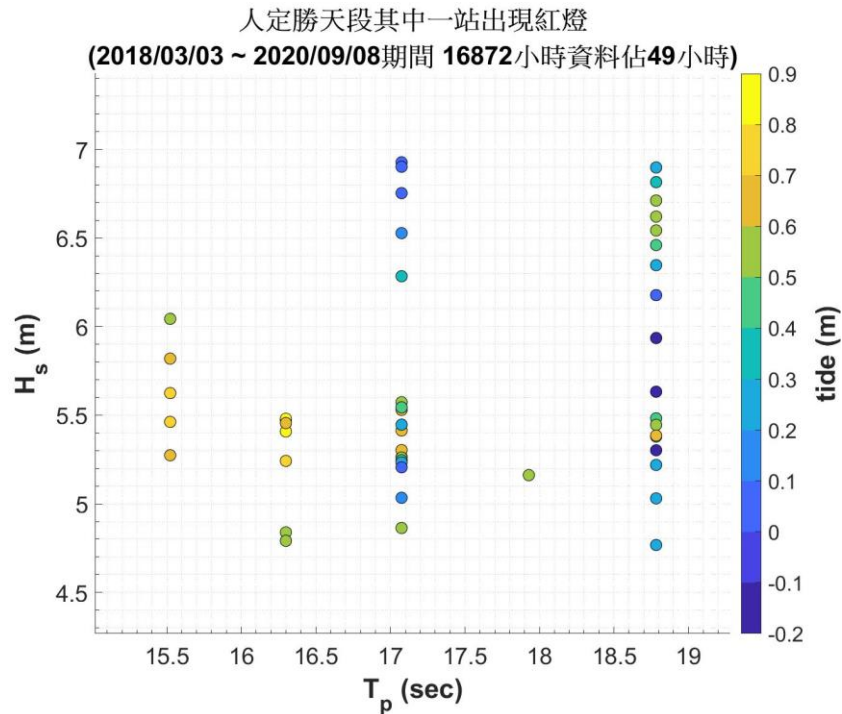


圖 4.51 2018-2020 年波潮預報模擬出現紅燈的浪襲事件分布圖

第五章 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進

對於交通部運輸研究所民國 106 年的「海岸公路異常波浪特性及防災應用技術之研究」計畫所建立的臺東海岸公路南興段的海岸公路浪襲預警系統在台 9 線公路南興段於道路里程 439K+700、440K+400、440K+260、440K+260、440K+500、440K+740、441K+000 和 441K+240 等 7 站(圖 5.1)為進行浪襲道路的預警。本計畫利用同化的方法以 13 個月的示性波高觀測值對同時期的預報值進行同化修正來精進目前的臺東海岸公路浪襲預警系統。

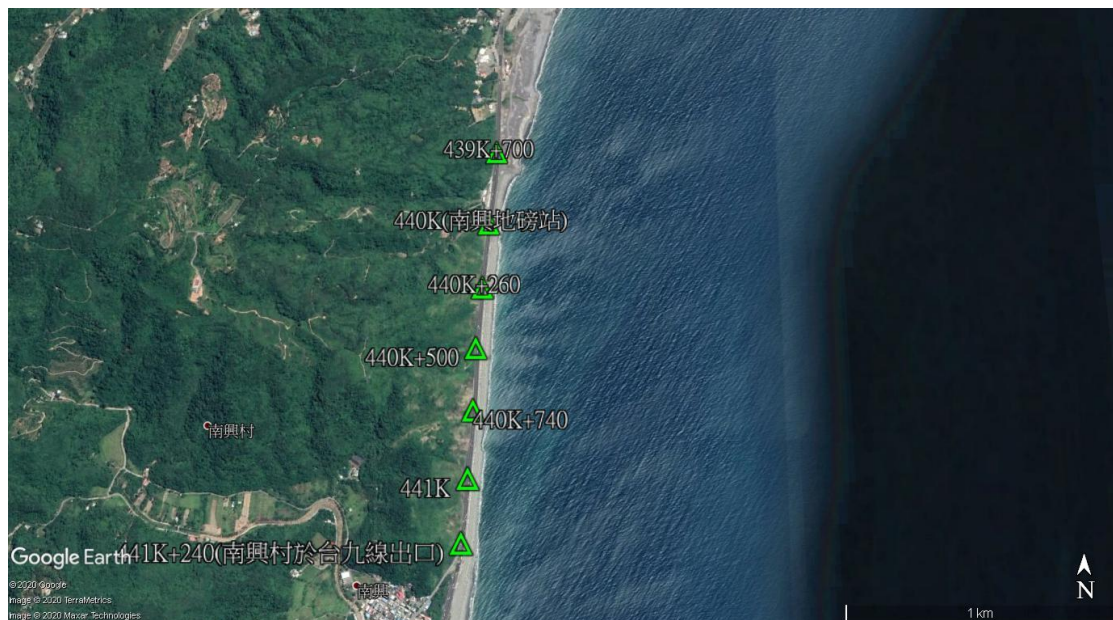


圖 5.1 台九線南興段 7 站位置

5.1 研究方法

本計畫的資料同化方式是參考歐等人(2004)使用的最佳內插法是基於 Gandin (1963)為處理氣象資料所發展的分析方法，其目的是建立觀測資料的統計架構，並決定最佳的權重，再利用各測站的觀測值對數值模式中的各個座標位置進行預報值的同化。最佳內插法的公式如下：

$$H_i^A = H_i^P + \sum_{j=1}^{N_{obs}} W_{ij} (H_j^O - H_j^P) \quad (5.1)$$

其中 N_{obs} 為觀測站的數量， H_j^O 為觀測波高值， H_j^P 為模式波高值， H_i^A 為預報值經資料同化後的波高值， W_{ij} 為各個測站相對模式各個網格位置的權重，下標 i 和 j 表示第 j 個測站位置對應於第 i 個模式位置的權重。由於實測波高值 H^O 、模式的起始猜測值 H^P 及分析值 H^A 與真值 H^T 之間含有誤差 ε 的存在，如下表示：

$$\varepsilon^O = H^O - H^T \quad (5.2a)$$

$$\varepsilon^P = H^P - H^T \quad (5.2b)$$

$$\varepsilon^A = H^A - H^T \quad (5.2c)$$

其中 ε^O 、 ε^P 及 ε^A 分別為實測波高值、模式的起始猜測值及分析值與真值之間的偏差量，將第(5.2)式代入第(5.1)式，可得下式：

$$\varepsilon^A = \varepsilon^P + \sum_{j=1}^{N_{obs}} W_{ij} (\varepsilon_j^O - \varepsilon_j^P) \quad (5.3)$$

為求得最小化的分析誤差，故以分析誤差之均方誤差 (mean square error) 決定最佳化的權重 W_{ij} ，並定義 $P_{kj} = \langle \varepsilon_k^P \varepsilon_j^P \rangle$ 為起始猜測值的均方誤差矩陣， $O_{kj} = \langle \varepsilon_k^O \varepsilon_j^O \rangle$ 為實測值的均方誤差矩陣。為求最小化，故令其微分結果為零，可得下式。

$$\sum_{j=1}^{N_{obs}} W_{ij} (P_{kj} + O_{kj}) = P_{ik}, \quad k = 1, 2, 3 \dots N_{obs} \quad (5.4)$$

定義 $M_{kj} = P_{kj} + O_{kj}$ ，進一步將第(5.4)式展開為聯立方程組，如下：

$$\begin{bmatrix} M_{11} & \cdots & M_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{k1} & \cdots & M_{kj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{1i} \\ \vdots \\ W_{ji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1i} \\ \vdots \\ P_{ki} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

由第 (5.5) 式可知，要計算各測站分配於計算格點的最佳權重，則必須求解 N_{obs} 組的聯立方程。如果觀測站的數量不多，則可使用靠高斯消去法求解出最佳權重。

當真值為已知的條件下，可順利求得觀測值與預報值的均方誤差，但在實際應用上，並無法得知海面上的真實波高，所以在此引用 Lionello(1992)定義的 P_{kj} 和 O_{kj} 計算方式，其表示如下：

$$P_{kj} = \exp\left(-\frac{\gamma_{kj}}{L_{max}}\right) \quad (5.6a)$$

$$O_{kj} = \delta_{kj} \left(\frac{(\varepsilon_k^o)^2}{(\varepsilon_p^o)^2}\right) = \delta_{kj} R_k \quad (5.6b)$$

其中 γ_{kj} 為 k 、 j 二測站的距離， L_{max} 為校正長度 (correlation length)，即把 P_{kj} 視為水平距離的空間函數。而 R 為實測值與起始猜測值的均方誤差比。在此假設實測值與起始猜值有相同的均方誤差，即 R_1 、 $R_2 \dots R_k$ 的值皆為 1，則可將第(5.5)式改寫如下：

$$\begin{bmatrix} P_{11} + 1 & \cdots & M_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{k1} & \cdots & P_{kj} + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{1i} \\ \vdots \\ W_{ji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1i} \\ \vdots \\ P_{ki} \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

由於即時同化只能修正當下的模式預報值，為了修正未來幾小時的預報值，在此使用第(5.8)式作預報修正，可得預報修正值 H_k^{Pc} 如下：

$$H_k^{Pc} = \frac{H_{now}^A}{H_{now}^P} * H_k^P \quad (5.8)$$

其中 $\frac{H_{now}^A}{H_{now}^P}$ 為修正係數，即當下的同化值與預報值的比例， H_k^P 為未來第 k 小時的預報值。

5.2 資料同化與預報修正的流程

2017 年建立的海岸公路浪襲預警系統是輸出警戒資訊的大致流程如圖 5.2。為提高系統預報的準確性，本計畫加入對 SWAN 模式預報作修正的步驟，其大致的流程更改為圖 5.3。

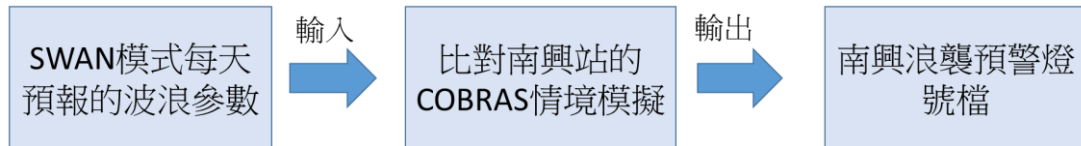


圖 5.2 海岸公路浪襲預警系統預警資訊未修正之前的流程

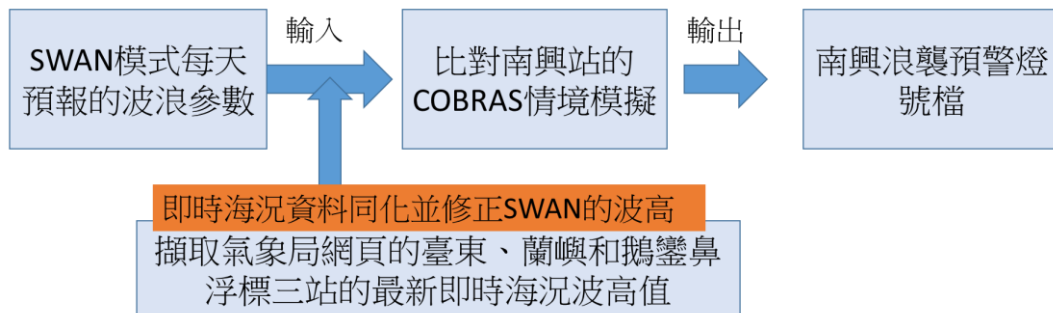


圖 5.3 海岸公路浪襲預警系統預警資訊修正後流程

南興站預報修正的細部流程如下：

1. 抓取港灣技術研究中心每天提供的 SWAN 模式在南興、臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻四個近岸站的示性波高預報值。
2. 抓取中央氣象局(CWB, Central Weather Bureau)網頁提供的臺東(圖 5.4)、蘭嶼和鵝鑾鼻三站浮標的即時示性波高，搭配三站的預報值可對該小時的南興站預報值作同化。
3. 南興站同化後的示性波高除以該小時的預報值得到一個修正係數。
4. 南興站對該小時起的 6 小時預報值(依欲修正的時數而定) 皆乘上修正係數作為預報修正值。

上述流程 1 的 SWAN 模式四個站經緯度和位置圖如表 5-1 和圖 5.5 所示，而流程 2 提到氣象局臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等三站的經緯度與 SWAN 模式的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻相同。如果氣象局三站中，只有其中有兩站有即時資料，則僅使用兩站作同化與預報修正，以此類推。若三站皆無資料則不作修正。

時間	潮高 (m)	浪高 (m)	浪向 (最大浪高)	波浪週期(秒)	風力 (m/s) (級)	風向	陣風 (m/s) (級)	海溫 (°C)	氣溫 (°C)	氣壓 (百帕)	海流流向	流速 (m/s) (節)
08/15 (四) 18:00		1.5	↗	5.0	3.7 3	↗	5.2 3	-	28.1	999.4	↙	0.16 0.31
08/15 (四) 17:00		1.7	↗	5.0	3.7 3	↙	5.2 3	-	28.1	999.3	↘	0.32 0.62
08/15 (四) 16:00		1.7	↗	5.2	5.5 4	↗	7.1 4	-	28.7	999.2	↘	0.48 0.93
08/15 (四) 15:00		1.6	↗	5.5	1.3 1	↗	2.2 2	-	28.4	1000.0	↘	0.39 0.76
08/15 (四) 14:00		1.5	↗	5.7	- -	-	- -	-	28.2	1000.5	↙	0.47 0.91

圖 5.4 氣象局臺東浮標即時觀測資料

表 5-1 SWAN 模式的預報點和氣象局波浪浮標的經緯度

站名	經度	緯度
臺東浮標	121.1450	22.7240
蘭嶼浮標	121.5758	22.0719
鵝鑾鼻浮標	120.8314	21.9006
南興	120.9010	22.3170

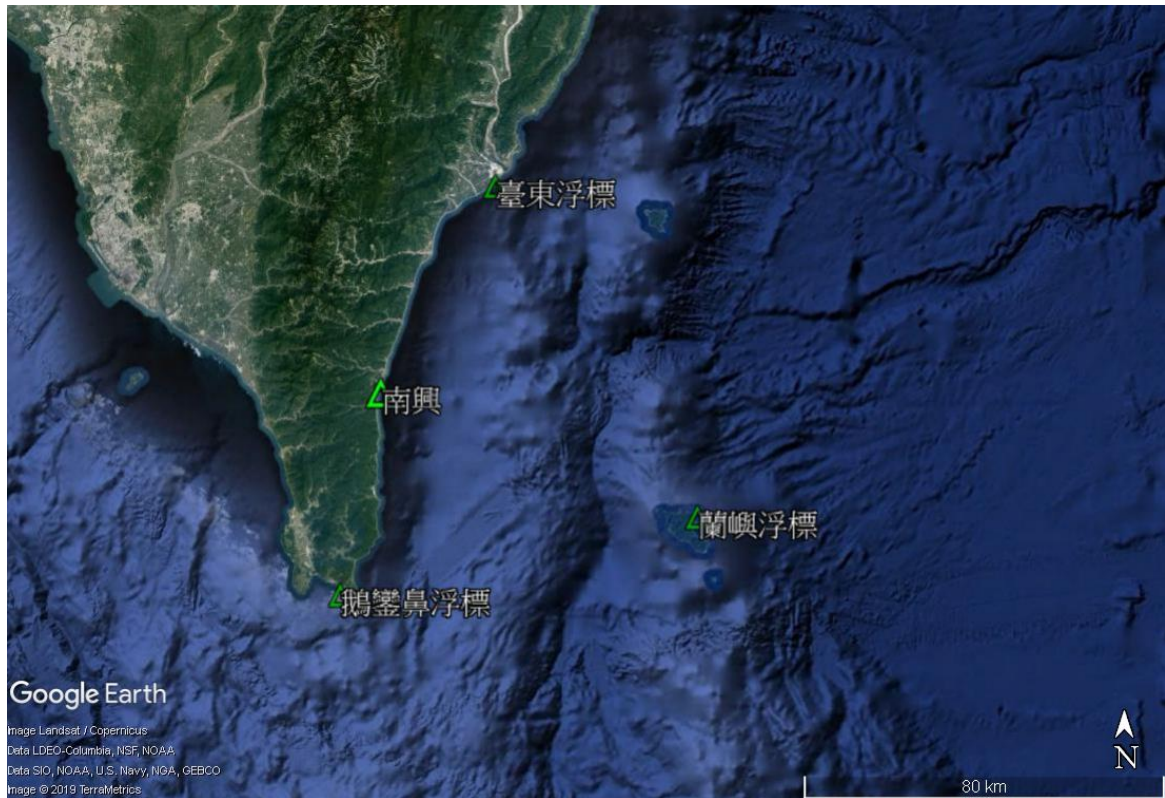


圖 5.5 SWAN 模式預報點和氣象局浮標位置

本文所使用 SWAN 模式資料為港灣技術研究中心建立的小尺度臺灣東南海域風浪模式，其模擬範圍介於東經 120.76 到 122 度，北緯 21.52 到 23 度(圖 5.6，港灣海象模擬技術及預警系統研發，2018 年交通部運研所精簡報告)，網格解析 0.008 度。其模式的風場根據港灣技術研究中心的 TaiCOMS 模式作業化風場作為輸入值。而邊界條件是由港灣技術研究中心的中尺度近域網格風浪模式提供在邊界附近的方向

波譜資料。

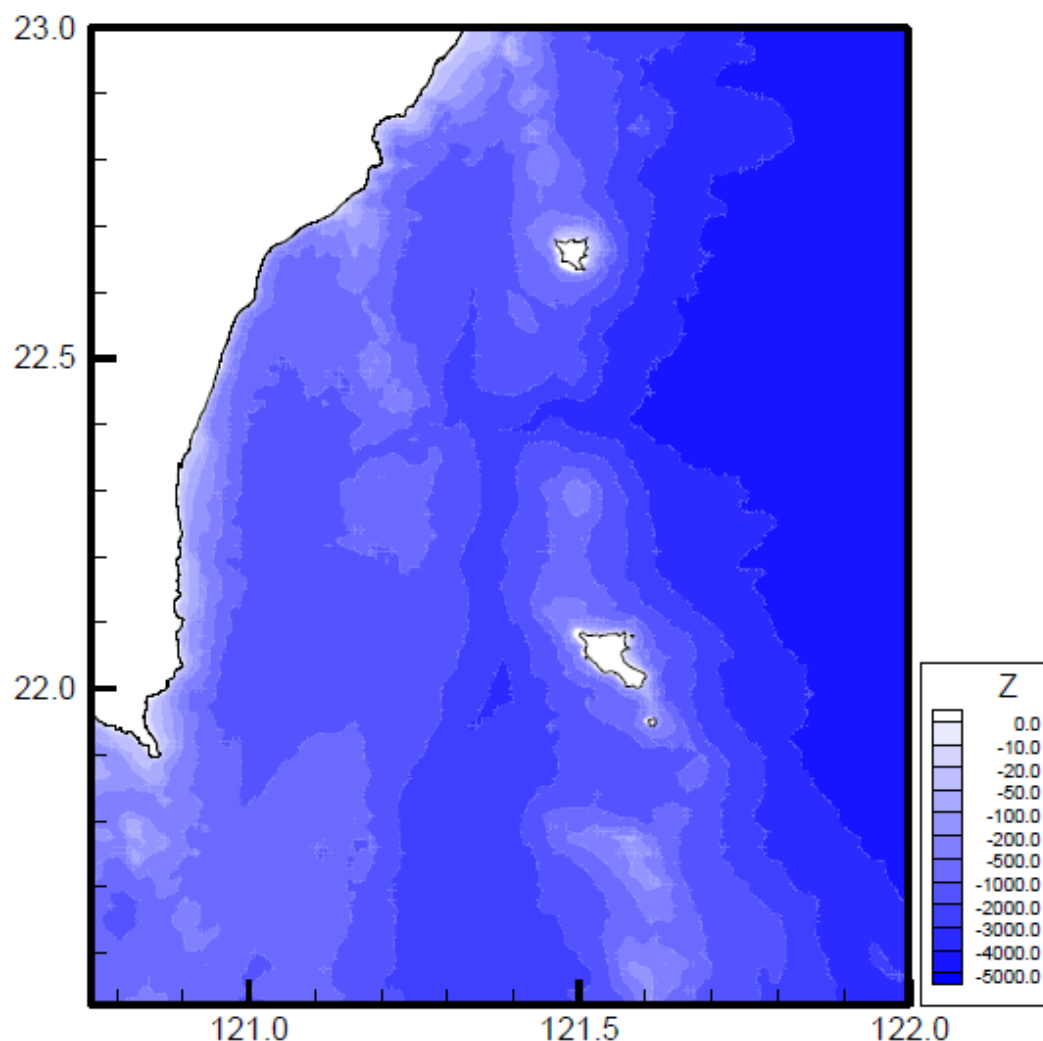


圖 5.6 小尺度臺灣東南海域風浪模式模擬範圍

5.3 臺東站的資料同化與預報修正

由於南興站目前沒有波浪的觀測資料，無法判斷預報值經修正後的預報能否符合實際的情況。故先以有觀測資料的臺東浮標站來評估歐等人(2004)的方法是否適用。逐時資料使用的時間期間約 13 個月，從 2019 年的 8 月 3 日到 2020 年 8 月 31 日，包括 CWB 的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等三個浮標測站的示性波高以及同時期 SWAN 模式在三個相同位置的示性波高。

先利用蘭嶼和鵝鑾鼻兩站當時的觀測值與預報值差值對臺東站的預報值作即時同化，再對臺東站後續 6 小時的預報值作預報修正。最後計算臺東站預報值與觀測值的 RMSE(Root-Mean-Square Error)，比較在修正前、後是否有減少的趨勢，藉以判斷此修正方式是否能提高 SWAN 預報的準確度。

臺東站預報值的同化與修正流程如下：

1. 抓取港灣技術研究中心 SWAN 模式預報的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等外海 3 個站的示性波高預報值。
2. 抓取氣象局網頁提供的蘭嶼和鵝鑾鼻浮標 2 站的即時示性波高，搭配對應位置的預報值對該小時的臺東站預報值作同化。
3. 臺東站同化後的示性波高除以該小時的預報值得一個修正係數。
4. 臺東站對該小時開始 6 小時內的預報值皆乘上修正係數作調整。

流程 2 利用蘭嶼和鵝鑾鼻 2 個站修正臺東站，故可將第(5.7)式改寫如下：

$$\begin{bmatrix} P_{11} + 1 & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{21} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

在此假設實測值與起始猜測值有相同的均方誤差，即 R_1 、 R_2 的值皆為 1。而 P_{11} 和 P_{21} 各為蘭嶼站和鵝鑾鼻站的空間函數。由於第(5.6)式的校正長度 L_{max} 為自訂值，為瞭解哪個值有助於較能降低誤差，在此測試當 L_{max} 值在 40 到 340 km 區間時，且臺東站每小時皆作示性波高的同化情況下去計算同化與觀測值的 RMSE，結果如圖 5.7。圖 5.7 顯示 R 值等於 1 時，當 L_{max} 值從 40km 增加到 80km，RMSE 從 0.379 降到 0.374 左右。而 L_{max} 值從 80km 到 340km 的 RMSE 趨勢則是漸漸增加到 0.389。圖 5.7 另外畫出 R 值等於 0 的值作為參考。

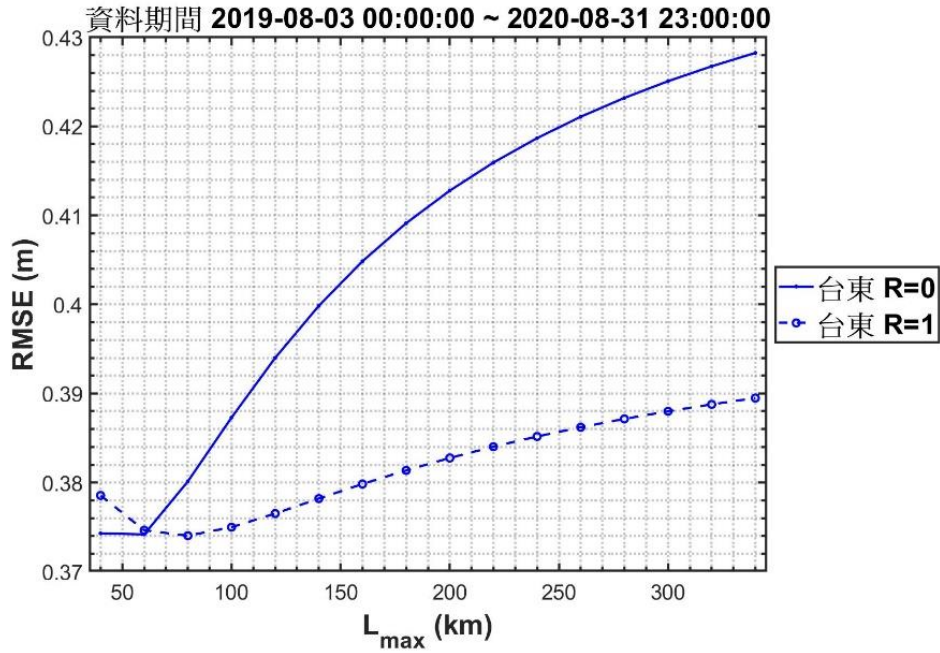


圖 5.7 臺東站不同校正長度 L_{max} 與兩種 R 的 RMSE

在此選擇 80km 作為 L_{max} 值，則蘭嶼站和鵝鑾鼻站的權重 W_{11} 和 W_{21} 可由第(5.9)式計算而得，其值各為 0.151 和 0.124。由(5.1)式可知示性波高在臺東浮標點的同化計算如下式：

$$H_{臺東}^A = H_{臺東}^P + 0.151 \left(H_{蘭嶼}^O - H_{蘭嶼}^P \right) + 0.124 \left(H_{鵝鑾鼻}^O - H_{鵝鑾鼻}^P \right) \quad (5.10)$$

$H_{臺東}^A$ ：臺東示性波高同化值， $H_{臺東}^P$ ：臺東示性波高預報值

$H_{蘭嶼}^O$ ：蘭嶼示性波高觀測值， $H_{蘭嶼}^P$ ：蘭嶼示性波高預報值

$H_{鵝鑾鼻}^O$ ：鵝鑾鼻示性波高觀測值， $H_{鵝鑾鼻}^P$ ：鵝鑾鼻示性波高預報值

圖 5.8 的單日預報以 2020 年 8 月 1 日為例，修正前的預報值與觀測值 RMSE 為 0.11。對當天 0 時、6 時、12 時與 18 時作每 6 小時 1 次的預報修正後可降至 0.071。對整個資料期間的示性波高資料作同樣的處理得到結果如圖 5.9 所示，原本的預報值與觀測值 RMSE 為 0.386。而每 6 小時預報修正的 RMSE 各為 0.376，RMSE 約比修正前下降了 2.6%。

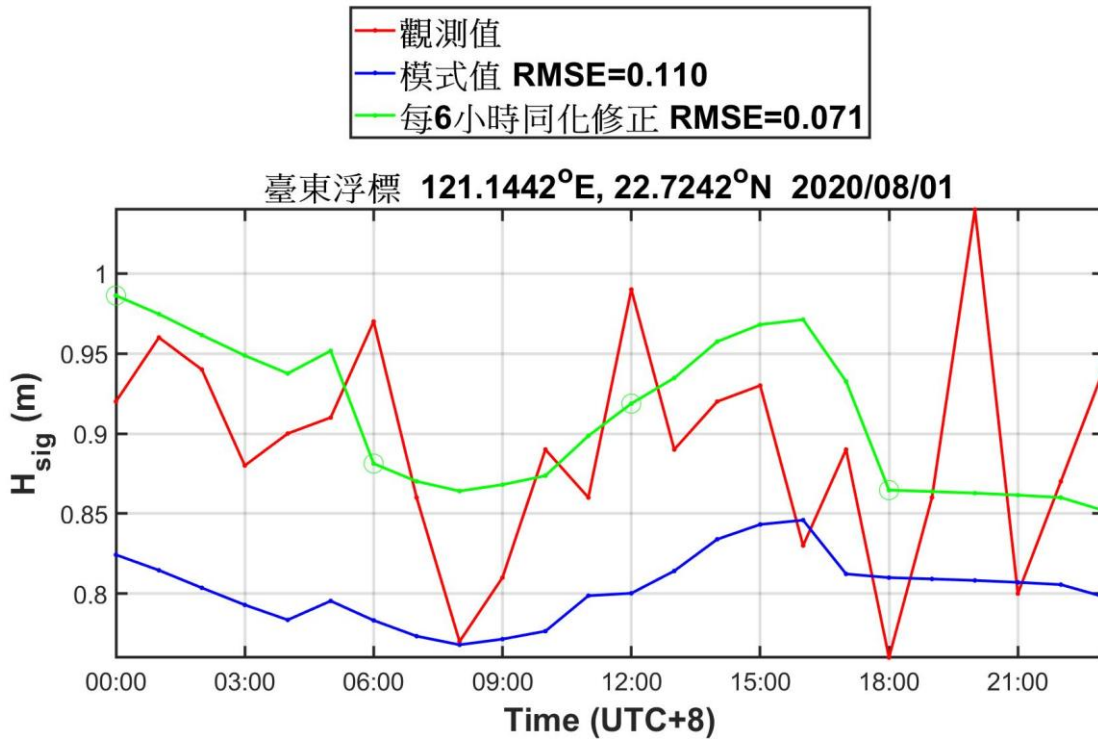


圖 5.8 臺東示性波高單日的觀測、預報以及預報修正

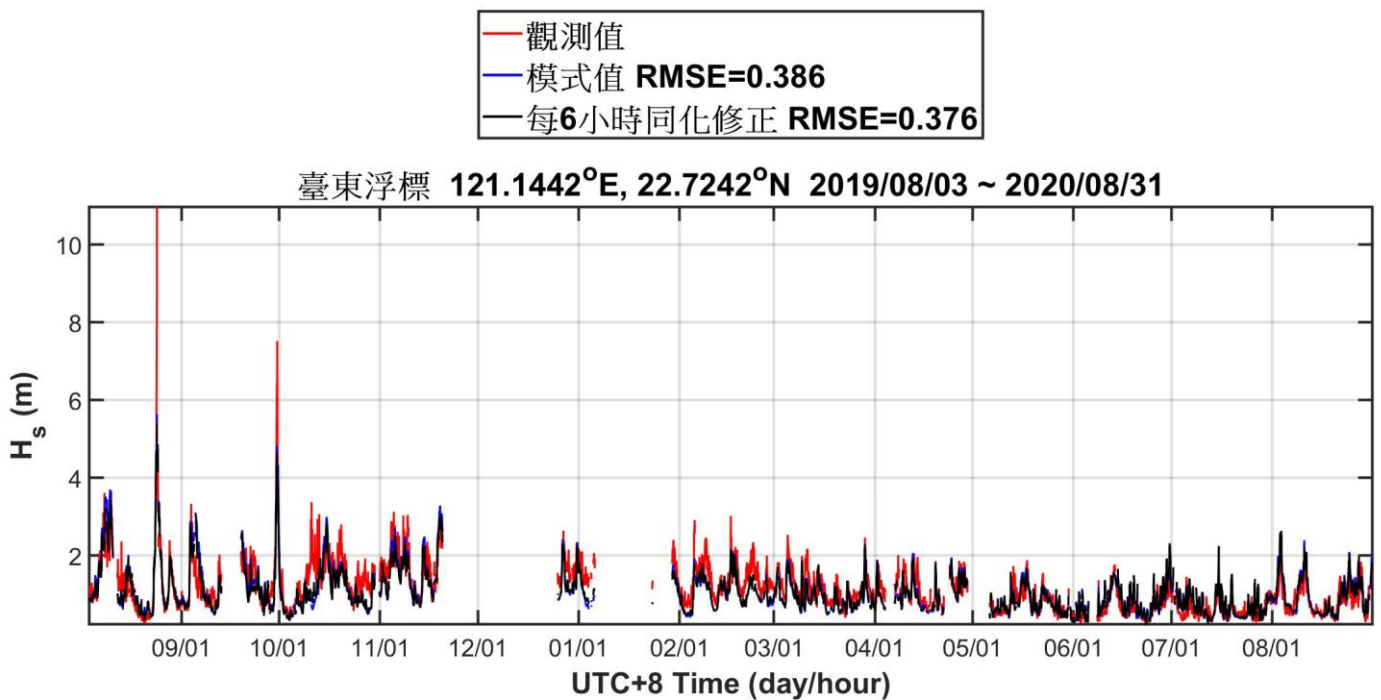


圖 5.9 2019-2020 年臺東站示性波高的觀測、預報以及預報修正

本研究另外對颱風經過臺灣附近期間的預報值作同化修正，並計算與觀測值的 RMSE 來評估修正的影響。在此選擇 2019 年 8 月到 2020 年 8 月期間中央氣象局有發布警報的 7 個颱風。包括 2019 年的利奇馬、白鹿和米塔颱風，以及 2020 年的黃蜂、哈格比、米克拉和巴威個颱風。根據日本 NII (National Institute of Informatics) 網站的資料，7 個颱風路徑如圖 5.10 到 5.15 所示。

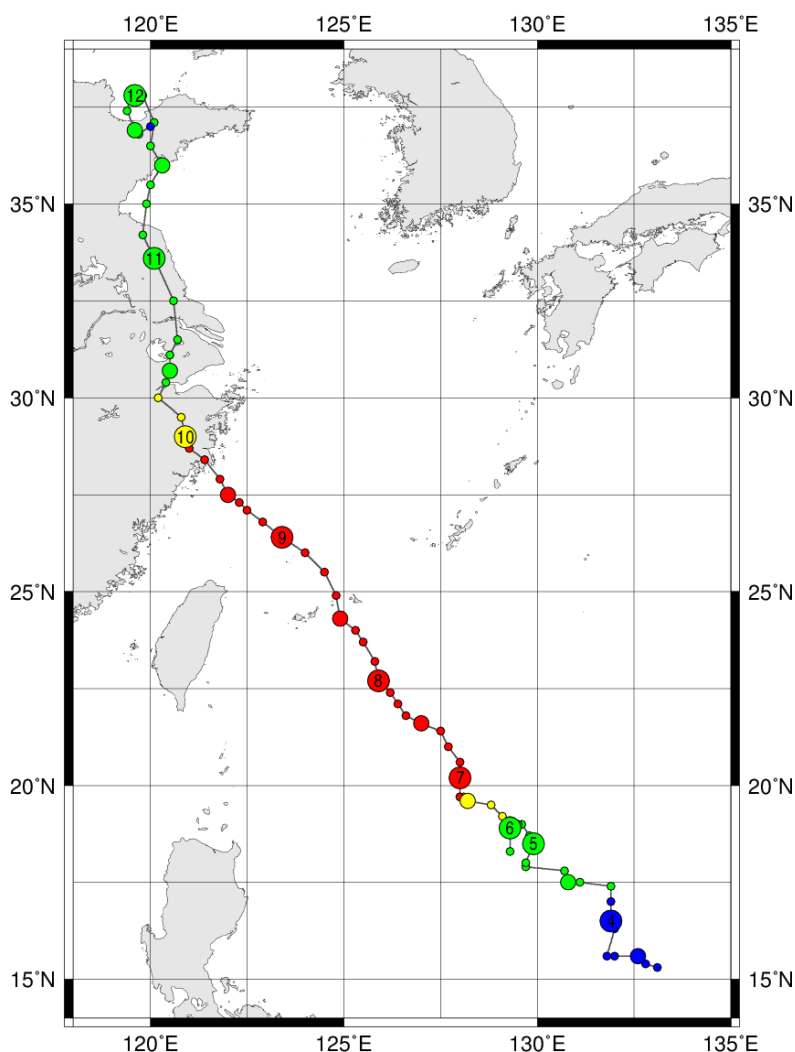


圖 5.10 2019 年利奇馬颱風路徑圖

(<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/1/201909.html.en>)

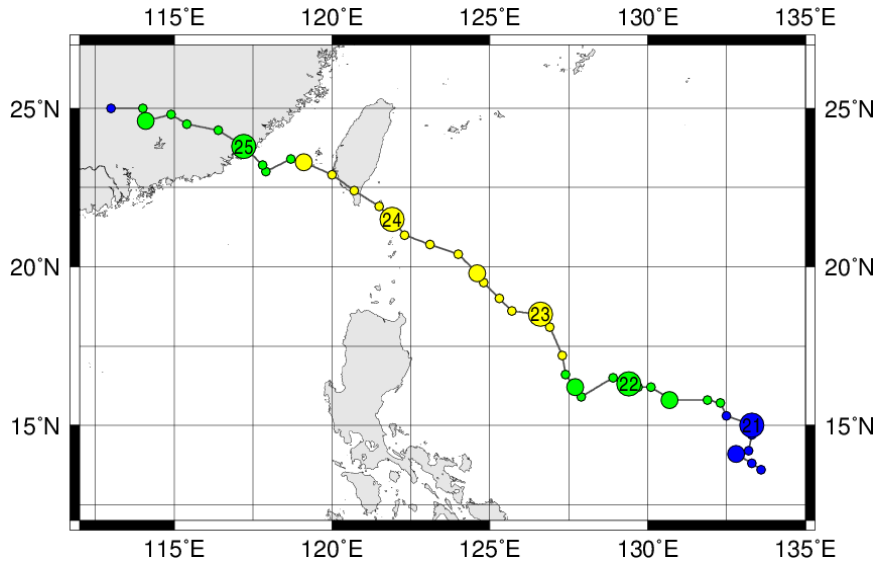


圖 5.11 2019 年白鹿颱風路徑圖

(<http://agora.ex.nii.ac.jp/digitaltyphoon/summary/wnp/1/201911.html.en>)

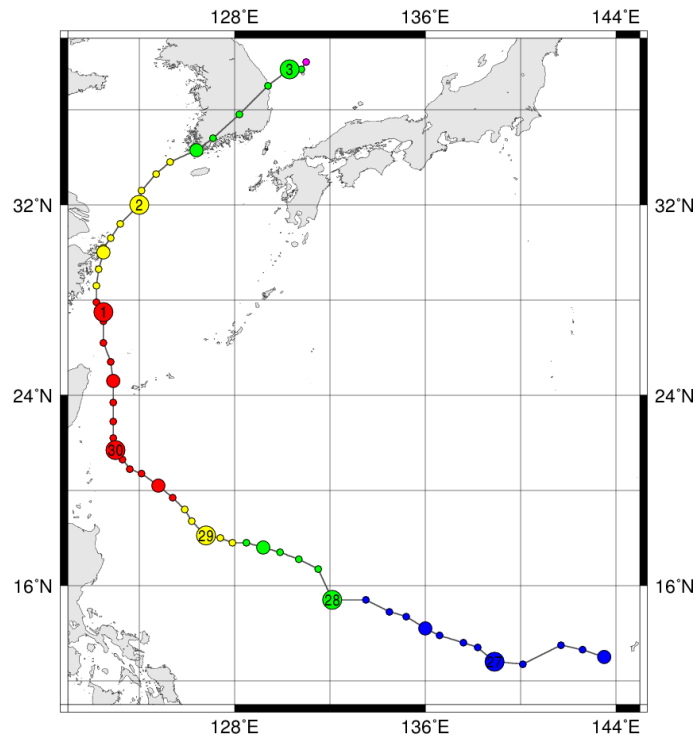


圖 5.12 2019 年米塔颱風路徑圖

(<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/1/201918.html.en>)

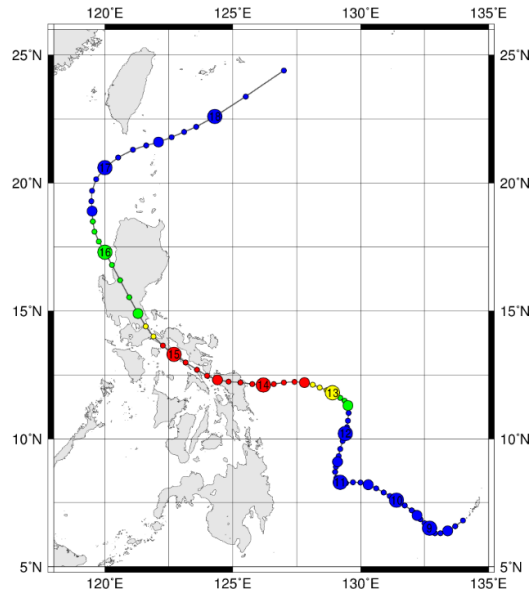


圖 5.13 2020 年黃蜂颱風路徑圖

(<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/1/202001.html.en>)

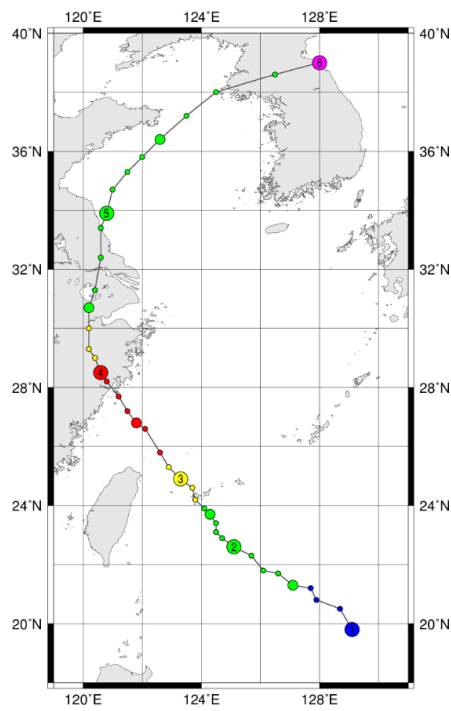


圖 5.14 2020 年哈格比颱風路徑圖

(<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/1/202004.html.en>)

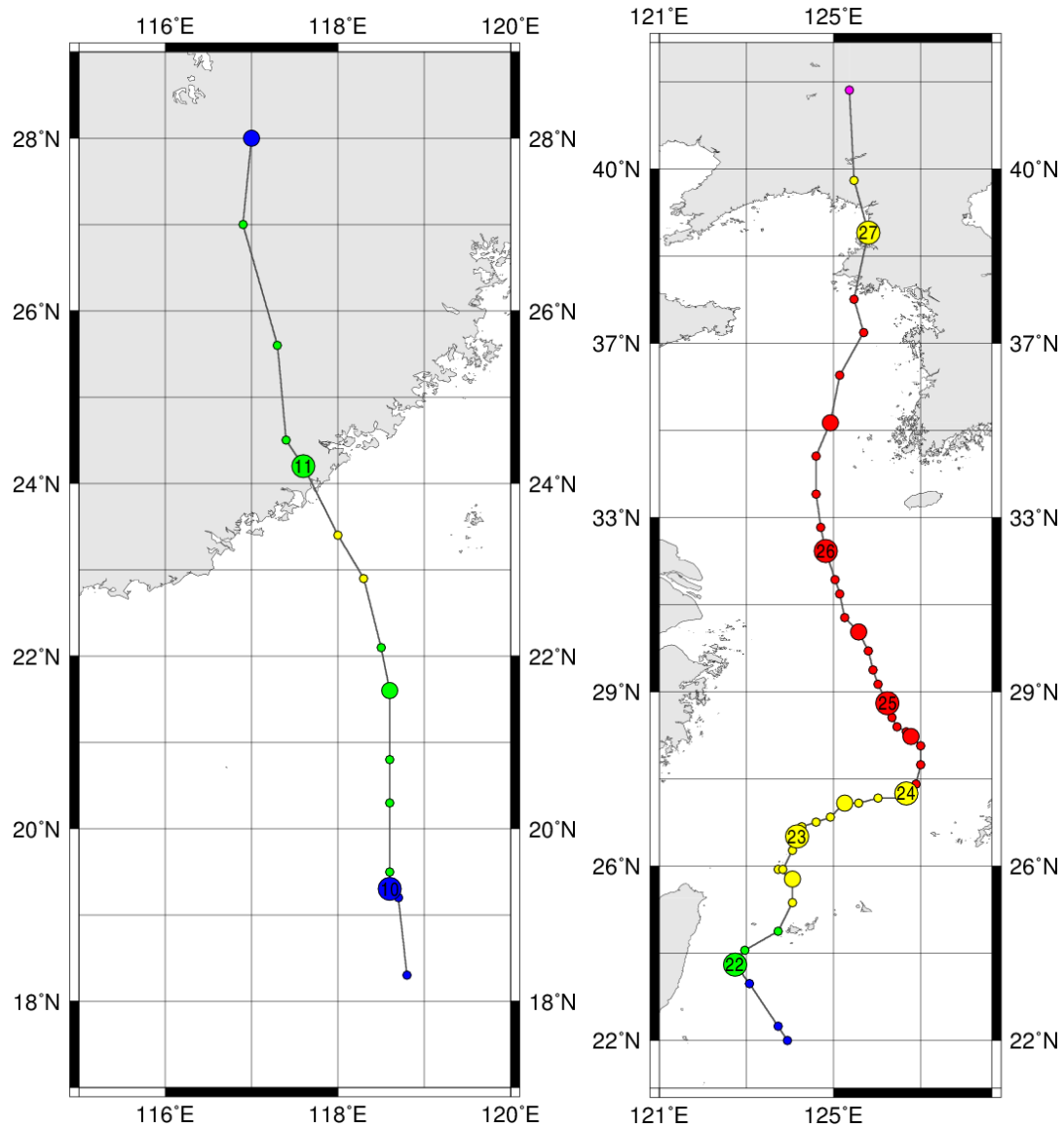


圖 5.15 2020 年米克拉(左)及巴威(右)颱風路徑圖

(<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/1/202006.html.en>)

(<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/1/202008.html.en>)

本研究對 7 個颱風期間的臺東示性波高預報值作同化修正，其結果如圖 5.16 到 5.22。另外將每個颱風期間以及整個資料期間的預報值與觀測值的 RMSE、預報修正值與觀測值的 RMSE 以及 RMSE 修正率列於表 5-2。RMSE 修正率如下式：

$$\text{RMSE 修正率} = \frac{\text{RMSE}_{\text{預報與觀測}} - \text{RMSE}_{\text{預報修正與觀測}}}{\text{RMSE}_{\text{預報與觀測}}} \quad (5.11)$$

由表 5-2 可知在 13 個月的資料期間，對預報作同化修正的結果能使 RMSE 小幅下修 2.6%。而在 7 個颱風之中，雖然白鹿與米塔颱風各出現-3.6%與-7.2%的負修正率，但利奇馬、黃蜂、哈格比、米克拉以及巴威等 5 個颱風的 RMSE 各有 5.8 到 23.8%的修正率，表示對示性波高的預報作同化修正仍可達到部分的改善。

表 5-2 每個颱風期間以及全部資料期間的 RMSE 與其修正率

時間	預報與觀測的 RMSE	預報修正與觀測的 RMSE	RMSE 修正率 (%)	備註
2019/8/3 ~ 2020/8/31	0.386	0.376	2.6	全部資料期間
2019 年 8/6 ~ 8/11	0.597	0.455	23.8	利奇馬颱風
2019 年 8/23 ~ 8/26	1.248	1.294	-3.6	白鹿颱風
2019 年 9/29 ~ 10/1	0.812	0.87	-7.2	米塔颱風
2020 年 5/15 - 5/18	0.282	0.231	18	黃蜂颱風
2020 年 8/2 - 8/4	0.49	0.449	8.3	哈格比颱風
2020 年 8/10 - 8/11	0.39	0.367	5.8	米克拉颱風
2020 年 8/21 - 8/23	0.342	0.313	8.6	巴威颱風

由(5.10)式可知當蘭嶼或鵝鑾鼻的觀測值高於預報值時，會讓臺東同化值增加，亦即使臺東預報值上修。在此情況下，若臺東觀測值低於預報值，由於上修的關係，反而讓同化值與觀測值的差距加大(RMSE 增加)。此情形可從圖 5.18 的米塔颱風在 29 日 12 時到 30 日 12 時得知

跟觀測的差距比起來，同化值比預報值更大。針對此誤差加大的改善方法，除了未來持續改善颱風期間的模式本身準確度之外，增加更多附近的觀測站來加入同化計算亦有助於降低誤差。

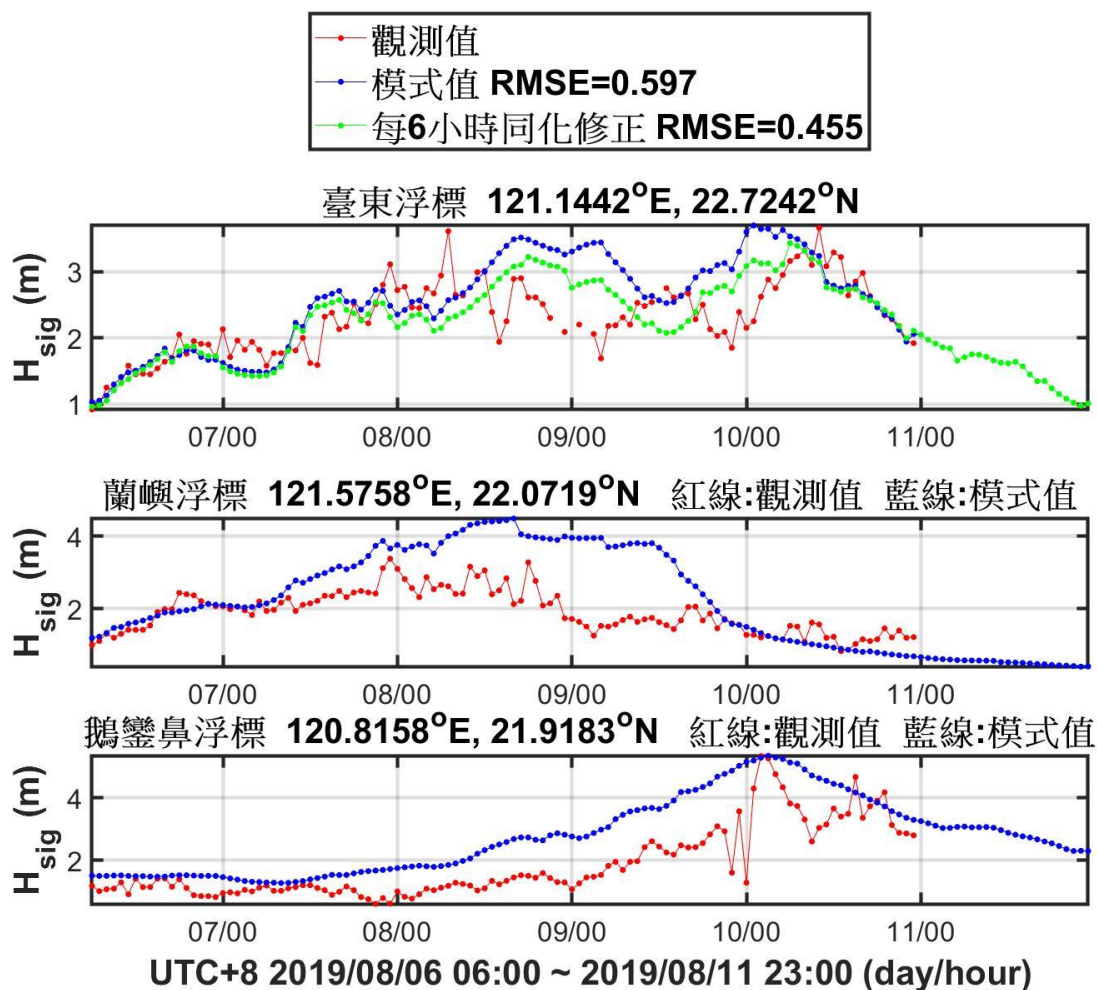


圖 5.16 利奇馬颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值

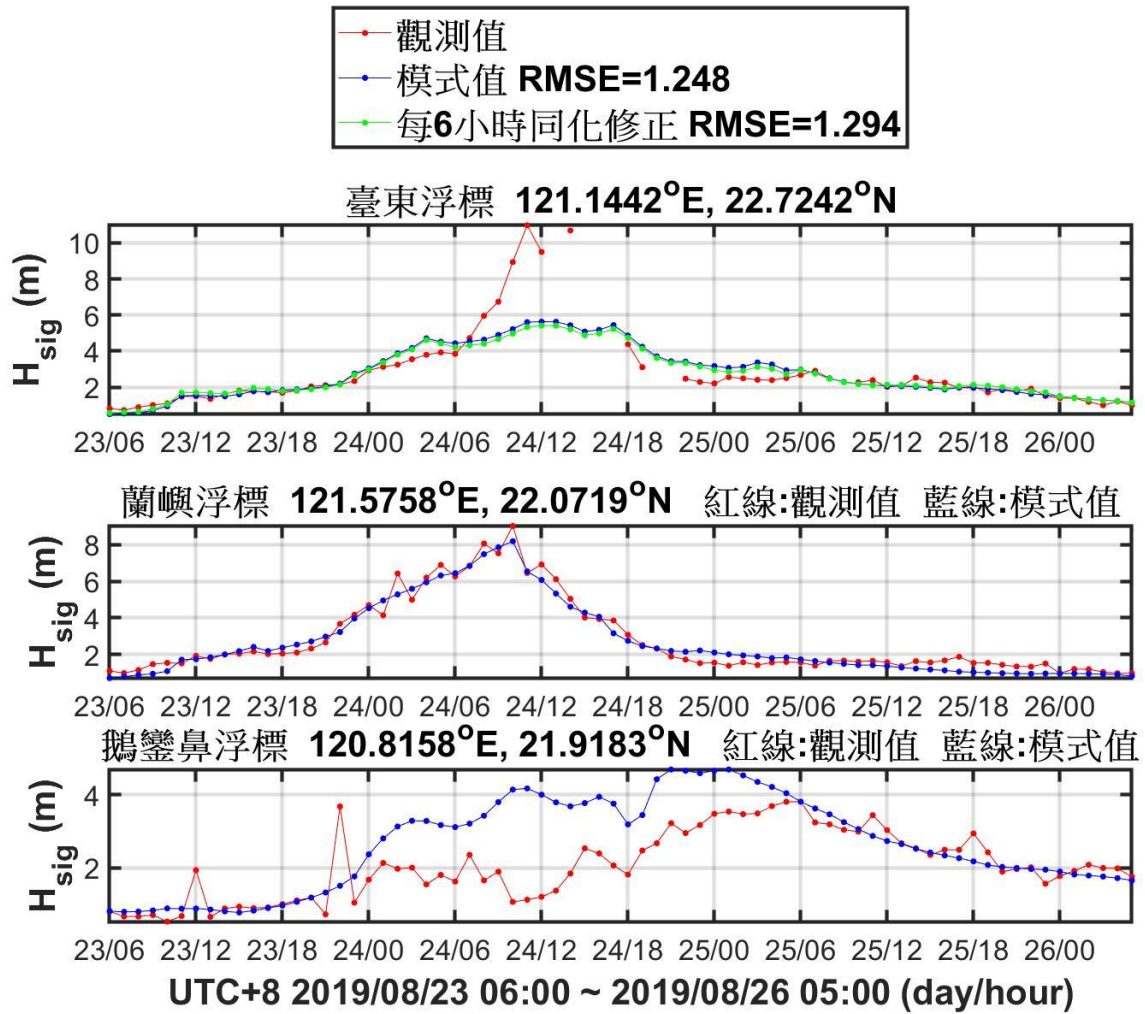


圖 5.17 白鹿颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值

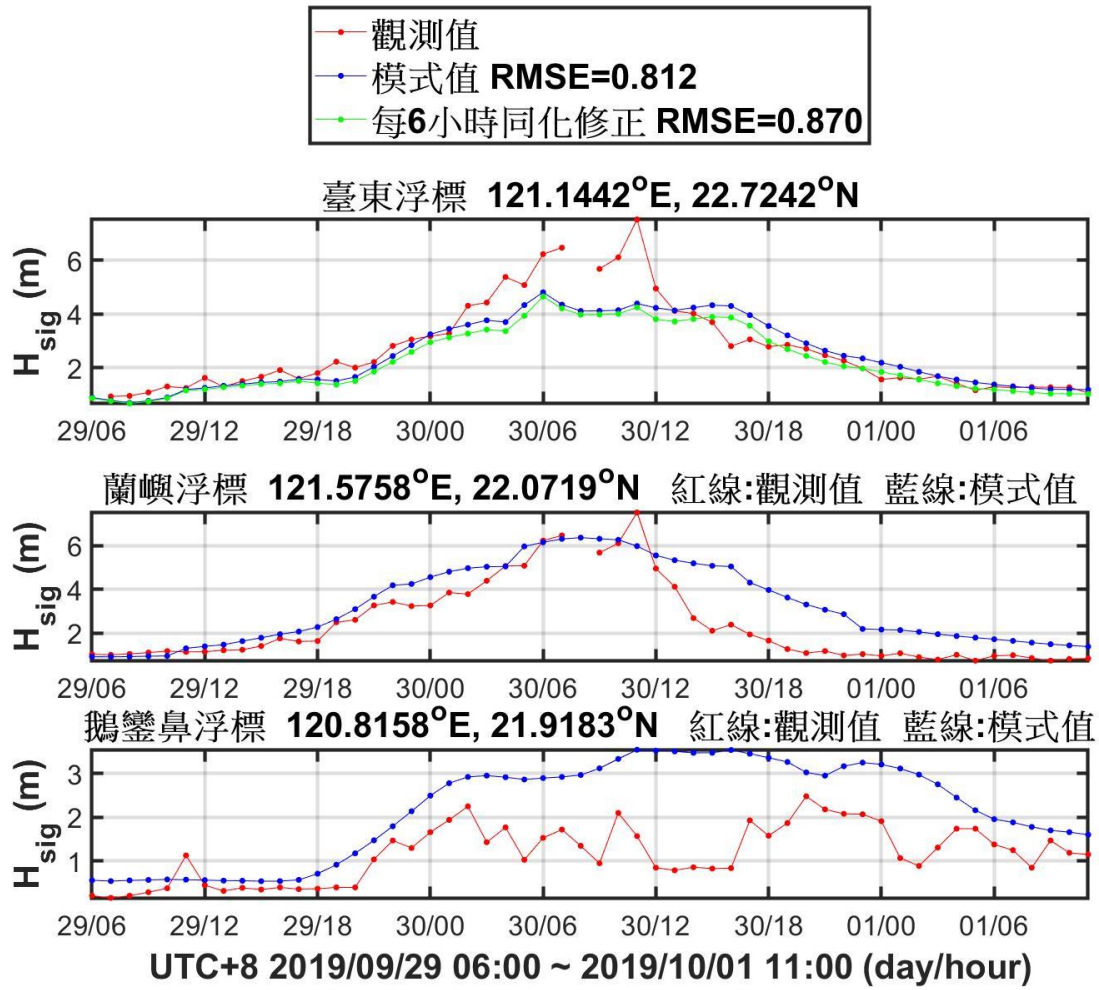


圖 5.18 米塔颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值

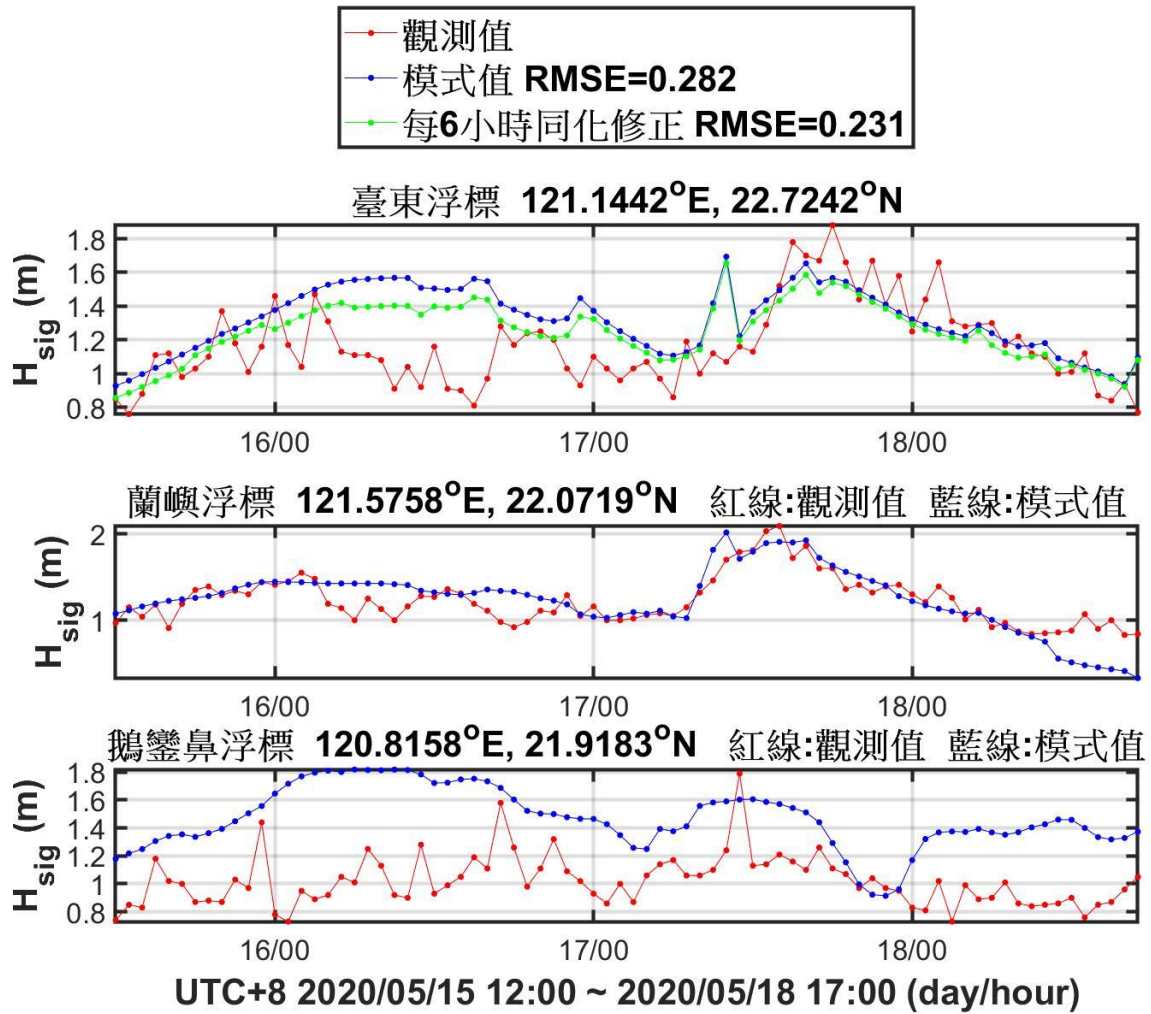


圖 5.19 黃蜂颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值

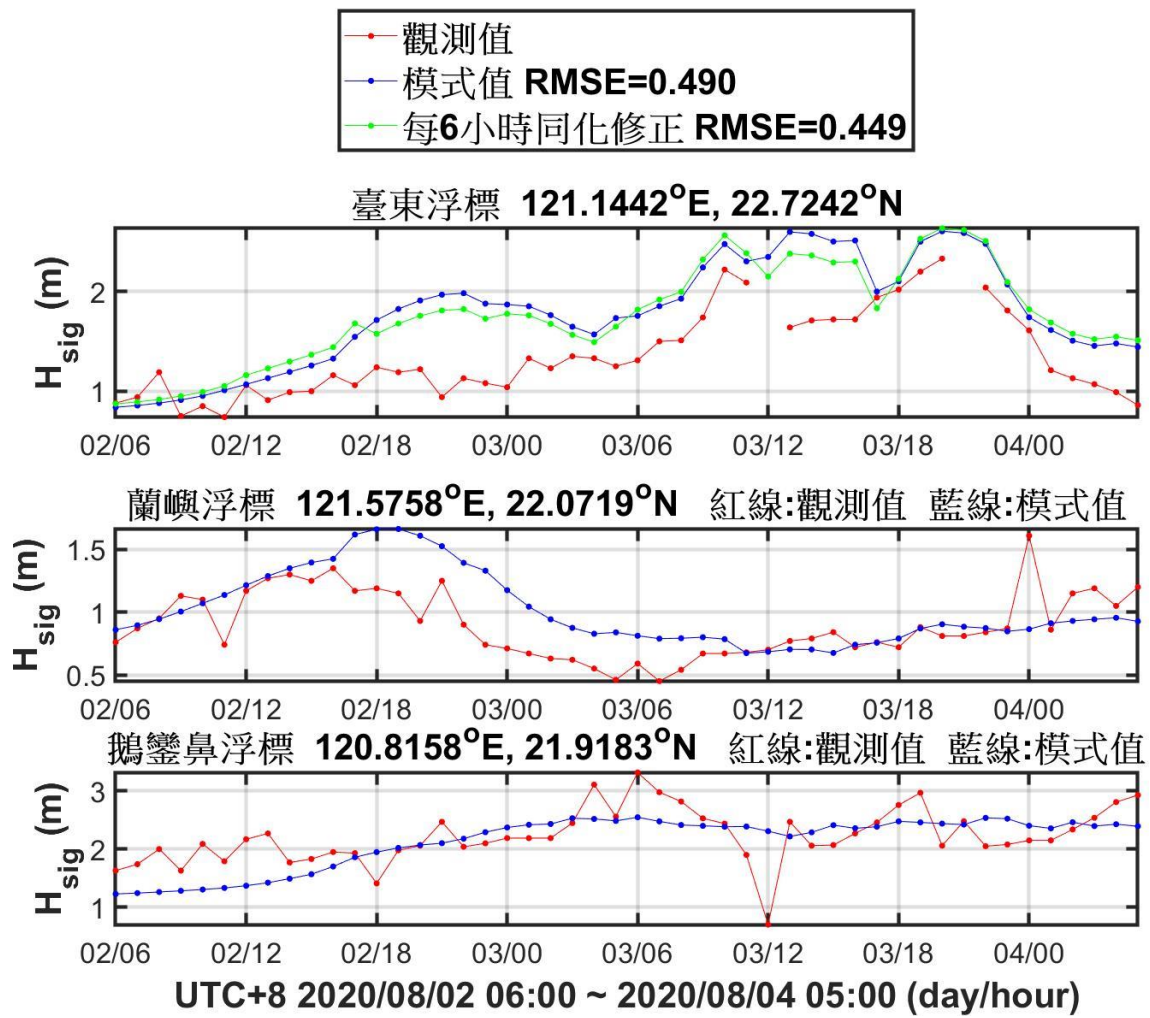


圖 5.20 哈格比颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值

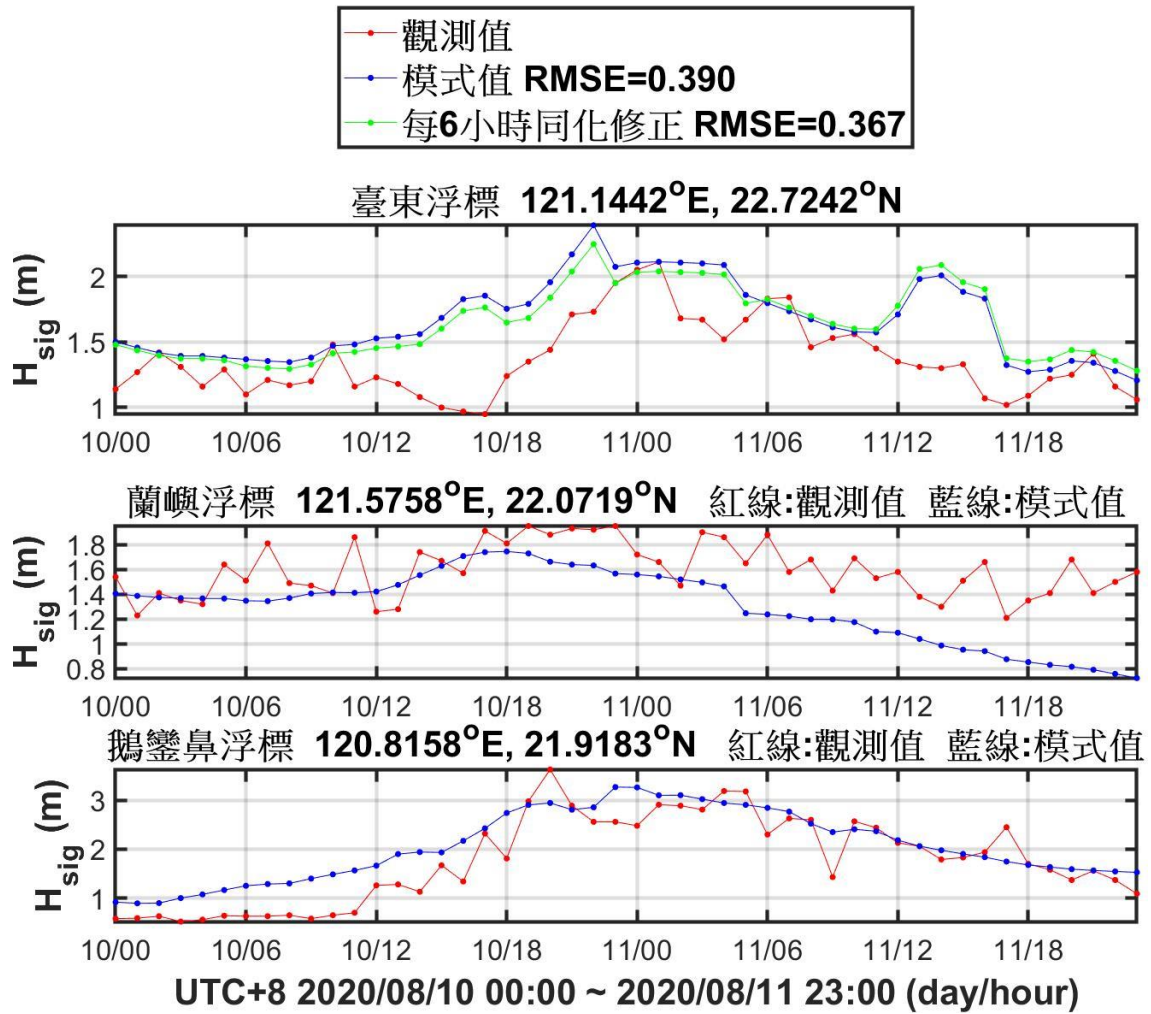


圖 5.21 米克拉颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值

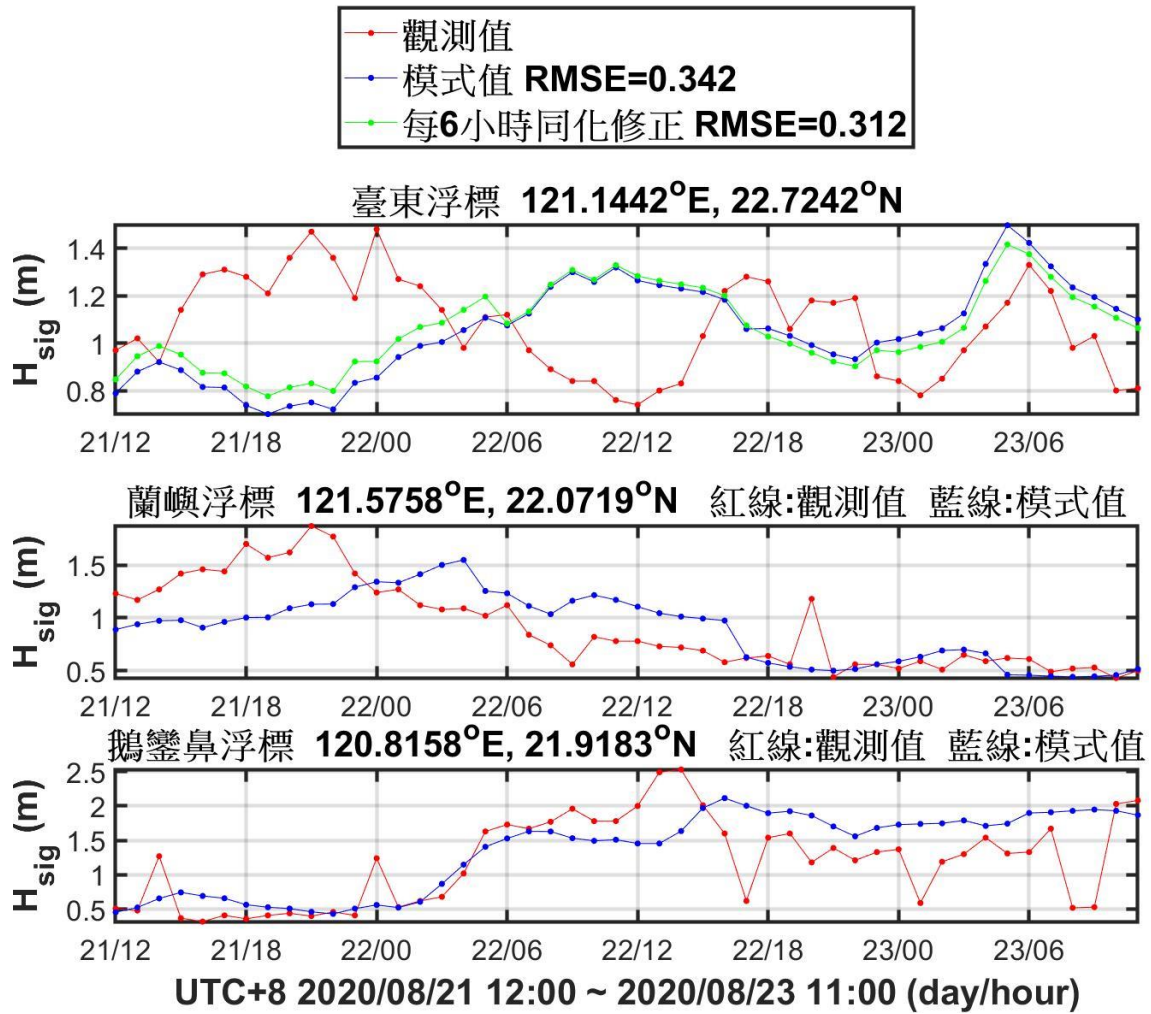


圖 5.22 巴威颱風期間浮標波高觀測、預報、觀測及預報修正值

5.4 南興站的資料同化與預報修正

從臺東站例子可知，預報修正可些降低預報值與觀測值之間的部分誤差。故本文對臺東站附近的南興站進行同樣的預報修正處理。同樣使用的 2019 年 8 月 3 日到 2020 年 8 月 31 日的資料，除了原本氣象局的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等 3 個浮標的示性波高以及 SWAN 模式在這三個浮標位置的示性波高外，SWAN 模式再增一個南興外海的點位(圖 5.5)。

以當時段臺東、蘭嶼、鵝鑾鼻三站的觀測值和預報值對南興站作即時同化來修正該時段的預報值，再對南興站後續幾小時的預報值作預報修正，其細部流程參照 5.2 節。5.2 節的流程 2 利用臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等 3 個站修正南興站，故可將第(7)式改寫如下：

$$\begin{bmatrix} P_{11} + R_1 & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} + R_2 & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} + R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{21} \\ W_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{21} \\ P_{31} \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

在此假設實測值與起始猜值有相同的均方誤差，即 R_1 、 R_2 、 R_3 的值皆為 1。而 P_{11} 、 P_{21} 和 P_{31} 各為臺東站、蘭嶼站和鵝鑾鼻站的空間函數。校正長度 L_{max} 選擇和臺東站例子相同，其值為 80km。臺東站、蘭嶼站和鵝鑾鼻站的權重 W_{11} 、 W_{21} 和 W_{31} 可由第(5.12)式計算而得，其值各為 0.207、0.118 和 0.232。由(5.1)式可知示性波高在南興外海的同化計算如下式：

$$H_{南興}^A = H_{南興}^P + 0.207 \left(H_{臺東}^O - H_{臺東}^P \right) + 0.118 \left(H_{蘭嶼}^O - H_{蘭嶼}^P \right) + 0.232 \left(H_{鵝鑾鼻}^O - H_{鵝鑾鼻}^P \right) \quad (5.13)$$

$H_{南興}^A$ ：南興示性波高同化值, $H_{南興}^P$ ：南興示性波高預報值

$H_{臺東}^O$ ：蘭嶼示性波高觀測值, $H_{臺東}^P$ ：蘭嶼示性波高預報值

$H_{蘭嶼}^O$ ：蘭嶼示性波高觀測值, $H_{蘭嶼}^P$ ：蘭嶼示性波高預報值

$H_{\text{鵝鑾鼻}}^O$: 鵝鑾鼻示性波高觀測值, $H_{\text{鵝鑾鼻}}^P$: 鵝鑾鼻示性波高預報值

南興站的單日預報以 2020 年 8 月 1 日為例，修正前的預報值與觀測值 RMSE 為 0.11。對當天 0 時、6 時、12 時與 18 時作每 6 小時 1 次的預報修正如圖 2.23。每六小時的預報修正將當天 0 到 18 時區間以及 18 到 24 時區間的 SWAN 預報值各約上修 0.1m 和 0.01m。而圖 5.24 為 2019 年 8 月 3 日到 2020 年 8 月 31 日的預報值和每 6 小時的預報修正。

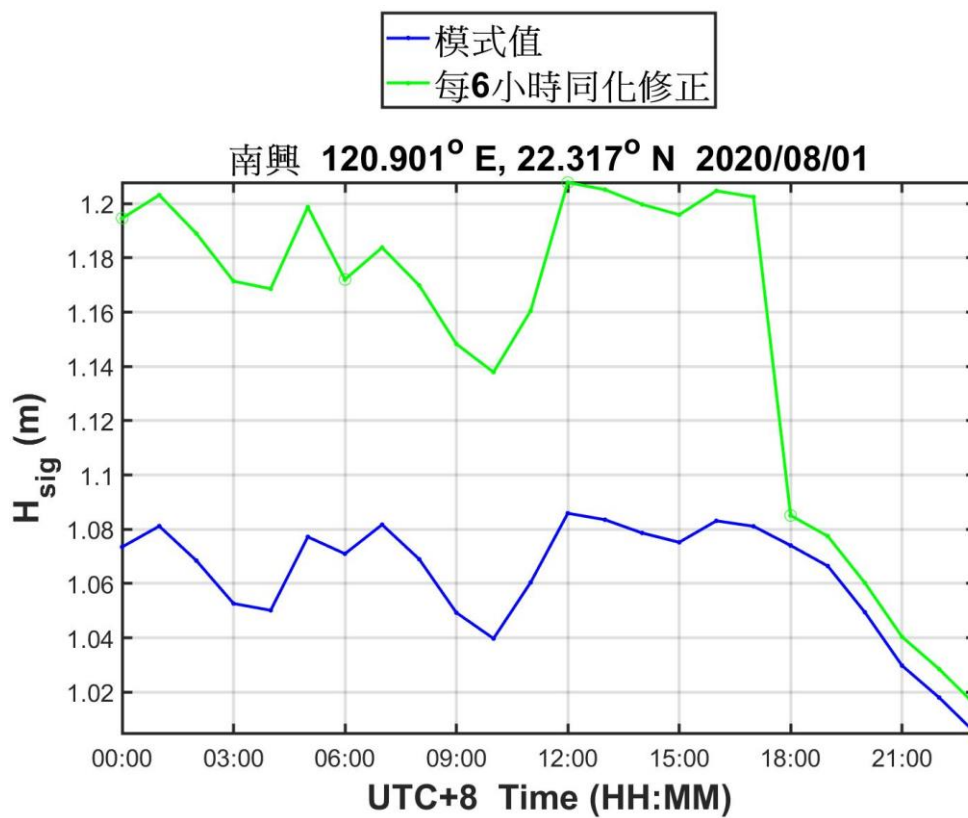


圖 5.23 南興站單日示性波高的模式預報值以及預報修正

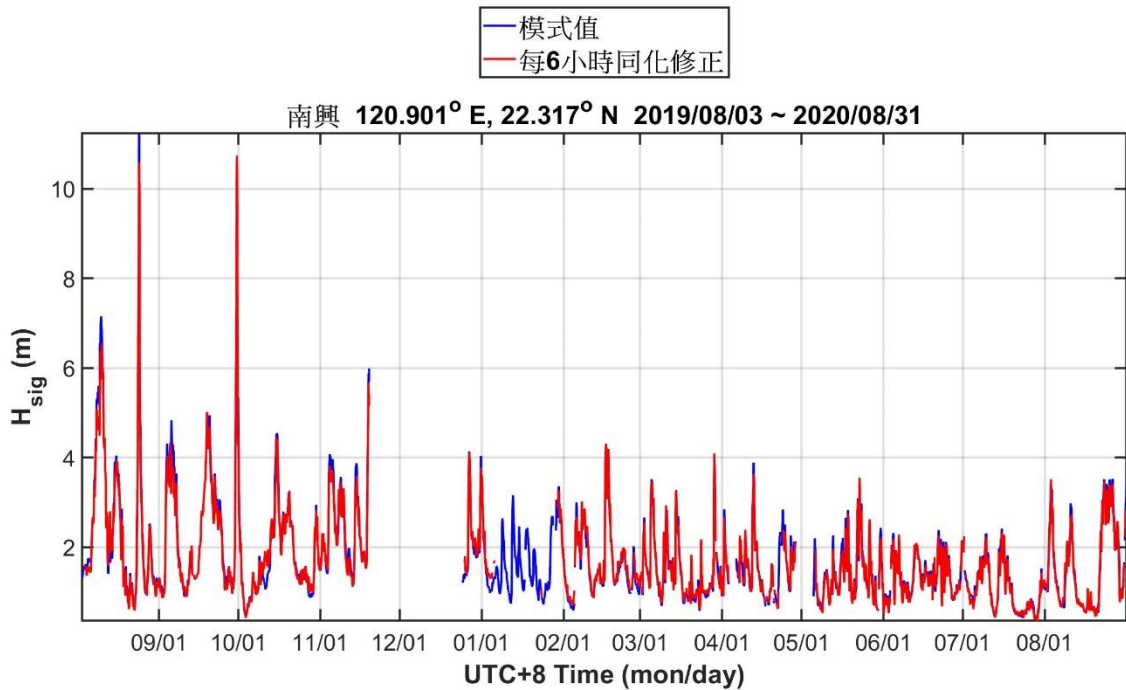


圖 5.24 南興 2019-2020 年示性波高的預報以及預報修正

當同樣的修正也應用到 2019 年利奇馬、白鹿、米塔等三個颱風以及 2020 年的黃蜂、哈格比、米克拉和巴威等 4 個颱風，依序如圖 5.25 到 5.31。由圖可知在利奇馬、米塔、黃蜂和巴威颱風影響期間，每六小時的同化修正將大部分的模式預報值進行下修，例如利奇馬颱風在 10 日 0 時有最大下修值約 1.4m(圖 5.25)。而白鹿、哈格比與米克拉颱風則是模式值各有被上和下修的時間區段，例如圖 5.30 的米克拉颱風在 22 日 12 時以前模式值為上修的情況，在此之後則是下修的趨勢。

雖然南興段外海尚無觀測站可直接評估模式的示性波高準確度以及同化修正的效果。在 5.3 節透過鄰近的臺東站觀測值與模式值所作的同化修正與觀測值的 RMSE 比較，顯示此同化方式在 13 個月的資料期間對預報值有小幅的修正，且在 7 個的颱風期間有 5 個颱風有獲得不錯的修正(表 5-2)。藉由臺東站結果，應可在颱風期間對南興段外海的示性波高預報值作出較佳的修正。由於臺東海岸公路浪襲預警系統採用與 4.6 節花蓮海岸公路浪襲預警系統相同的方式，需要預報的示性波高值代入情境資料庫作內插，藉由對南興外海示性波高預報值的同化

修正，可進一步提高警戒燈號的準確性。

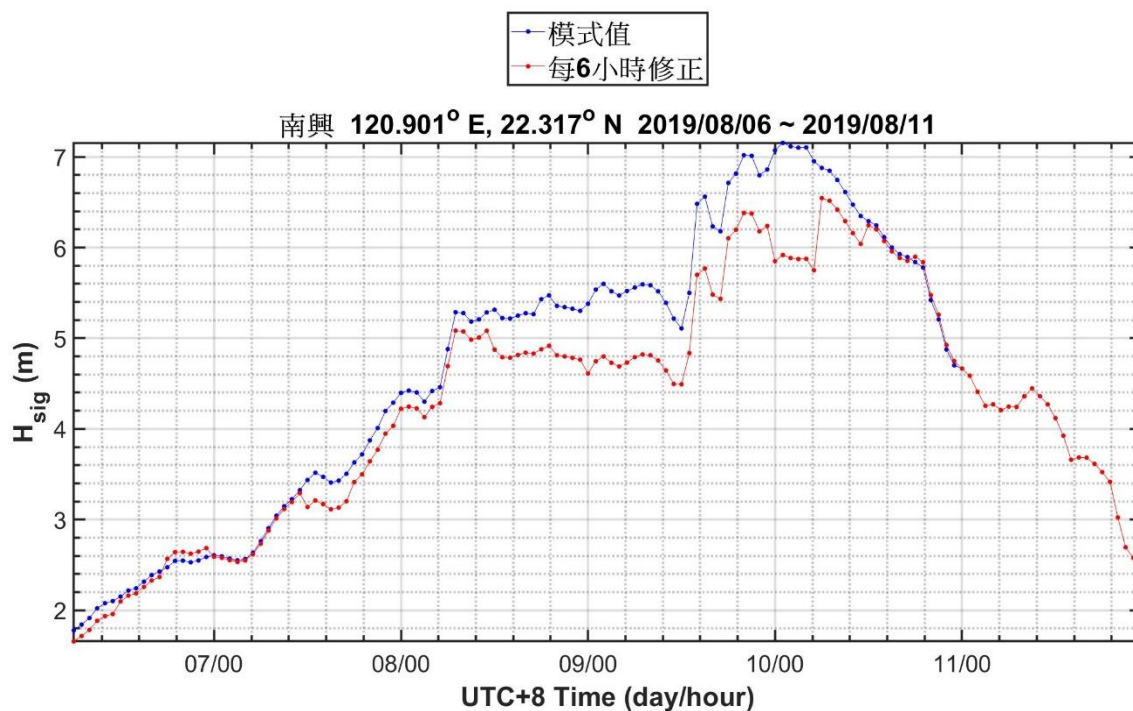


圖 5.25 利奇馬颱風期間南興站示性波高預報和預報修正

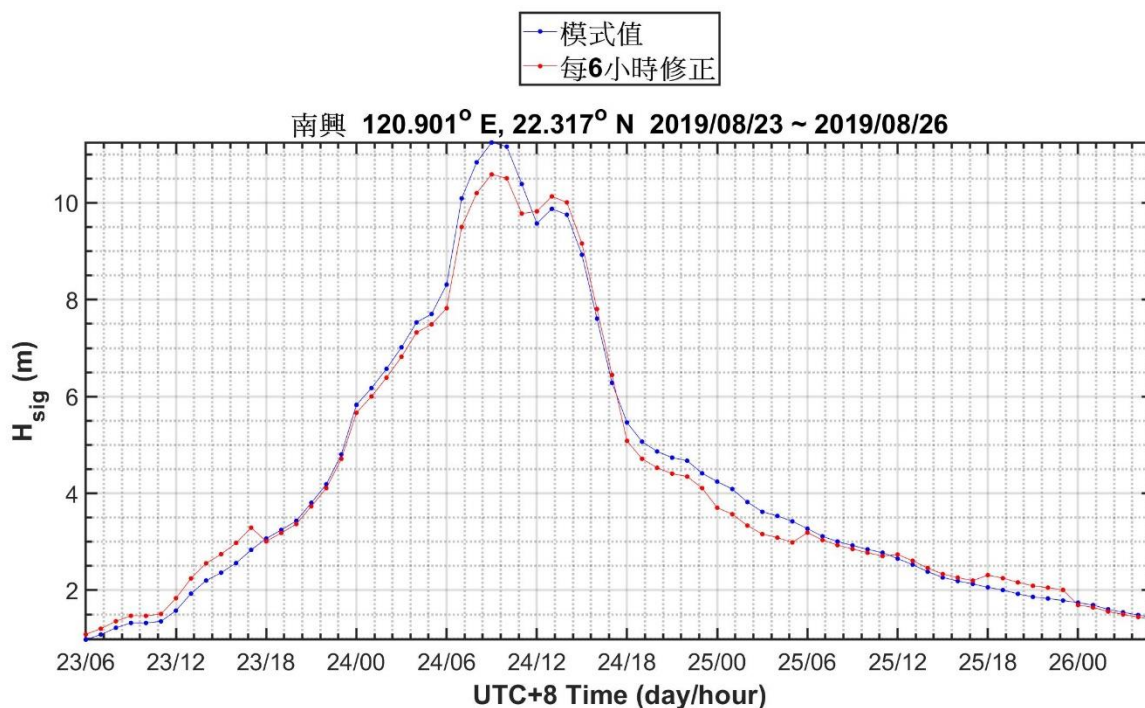


圖 5.26 白鹿颱風期間南興站示性波高預報和預報修正

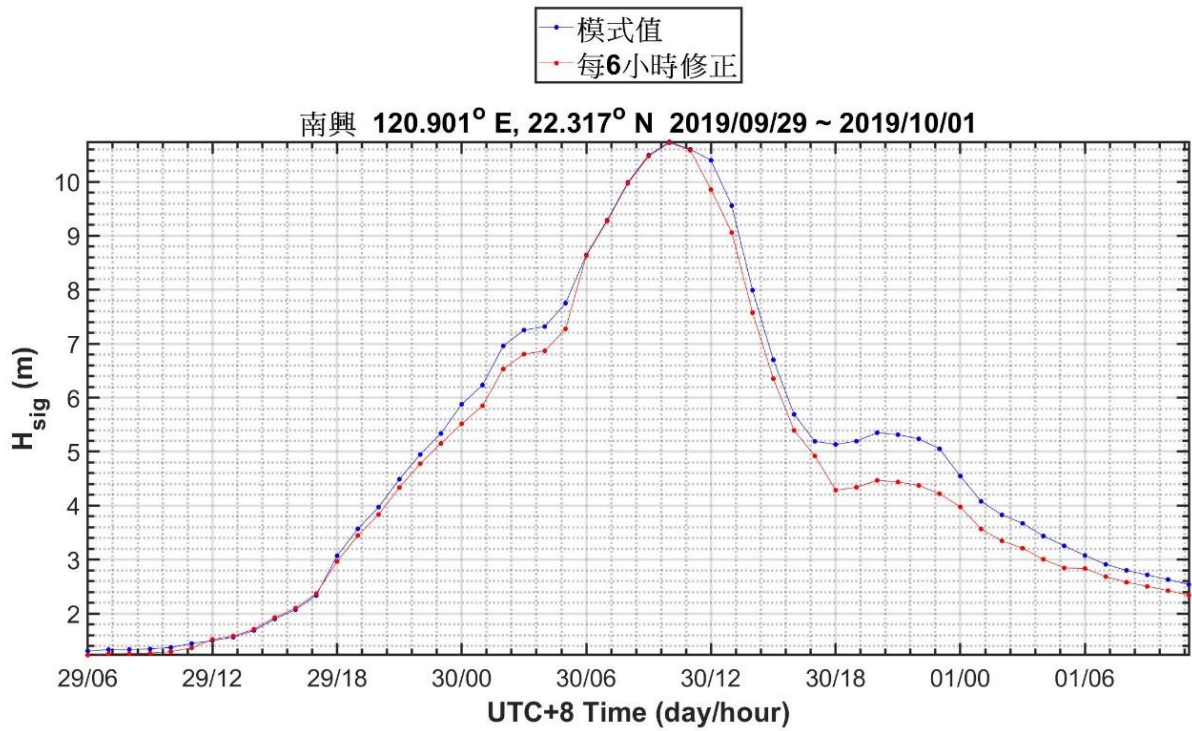


圖 5.27 米塔颱風期間南興站示性波高預報和預報修正

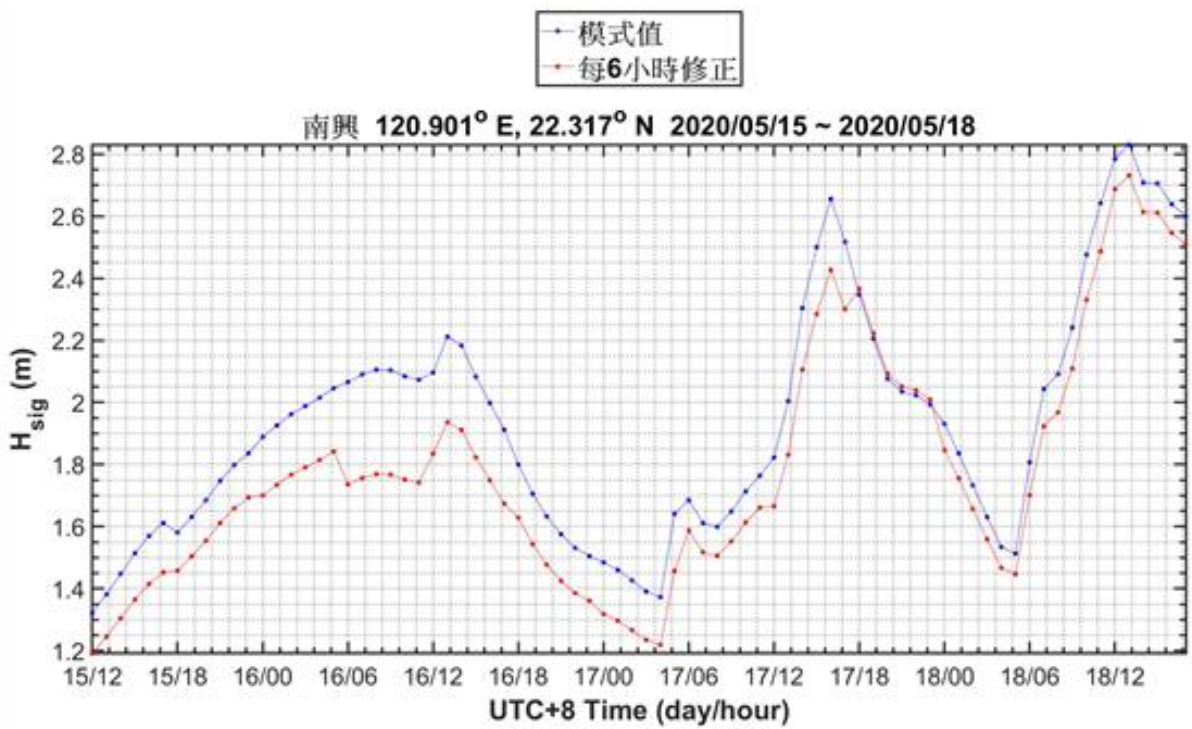


圖 5.28 黃蜂颱風期間南興站示性波高預報和預報修正

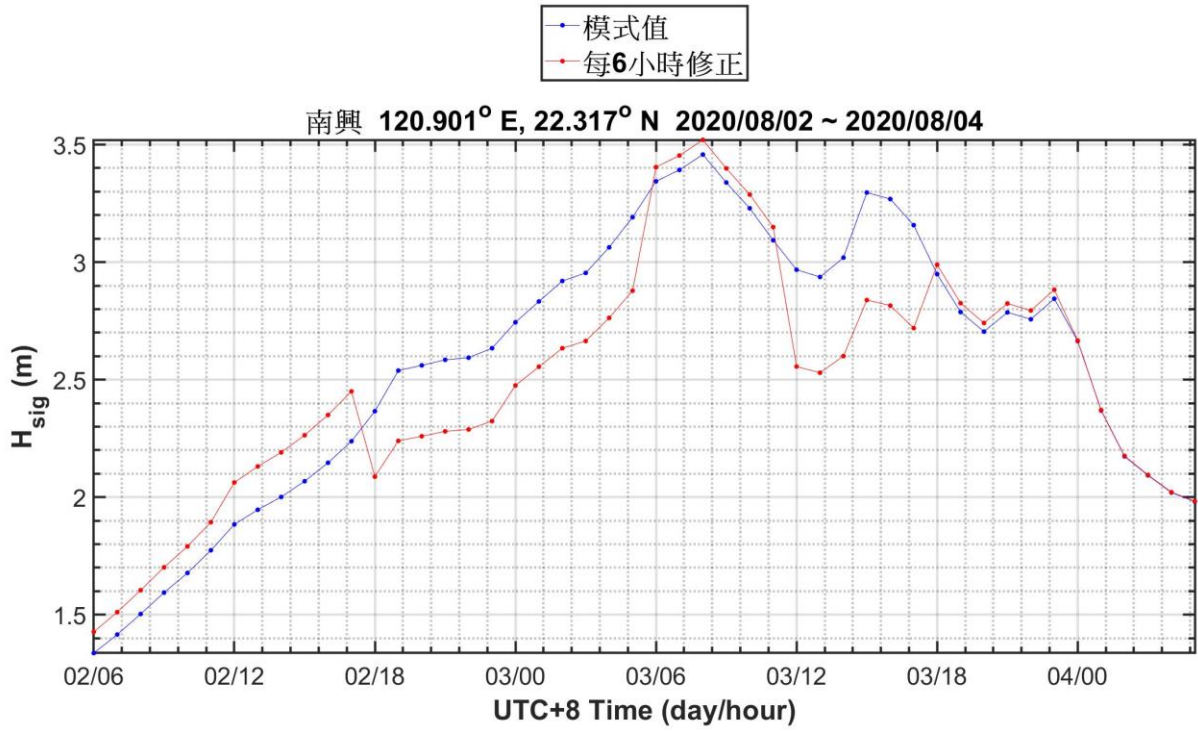


圖 5.29 哈格比颱風期間南興站示性波高預報和預報修正

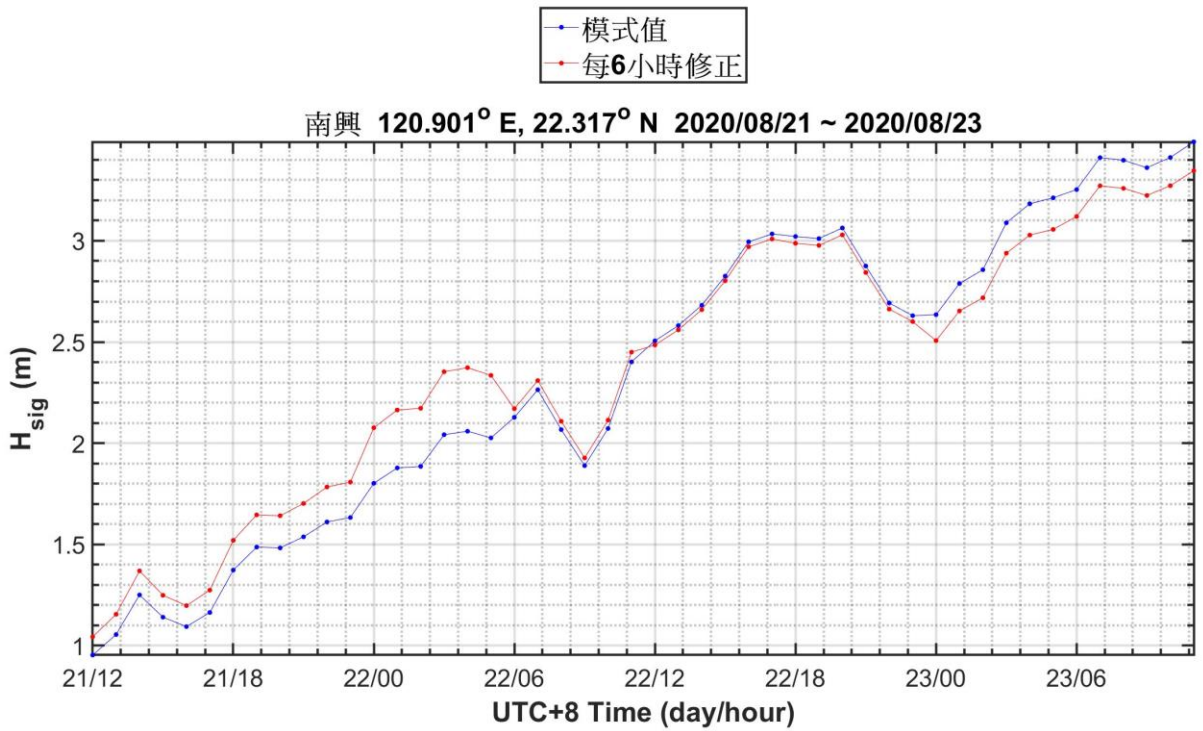


圖 5.30 米克拉颱風期間南興站示性波高預報和預報修正

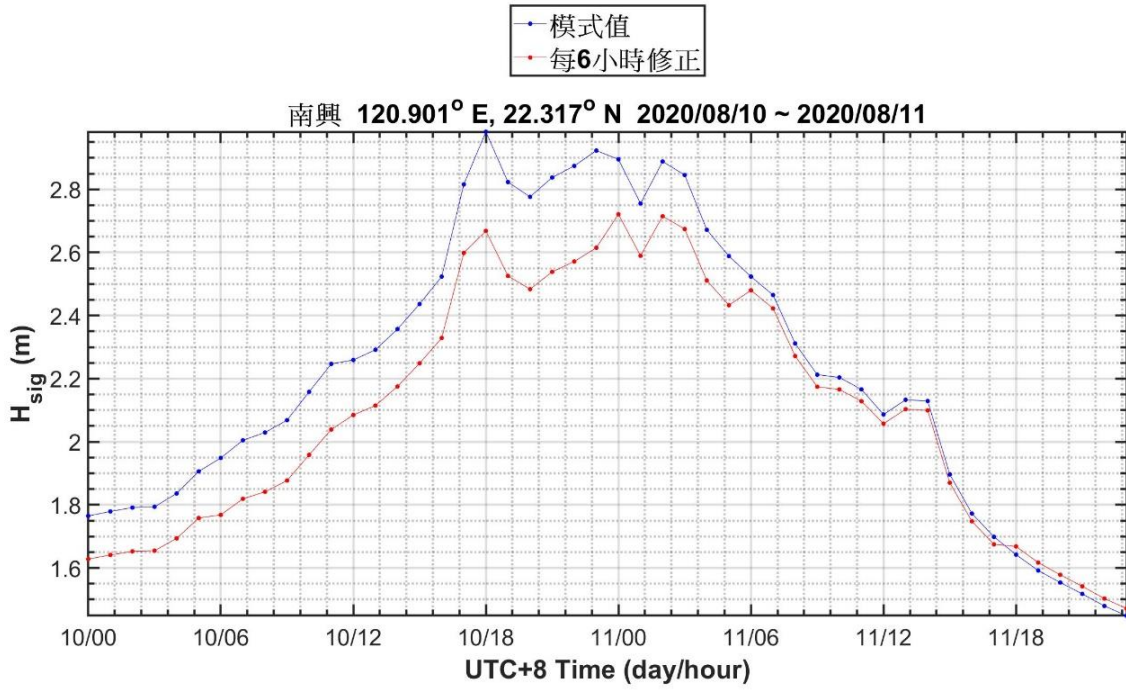


圖 5.31 巴威颱風期間南興站示性波高預報和每 6 小時的預報修正

第六章 結論與建議

本研究以數值模擬技術為主軸，蒐集了近幾年台 11 線花蓮海岸公路易致災區段的相關事件，並從台 11 線挑選出 8 個離海岸線較近的路段來利用 XBeach 波浪模式進行類颱風期間的海況模擬，藉以對台 11 線所受到的浪襲影響作初步評估。由於新聞事件和 XBeach 模擬皆顯示台 11 線人定勝天段較易受到浪襲影響，故利用 COBRAS 模式針對 61K+300 到 62K+220 之間的 7 個道路斷面進行不同海況條件的浪襲模擬。透過模擬可了解在何種海況條件下可能遭受的浪襲威脅，並以此建立異常浪易致災之區段的長浪溯上數值模式資料庫。最後由資料庫發展海岸公路浪襲預警系統，其結果透過港灣技術研究中心的網站建立花蓮海岸公路通行安全預警之視窗，可提供公路單位作為道路通行安全的評估和道路暫時封閉的參考。另外利用台 9 線南興段附近在 2019 到 2020 年約 13 個月的波浪觀測資料，對南興外海的示性波高預報進行同化修正，以提高台東海岸公路浪襲系統警戒燈號的準確度。

6.1 結論與成果

- (1) 本研究結合了文字探勘的技術蒐集異常波浪及海岸公路的新聞資料，以關鍵字「瘋狗浪+花蓮」、「瘋狗浪+台 11 線」、「浪襲+花蓮」、「浪襲+台 11 線」、「颱風+壽豐+豐濱+吉安」作為檢索並分析找出易致災之路段，其結果為花蓮海岸公路(台 11 線)人定勝天段。該路段因離海岸較近，容易受颱風海浪影響，且常為公路總局公告之浪襲路段。另外使用 XBeach 波浪模式從台 11 線公路中選擇 8 個離海岸較近的區段進行類颱風期間的海況模擬。模擬結果亦顯示在八個區域中，在人定勝天的道路區段最易受到海浪侵襲。
- (2) 本研究在人定勝天段之 7 個道路斷面總共進行 2076 個浪襲道路的情境模擬。就道路溢淹的情況而言，結果大致顯示當入射波高越高，入射週期越大，初始水位值越高的情境越容易產生溢淹。另外各站的路面高程越低、離岸越近越容易產生溢淹。除了 62K+220 站不管在何種潮位下，皆容易發生溢淹之外，當潮位在 1m 以下時，

61k+300 站較易出現溢淹，而潮位在 2m 以上時，則是 61K+700 站容易發生溢淹。另外利用 2018 年 3 月 3 日到 2020 年 9 月 8 日的潮位和波浪模式預報值搭配情境資料庫的結果顯示該期間最容易發生溢淹的地點為 62K+220 和 61k+300 兩站(表 4.15)。根據表 4.1 到表 4.14 或花蓮海岸公路通行安全預警之視窗，可提供交通部公路總局及相關單位作為道路通行安全的評估和道路暫時封閉的參考。

- (3) 本研究利用 2019 到 2020 年約 13 個月在台東、蘭嶼、鵝鑾鼻三站的示性波高觀測值和預報值來對台東站的示性波高預報作修正。結果顯示可將資料期間的台東觀測值與預報值的 RMSE 小幅下降 2.6%。由表 5.2 可知雖然白鹿與米塔颱風期間的 RMSE 修正率各為 -3.6%與-7.2%，但利奇馬、黃蜂、哈格比、米克拉以及巴威等 5 個颱風的 RMSE 修正率各有 5.8 到 23.8%，代表示性波高預報的同化修正仍可達到部分的改善。故將同樣的方法套用在鄰近的南興段提高台東海岸公路浪襲預警系統在颱風期間的預報準確度。

6.2 建議

- (1) 由於在海岸公路外海架設與維護波浪的觀測儀器需要耗費相當的人力物力，導致公路外海的波浪觀測值不容易取得。且相較於非颱風期間，在颱風期間的波浪觀測資料品質容易不佳，故難以評估公路浪襲預警系統的警戒燈號準確度。相對於在公路外海裝設儀器所需的人力物力，可考慮颱風季節期間在易受浪襲的路段旁架設攝影機來監控是否有浪襲事件發生，例如潭美颱風期間 61+400K 的浪襲事件(圖 2.9)，藉以進一步驗證系統燈號預報的準確性。
- (2) 歐等人(2004)提到對他們的風浪模式作資料同化時，增加觀測站的數量能降低模式與觀測值的相對誤差，直到數量超過 7 站時，相對誤差達到穩定。由於南興站的預報值目前僅有附近的三個浮標觀測站可作同化。考慮臺東站的例子，米塔和白鹿颱風期間的預報值經過同化修正後，無法降低與觀測值之間的誤差(表 5.2)。如在未來有新的觀測站加入同化計算，將有助於改善同化的結果。
- (3) 第三章的 XBeach 模擬使用內政部十幾年前的 DEM 地形，可能造成

部分地區的模式結果與實際有所出入，如未來內政部有新的量測地形提供研究單位使用，對於近岸區域的相關模擬結果準確度會有所提升。

6.3 成果效益及應用情形

(1) 成果效益：

1. 完成花蓮海岸公路易致災路段之颱風波浪溯上與溢淹之數值模式。
2. 完成案例分析與評估花蓮海岸公路受颱風波浪致災之區段。
3. 完成花蓮海岸公路通行安全評估之波浪溯上資料庫。
4. 完成評估花蓮海岸公路易致災路段受颱風波浪侵襲時之溯上範圍。
5. 完成建立花蓮海岸公路易致災路段通行安全浪襲預警系統，提供預警資訊，作為颱風期間浪襲封路作業之輔助參考。

(2) 應用情形：

1. 建立花蓮海岸公路因颱風波浪之通行安全評估的技術及資料庫。
2. 提供浪襲預警資訊，可改善僅仰賴現場人員即時觀測之封路作業，讓人員有充分時間可做應變及調度，預先掌握對花蓮海岸公路易浪襲路段可能發生之風險及因應措施。
3. 以溯上與溢淹圖，供防災應變之用，便於規劃花蓮人定勝天路段海岸公路之減災措施及提供本所後續相關研究之依據。
4. 可提供公路總局第四區養護工程處，作為颱風期間浪襲封路之決策輔助工具。
5. 已於交通部公路總局第四區養護工程處花蓮工務段辦理教育訓練，使其熟悉操作、查詢花蓮海岸公路浪襲預警系統，提供公務段人員於颱風影響期間掌握易致災路段通行安全之資訊。

參考文獻

1. 自由時報網站，人定不勝天？！花蓮「人定勝天碑」不見了。
<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1405399>
2. 自由時報網站，梅姬大浪拍擊台 11 線！漂流木、礫石飛上岸。
<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1838616>
3. 中央氣象局 2020 年潮汐表(2019)。
4. 楊博堯(2018)，台灣環島實測暴潮分析，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
5. 邱永芳、李兆芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、謝佳紘、江朕榮(2018)，港灣海象模擬技術及預警系統研發，交通部運輸研究所精簡報告。
6. 陳志弘、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝(2017)，臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(4/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。
7. 陳冠宇、邱永芳、蘇青和、李俊穎、陳鈞彥(2017)，海岸公路異常波浪特性及防災應用技術之研究，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。
8. 陳冠宇、劉俊志、張義偉、李俊穎(2016)，瘋狗浪溯上的數值模擬與海岸公路或遊憩區之應用，海洋及水下技術季刊，第 26 卷第 4 期，第 38-47 頁。
9. 蔡政翰、蔡仁智、董東璟 (2016) 危險的海岸波浪—瘋狗浪，科學月刊，第 564 期。
10. 陳冠宇、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎(2015)，應用地理資訊系統建置臺灣主要商港溢淹災害潛勢圖之研究 (1/2)，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。

11. 陳冠宇、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎(2014)，海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究(2/2)，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。
12. 陳冠宇、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎(2013)，海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究(1/2)，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。
13. 歐善惠、許泰文、廖建明、陳亞嵐、徐立昌(2004)，近岸波浪推算資料同化之研究，海洋工程研討會，第二十六屆海洋工程研討會論文集，第 206-213 頁。
14. 許泰文(2003)，近岸水動力學。
15. Chen, Guan-Yu, Liu, Chin-Chu, and Yao, Cheng-Chung (2015) A Forecast System for Offshore Water Surface Elevation With Inundation Map Integrated for Tsunami Early Warning, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 40(1), pp.37-47, doi: 10.1109/JOE. 2013.2295948.
16. COBRAS user's manual version 1.01(2002).
17. Elsayed, S.M. and Oumeraci, H (2016). Combined modelling of coastal barrier breaching and induced flood propagation using XBeach. Hydrology, 3, p.32
18. Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. AI magazine, 17(3), pp.37-54.
19. Fenton, J.D. and Mckee W.D. "On calculating the lengths of water waves." Coastal Engineering, Vol. 104, pp.499-513, 1990.
20. Gandin, L.S. (1963) Objective Analysis of Meteorological Fields, Gidrometeoizdat, Leningrd, p.242.
21. Hewageegana, V.H. (2017) Wave Transformation Through Mangrove Coasts: A Model Study with XBeach-Surfbeat, Delft University of Technology, Coastal and Marine Engineering and Management.

22. Hasselmann K., T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, K. Enke, J.A. Ewing, H. Gienapp, D.E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Mller, D.J. Olbers, K. Richter, W. Sell, and H. Walden (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP) Ergnzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe, A(8) (Nr. 12), p.95.
23. Kothe D. B., Mjolsness, R. C. and Torrey, M. D. (1991), RIPPLE: A Computer Program for Incompressible Flows with Free Surfaces, DOI: 10.13140/RG. 2.1.1397.5200, Report number: LA-12007-MS, Los Alamos National Laboratory.
24. Lam D. C. L. and Simpson R. B. (1976). Centered differencing and the box scheme for diffusion convection problems. *Journal of Computational Physics*, 22: pp.486–500.
25. Lin P. and P.L.-F. Liu (1998). A numerical study of breaking waves in the surf zone. *Journal of Fluid Mechanics*, 359, pp.239-264.
26. Lionello, P., H. Gü nther and P.A.E.M. Janssen. (1992) Assimilation of Altimeter Data in a Global Third Generation Wave Model, *J. Geophys. Res.*, 97, pp.14253-14474.
27. Liu, P.L.-F., P. Lin, K.A. Chang and T. Sakakiyama (1999). Numerical modeling of wave interaction with porous structures. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE 125 (6), pp.322-330.
28. Longuet-Higgins, M.S. Cartwright, D.E., Smith, N.D.(1963). Observations of the directional spectrum of sea waves using motions of a floating buoy. In: *Ocean Wave Spectra*. Prentice Hall, New York, pp. 111–136.
29. Marcel Zijlema, G. S. Stelling, and P. B. Smit (2011). SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly

- varied flows in coastal waters. *Coastal Engineering*, 58(10): .pp992–1012.
30. Patrick L. Barnard, Li H. Erikson, Amy C. Foxgrover, Juliette A. Finzi Hart, Patrick Limber, Andrea C. O’Neill, Maarten van Ormondt, Sean Vitousek, Nathan Wood, Maya K. Hayden & Jeanne M. Jones (2019), Dynamic flood modeling essential to assess the coastal impacts of climate change. *Scientific Reports* volume 9, Article number: 4309
 31. Rodi, W(1980). *Turbulence Model and Their Application in Hydraulics:a State of the Art Review*. International Association for Hydraulic Research, Delft, The Netherlands. 9021270021
 32. Ruessink B. G., J.R. Miles, Feddersen F., Guza R. T., and Steve Elgar (2001). Modeling the alongshore current on barred beaches. *Journal of Geophysical Research*, 106(22): pp.451–463.
 33. Salton, G. and Buckley, C. (1988) Term-weighting approaches in automatic text retrieval. *Information Processing & Management* 24 (5): pp.513–523.
 34. Stelling G. and Zijlema M. (2003). An accurate and efficient finite-difference algorithm for non-hydrostatic free-surface flow with application to wave propagation. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*,43(1): pp.1–23.
 35. Su, M.Y., Tsai, C.H., Lin, Y.C. and Tseng, H.M. (2002) Nonlinear dynamical mechanisms connecting ocean giant waves and wave groups, 21th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, ASME.
 36. XBeach Documentation Release v1.23.5527 (2018)

附錄一

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」

執行單位：國立中山大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、李兆芳委員		
1. 按照計畫工作項目配合本報告內容，剩餘工作項目可以繼續完成。	感謝委員意見。	同意辦理。
2. 異常波浪案例建議就致災段、溯上範圍、溢淹內容彙整。	感謝委員建議，將於期末一併彙整相關內容。	同意辦理。
3. 本計畫有模擬結果做依據，藉以初步評估，相當確實。	感謝委員肯定。	
4. 溢淹模擬計算建議說明所使用之溢淹原則。	感謝委員建議。危害通行安全的石塊多由浪拋上來，故本計畫溢淹定義為模擬期間的道路區段出現水體(包括空中的浪花)就算溢淹。	同意合作單位之說明與處理情形。

<p>5. 第三章提及 1 方向波譜，建議增加表示式，以利參數之討論。</p>	<p>感謝委員意見，將於期末加入表示式。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>二、岳景雲委員</p>		
<p>1. 中英文摘要請再修改，並加強貢獻度說明。</p>	<p>謝謝委員指教與建議，已修改。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>2. 圖 3.33 至圖 3.41，圖編排順序請更正，另圖 3.3 第 4、5 區重複、圖 3.4 第 7、8 區重複，亦請更正。</p>	<p>謝謝委員建議與指教，已更正圖序和重覆的圖。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>3.p.3-19 圖中箭頭流速大小請附說明。</p>	<p>感謝委員指教，箭頭主要目的是標示波浪方向，藉此決定波向線(ray)。流速大小並不是此圖重點。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>4.p.3-6 表 3-1 除了緯度區間、y 座標區間，建議增加鄉鎮區地名、河川名、漁港名稱等，以增加辨識度。</p>	<p>謝謝委員建議，將於期末補充鄉鎮區等地名。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>5.p.4-18 表 4.3(a)與(b)，最大溯上水位單位為？另 p.4-14 表 4-1 與 4-2，陸地溢淹距離與道路溢淹距離定義有何不同？請說明清楚。</p>	<p>感謝委員指教，表 4-3(a)與(b)的水位高程單位為公尺。陸地溢淹距離的起點定義為海陸交界的起點。而道路溢淹距離的起點定義為靠海的道路邊緣。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>

<p>6.p.4-20 黃色燈號定義建議增加「路面尚未溢淹」。</p>	<p>謝謝委員意見，後續將於黃燈定義增加「路面尚未溢淹」。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>7.p.3-4 典型 Chezy C 值為何採用 $55\text{m}^{1/2}\text{s}$，會影響摩擦係數及底床剪應力。</p>	<p>感謝委員指教，C 值為 Chezy 公式的摩擦係數。XBeach 手冊提到 55 是典型值，該值常於近岸水動力模擬被選用。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>8.p.3-18 圖 3.17 如何選用波浪離開海洋邊界波能吸收？與海岸植被、結構物、消波塊有何關係？</p>	<p>感謝委員指教，模擬使用 XBeach 內建的波能吸收邊界條件。該條件能在不影響邊界入射波的情況下，讓區域內的波離開邊界，並有效降低邊界的反射。由於模式使用的地形資料解析度較低，故不考慮海岸植被、結構物、消波塊等作用。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>9.p.3-12 最大示性波高 3.8m 與示性波高 4m 之差異請說明。</p>	<p>感謝委員指教，p.3-12 提到天鵝颱風期間的示性波高介於 2.5m 到 4m 範圍內，而最大示性波高為 3.8m。僅是單純的陳述示性波高範圍，並無比較差異的意圖。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>

<p>三、黃偉柏委員</p>		
<p>1.研究內容完整，同時將危險潛勢較高路段標示，具實用價值。</p> <p>2.請將 p.3-16 之 s 值，方向分布函數公式列出，以利後續討論分析，同時建議將 s=1024 的情境(風浪或湧浪)列出。</p> <p>3.圖 3.19 和圖 3.20 水位圖皆屬長峰波，這部分與 s=1024 假設情境之差異？</p> <p>4.61K+300 處之溢淹距離常有定值，不隨條件改變，例如 32m，然溯上水位是有變動的，請解釋原因。</p>	<p>感謝委員肯定。</p> <p>感謝委員建議，將於期末報告增列方向分布函數的公式。由於期中報告所列的模擬皆是 s=1024 的情境，故不在特別列出。</p> <p>感謝委員指教，方向分佈函數是使用 cosine-2s 函數，參數 s 影響波浪方向集中度，。當 s=1024 代表絕大部分的波向為正東，請見圖 3.16。</p> <p>感謝委員指教，表 4.1 將靠陸側的道路邊緣定義為溢淹距離的終點，故 32m 代表陸地溢淹距離已達整個路寬。將於期末追加說明溢淹距離的終點。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>四、何鴻文委員</p>		
<p>1.本案將對花蓮海岸公路(台 11 線)之浪襲預警及防災作為提供通行、封閉之參考。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>	

<p>2.本案因模擬使用海洋地形缺少近岸深度0至20m的高解析度地形觀測值、內政部的DEM陸地地形為十幾年前的資料、情境模擬不考慮暴風環境的地貌變遷等因素影響，模擬結果可能有誤差，建議再與相關路段的歷史災情資料作比對調整。</p>	<p>感謝委員建議，確實有些誤差。由於8個模擬區域的高解析度海陸地形不易取得，故僅利用容易獲得的海洋資料庫地形和內政部的DEM地形先作初步的評估。災情部分有和第四區養護工程處人員提出的近幾年發生浪襲的路段作比對，參照p.3-24。另外亦有蒐集浪襲台11的歷史新聞(表2-1)可供比對。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>3.本案因花蓮港之波浪觀測站距離約50km，建議以港研中心的SWAN模式之波浪資料辦理分析，建議能協調氣象局等相關單位配合設置觀測站，以利比對。</p>	<p>感謝委員指教，本計畫主要利用港研中心的SWAN模式在人定勝天段外海的預報值作為波浪條件，輔以氣象局的花蓮波浪與潮位觀測站作參考。並於明年度的計畫再加入資料同化，以期提高準確度。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>4.相關研究範圍之位置標示除緯度外，建議增加省道公路樁號。</p>	<p>感謝委員建議，除了表3.5和3.6有列出道路里程範圍外，另可開啟kml檔於Goole Earth軟體進行操作，再搭配公路局提供的道路里程kml檔，將進一步有利可視化判讀。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>

五、李俊穎委員		
1. 報告版面有誤植上年度相關資料，請修改。	感謝委員意見，已進行修改。	同意合作單位之說明與處理情形。
2. 有關溢淹範圍圖建議可再放入縣、鄉鎮邊界線、及道路里程資訊，以利後續判讀與應用。	感謝委員建議，將於計畫結束時，提供溢淹圖的 kml 檔於 Goole Earth 軟體進行操作，再搭配公路局提供的道路里程 kml 檔，將進一步有利可視化判讀。	同意合作單位之說明與處理情形。
3. 圖 4.11 在 x 約 15m 處有較大的水位高度(波浪)，其成因為何？	感謝委員指教，在地形坡度大的地方容易造成波浪向上衝擊(splash)，例如 x 約 35m 處的地方亦同。	同意合作單位之說明與處理情形。
4. 依表 4.4a 至 4.4b，就目前計算條件並無產出橙色燈號資訊，建議是否要進一步調整燈號條件。	感謝委員指教與建議，由於浪襲情境的波浪模擬條件有限，例如入射波高 8m 為黃燈，而波高 9m 為紅燈。實際應用上，當外海波高為 8.3m 時，其溢淹距離利用 8 和 9m 的情境進行線性內插，便會出現道路僅部分溢淹的結果，亦即橙燈。故不用調整燈號。	同意合作單位之說明與處理情形。

附錄二

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」

執行單位：國立中山大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、李兆芳委員		
<p>1. 計畫在陳教授團隊執行下，內容相當明確，成果值得肯定。</p> <p>2. 希望本計畫模擬結果能呈現文獻已發生的案例。p.3-5 有路段的選取，p.3-13 提及侵襲的颱風，最後結果是否有呈現已有的災害？另一方面，如果使用的模式有其先天不足之處，是否能有可開發模式值得研究？</p>	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>第三章僅為台 11 線臨海路段的浪襲溢淹可能性作初步評估，評估結果主要是人定勝天段的溢淹可能性較高，故針對人定勝天段建立浪襲情境資料庫。之後利用該資料庫搭配港研中心的波浪和潮位模擬參數驗證 2018 年潭美颱風的道路浪襲，請參照 4.6.3 節和圖 2.9。</p> <p>考量本計畫的模擬範圍，兼顧 3 維效應計算量過於龐大。目前做法可以兼顧準確性與經濟性。</p>	<p>同意辦理。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>

<p>3. 報告中格式可修改之處，p.4-25 表 4-3b，p.4-1「本文」可改為「本計畫」、p.3-21 圖 3.18 太大、p.3-3 方程式格式。</p> <p>4. p.3-28 提及使用資料數據不足，以及浪襲可能性偏高等，可加入結論與建議中，後續可繼續追蹤。</p>	<p>謝謝委員指正，已於報告定稿版修改 p.4-25 表 4-3b，p.4-1 的「本文」及、p.3-21 圖 3.18 太大、p.3-3 方程式格式相關問題。</p> <p>感謝委員建議，已加入報告定稿版 6.2 節建議的部分。</p>	<p>同意辦理。</p> <p>同意辦理。</p>
<p>二、陳文俊委員</p>		
<p>1. 本報告為期末報告，建議未來可依各工作項目製作一張檢核表呈現已完成之項目及該項目對應之章節位置，有利查核及驗收檢核之用。</p> <p>2. 1.1 前言中建議可以納入本案花蓮海岸公路之致災與浪襲造成影響較能強調本計畫之重要性。</p> <p>3. Xbeach 模擬各路段之溢淹路段，不知 Xbeach 模擬之近岸網格大小多少？另外各情境模擬發生溢淹之</p>	<p>感謝委員建議，已加入報告定稿版 1.3 節。</p> <p>感謝委員建議。已將本案人定勝天段的颱風案例加入報告定稿版的 1.1 前言。</p> <p>Xbeach 的網格解析度為 5m。表 3-5 和 3-6 為根據 Xbeach 模擬結果所整理出的溢淹路段，並非與歷史</p>	<p>同意辦理。</p> <p>同意辦理。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>

<p>路段其溢淹範圍之驗證是否為表 3-5 所示？</p>	<p>事件的驗證。溢淹範圍之驗證請參照 4.6.3 節和圖 2.9。</p>	
<p>4. COBRAS 的斷面模擬沒有使用 XBeach 波向，為何用 Xbeach 決定 COBRAS 波向。另外 COBRAS 是否引用 Xbeach 模擬出現溢淹時的波浪條件。</p>	<p>XBeach 所取波向決定 COBRAS 斷面模擬的路徑地形 (圖 4.3 和 4.4)，並且根據波向決定折射係數 K_r (圖 4.46 到 4.48)，並會影響情境的示性波高條件 (圖 4.13)。另外建立 COBRAS 情境資料庫時並無刻意考慮 Xbeach 模擬出現溢淹時的波浪條件，因為 Xbeach 的水平解析度 5m (COBRAS 為 0.5m)，且無法模擬波浪的飛濺。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>5. COBRAS 模擬情境潮位 +3.0m 大概是多少年之暴潮偏差所得之暴潮位？另外，此模式能否將演算所得之水位高程列出？</p>	<p>由楊等(2018)海工會論文計算石梯漁港的暴潮偏差 50 年重現期為 1.46m。另外石梯最大天文潮約 1.3m (基隆中潮位系統)，若以最大天文潮與暴潮偏差直接相加，其潮位在 2.8m 以下。故 COBRAS 最大潮位條件為 +3.0m，以方便情境內插。本計畫著重在道路溢淹的部分，故僅列出</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>

<p>6. 因花蓮海岸之二級防護計畫草案以經過水利署審完，建議可蒐集該報告各海岸段之暴潮溢淹及溯升高度與本案里程相近位置做互相驗證比對。</p> <p>7. 本案建議所列加裝監視器之意見很好，概國外(如日本)其海岸公路致災段有裝監視器做為浪襲觀察，並也發展出可求得溯升高及可能之越波量，相信對本案極有幫助。</p> <p>8. 南興段有關波浪模擬結果與每 6 小時修正之結果不知如何證明修正結果合理，概無實測資料可供驗證其合理性。</p> <p>9. p.4-70 之 4.13 式中 Kw 是否有誤？</p>	<p>各站模擬的道路邊緣最大水位高程，例如表 4-2a、表 4-2b。</p> <p>謝謝委員建議。惟水利署保全地點多為海堤路段，與本案位置不相同。</p> <p>感謝委員建議。這部分的工作還有賴相關單位支持，若有相關資料將檢附上。</p> <p>謝謝委員指教。本計畫進行資料同化的意義在於當風浪模擬使用的風場誤差太大，導致波浪預報值過於不準確時。以其提供一個較佳的修正值。</p> <p>謝謝委員指正。已於報告定稿版 p.4-70 之 4.13 式更正為 Ks。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p> <p>同意辦理。</p>
---	--	---

<p>三、何鴻文委員</p>		
<p>1.表 2.1 編號 4 蘇迪勒颱風事件請補充台 11 線樁號。</p> <p>2.表 4.1 欄位名稱「國道里程」請修正為省道里程</p> <p>3.有關「溢淹」、「陸地溢淹距離」、「道路溢淹距離」等名詞定義，建議於報告各章即予敘明。</p> <p>4.表 5.2 各颱風期間即全部資料之 RMSE 的修正率由 23.8 至-7.2，雖可對示性波高之預報同化修正改善，建議直接搭配觀測值交互運用。</p> <p>5.期中審查建議與相關路段之歷史災情資料比對調整部分，本次回應「...參照 p.3-24」似未對應，請再檢視。</p>	<p>謝謝委員指正。已補充樁號，請參照報告定稿版表 2.1。</p> <p>謝謝委員指正。已於報告定稿版修正類似表 4.1「國道里程」的錯誤。</p> <p>感謝委員指教，由於這些名詞在 4.5 節才出現，且可能會產生混淆。故於 4.5 節開頭便先為這些名詞定義作解釋。</p> <p>感謝委員指教，同化修正的目的主要是利用觀測值來修正模式值以達到改善降低預報值與觀測值的 RMSE，故與觀測值的搭配是不可或缺的一環。</p> <p>感謝委員指教。模擬的溢淹範圍與四工處歷史災情比對，在期末報告 p.3-28 的第二、三段有作討論(即期中報告 p.3-24)</p>	<p>同意辦理。</p> <p>同意辦理。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>四、李俊穎委員</p>		
<p>1.報告內方程式格式請配合</p>	<p>感謝委員指教，已於報告</p>	<p>同意辦理。</p>

<p>本所格式調整。</p> <p>2.部分圖名過長(如圖 3.22 至 3.44、3.46、5.4 至 5.22 等)請調整。</p> <p>3.4.6.2 節中有使用折射係數修正入射波高，因其入射方向已先假定，建議補充說明情境內假定波向？</p> <p>4.在臺東模擬採用觀測資料同化，若發生觀測中斷時其作業流程是否有調整，請補充說明。</p>	<p>定稿版對所有方程式格式作修正。</p> <p>感謝委員指教，報告定稿版已修正圖 3.22 至 3.44、3.46、5.4 至 5.22 等過長的圖名。</p> <p>感謝委員指教，已補充於報告定稿版 4.3 節第一段。</p> <p>感謝委員指教。第五章的資料同化著重在南興站的應用，臺東模擬僅是作為間接驗證資料同化在南興站的可能性。南興站使用的氣象局觀測站有三站，如果其中只有兩站有即時資料，則僅使用兩站作同化與預報修正，以此類推。若三站皆無資料則不作修正，請參照 p.5-5 第一段。</p>	<p>同意辦理。</p> <p>同意辦理。</p> <p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>五、劉清松委員</p>		
<p>1.本計畫所設計之浪襲預警系統風格設計簡潔易懂。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>	<p>同意辦理。</p>

<p>2.現今 AI 利用蒐集大數據已找出特徵值，以精進或提升系統可信度，請問本系統是否有計畫性考量長期數據收集方式與資料庫建置，以及未來利用數據特徵值以精進提升本系統。</p>	<p>感謝委員建議。這部分的工作還有賴相關單位支持，若有相關資料將檢附上。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>3.本系統是自動化擷取本所港研中心模擬資訊與中央氣象局網站資訊，請問當抓取資料出現問題時，建議有中斷機制告知提醒維護人員？</p>	<p>感謝委員建議。因為本研究的資料是依據港研中心觀測資料為主，因此，較不會出現因為其他資料庫無法即時更新，導致模擬結果出現問題的情形。但若外包出去給其他單位使用，若使用氣象局的觀測資料，則獲取資料很有可能有其困難度。另外，若真的沒有觀測資料，本研究中則以灰燈顯示。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>4.現今資安是政府重視的一環，本系統是否有完成原碼檢測、軟硬體、帳號、密碼有否符合資安基本要求。</p>	<p>感謝委員建議。本系統並不影響資安或作業系統的安全性。系統相關問題可在後續移轉過程中討論。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>

<p>5.當預警燈號發生橙或紅燈，建議有機制推播告知相關人員。</p>	<p>感謝委員建議。本介面由港研中心建立維護，相關問題可在後續過程中討論。</p>	<p>同意合作單位之說明與處理情形。</p>
<p>6.系統移轉時，相關程式碼與說明文件需完備。</p>	<p>感謝委員建議。會備妥說明文件和系統相關檔案。</p>	<p>同意辦理。</p>

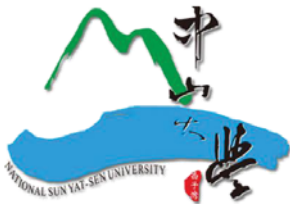
附錄三
期末報告簡報

MOTC-IOT-109-H3CB001d

花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究

(1/2)-浪襲預警系統建置

Wave Attack Early Warning and Disaster Prevention of Hualien Coastal Highway (1/2) –Establishing Wave Attack Early Warning System



計畫主持人：陳冠宇

參與人員：劉俊志、陳人玉

■ 前言

- 海岸地區由於鄰近海洋，受到異常浪侵襲的機率較高，可能因此造成重大災害。浪襲事件在屢經大眾傳播媒體的大幅報導後，社會大眾對波高顯著大於背景波高之異常特大波浪已有認識，並普遍稱之為「**瘋狗浪**」。
- 然而目前對於瘋狗浪的研究，能應用在實際災害防護的成果仍有限。主管機關應採取何種程度之措施以減輕瘋狗浪災害？道路、風景區或其他可能受災的設施應該何時封閉或管制？哪些區域應管制一般民眾進入以免危險？民眾管制區域該以何處為界？凡此種種，主管機關都沒有簡單可行的準則可以依循。
- 本計畫在台11線的花蓮海岸公路人定勝天段建立另一個的浪襲預警系統，以提供相關單位海岸公路通行安全預警資訊，以利公路管理單位作為災害預防及災後管理之決策參考。

■ 研究範圍與工作內容

- 本研究屬配合交通部推動科學技術發展之目標：推動海岸災害防救科技發展，精進海岸與港灣的災害防救科技研發，強化基礎設施中有關環境資料庫之調查蒐集與建置及應用。本年度之主要目的為瞭解花蓮海岸公路受颱風波浪影響的區段範圍、發展溯上分析及預警系統，建立颱風波浪容易致災區段的長浪溯上數值模式，據以評估花蓮地區海岸公路可能遭受的威脅及通行安全。搭配港灣研究中心在台灣東部的風浪與潮汐預報模式，預警系統可提供24小時預警資訊，可改善僅仰賴現場人員即時觀測之封路作業，讓人員有充分時間可做應變及調度。對於易致災路段路基易受波浪作用力造成掏空之問題，並提出因應對策。

■ 研究內容與工作項目

本年度之工作內容如下：

1. 蒐集颱風波浪引致花蓮海岸公路災害之案例。
2. 分析案例且評估決定花蓮海岸公路因受颱風波浪致災之區段。
3. 建立花蓮易致災公路區段之颱風波浪溯上與溢淹之數值模式。
4. 評估花蓮易致災區段受颱風波浪侵襲時之溯上範圍。
5. 建立花蓮海岸公路通行安全評估之波浪溯上資料庫。
6. 整合近岸海象預報資訊、近岸即時海象觀測資訊及波浪溯上資料庫建置浪襲預警系統。
7. 精進臺東海岸公路浪襲預警系統，並評估成果實際效益。
8. 針對計畫重要成果，製作可供展示之海報或影片電子檔。
9. 將本期研究/計畫成果投稿港灣報導或國內外期刊或學術研討會。
10. 參考「科技計畫管理資訊平台(<https://mostp.stpi.narl.org.tw/>)」之「績效指標(實際成果)資料格式」及「佐證資料格式」，就本計畫成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。本計畫績效指標項目至少包括：投稿論文1篇、報告1本。

■本年度預期完成成果、效益及其應用如下：

(一)預期成果：

- 1.完成花蓮海岸公路易致災路段之颱風波浪溯上與溢淹之數值模式。
- 2.完成案例分析與評估花蓮海岸公路受颱風波浪致災之區段。
- 3.完成花蓮海岸公路通行安全評估之波浪溯上資料庫。
- 4.完成評估花蓮海岸公路易致災路段受颱風波浪侵襲時之溯上範圍。
- 5.完成建立花蓮海岸公路易致災路段通行安全浪襲預警系統，提供預警資訊，作為颱風期間浪襲封路作業之輔助參考。

(二)效益及應用：

- 1.建立花蓮海岸公路因颱風波浪之通行安全評估的技術及資料庫。
- 2.提供浪襲預警資訊，可改善僅仰賴現場人員即時觀測之封路作業，讓人員有充分時間可做應變及調度，預先掌握對花蓮海岸公路易浪襲路段可能發生之風險及因應措施。
- 3.以溯上與溢淹圖，供防災應變之用，便於規劃花蓮人定勝天路段海岸公路之減災措施及提供本所後續相關研究之依據。
- 4.可提供公路總局第四區養護工程處，作為颱風期間浪襲封路之決策輔助工具。

■ 異常波浪災害概述與預警之必要性

- 瘋狗浪災害的發生，主要是岸邊的人被波浪衝擊失去平衡，從而被捲入海中；波浪的衝擊力與波高有關，因此以波高做為判斷基準是最直接有效的方法。先前執行的交通部運輸研究所合作研究計畫(如陳等，2013、陳等，2014、陳等，2015)，不論是異常氣候下跨河橋梁何時封橋，抑或海嘯發生時民眾應往何處疏散避難，都依據數值模擬所得之各地淹水的深度來決定。
- 波浪在極淺海的環境中傳播時，由於受到海床地形與水體之環境影響，是一個極為複雜的問題。學者也指出礁岩與防波堤的阻擋造成波浪反射與向上沖擊的現象，可使波浪遠高於原有波高，極可能是發生瘋狗浪意外的重要輔助條件(Su et al., 2002)。因此，單純以外海或近岸的波高判斷瘋狗浪的危險程度與有安全威脅的區域都很容易誤判。以跨河橋梁或海嘯的例子而言，都需另外對照海岸線附近的數值模擬結果，才能據此決定各地淹水的深度，再決定管制方式或管制區域。
- 除數值模擬之外，陳等人先前執行的研究計畫中，將各港遭受不同高度海嘯時的溢淹區域模擬結果，與Google Earth地理資訊系統之圖資相整合(Chen et al., 2015)。其目的是利用圖層方式在溢淹潛勢圖顯示港區不同之溢淹高程，港務單位可據以製作規劃逃生路徑或進行災害演習等。瘋狗浪如果能建立類似的危險區域資訊，以類似海嘯溢淹區域結合地理資訊系統之方式展現。



於2013年龍洞海濱瘋狗浪事件之發生區域，發生地點在紅色箭頭指示的人造階梯。階梯與海面有相當距離(約有50公尺以上)，中間有礁臺相隔(董東璟教授提供)。

■ 利用文字探勘蒐集異常波浪引致花蓮海岸公路災害之案例

利用網路爬蟲和tf-idf等文字探勘技術蒐集、分析異常波浪及海岸公路的新聞資料。



利用Google Site於特定日期搜尋關鍵字結果

1	http://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/1405399	船艙艾利影響中央應變中心：嚴防離岸流、瘋狗浪8命	自由時報電子報 - 2016年10月5日
2	http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article...	瘋狗浪8命	蘋果日報 - 2013年11月9日
3	http://news.ltn.com.tw/news/life/paper/9226008	遊客著身亡阿納吉古道封閉	自由時報電子報 - 2015年10月10日
4	http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/1061...	烈震39小時池田松葉湖湖主遭	自由時報電子報 - 2016年12月11日
5	http://www.chinatimes.com/news/papers/201504...	花蓮海岸瘋狗浪奪2命	中時電子報 - 2015年4月3日
6	http://www.nownews.com/n/2016/12/04/232729...	小琉球漁民驚險逃出港捕魚艇「瘋狗浪」打...	NOWnews - 2016年12月3日
7	http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/9580...	5公尺高瘋狗浪捲釣客1死1傷	自由時報電子報 - 2016年2月14日
8	http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/9629...	陽石衝浪區瘋狗浪捲走中國男大生	自由時報電子報 - 2016年2月28日
9	http://www.setn.com/News.aspx%3FNewsID%3D...	瘋 / 美驚視！七星潭恐怖奪命當地人都不敢...	二立新聞網 (新聞發布) - 2016年4月7日
10	http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1...	天鵝長直撞東海岸成災：沖速近百公里	自由時報電子報 - 2015年8月20日
11	http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/1066...	釣客沒穿救生衣重傷可罰90萬	自由時報電子報 - 2016年12月28日
12	http://www.ettoday.net/news/20160910/773085...	池上車禍吹傷1男1女逃過「瘋狗浪」驚魂萬分	ETtoday - 2016年9月10日
13	http://news.ltn.com.tw/news/society/breakingne...	釣客要抓中港海出動直升機救援	自由時報電子報 - 2016年3月24日
14	https://www.walkerland.com.tw/article/view/1242...	【綠島農船】置身險境的藍洞內尋美人蝦，...	WalkerLand 痞客邦 (新聞發布) (註冊) (網誌) - ...
15	http://news.ebc.net.tw/news.php%3Fnid%3D391...	海馬製風機快閃二發海警5開音你影響程度	東森新聞 (新聞發布) - 2016年10月17日
16	http://www.ettoday.net/news/20140506/354141...	鼻鯨角瘋狗浪8死基檢認定「突發天災」無人為	ETtoday - 2014年5月6日
17	http://www.ettoday.net/news/20160909/772440...	脫人難辨判無期 惡男假借酒駕欲人穿垣掛牌	ETtoday - 2016年9月9日
18	http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1...	艾利海警解除花東、南部山區仍須嚴防豪雨	自由時報電子報 - 2016年10月5日
19	http://appweb.cna.com.tw/webm/menu/skey02...	川雲連名任災區副總指揮長馬提督視察	中央通訊社 - 2016年12月1日
20	http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article...	宜蘭台東也湧浪釣客1死3失蹤	蘋果日報 - 2013年11月9日
21	http://news.ltn.com.tw/news/society/breakingne...	雲林蘇澳北港再發黑天鵝水溺斃	自由時報電子報 - 2016年12月5日
22	http://www.appledaily.com.tw/realtime/news/artic...	【實用影片】瘋狗攻擊怎麼躲專家教你避開招	蘋果日報 - 2016年8月12日
23	http://news.housefun.com.tw/news/article/1722...	成大預測：東部外海將掀浪10樓高	好房News - 2016年7月7日
24	http://www.cna.com.tw/news/firstnews/20161222...	川雲連名任災區副總指揮長馬提督視察	中央通訊社 - 2016年12月21日
25	http://news.ltn.com.tw/news/society/breakingne...	自排開關手排車竟海巡署：因促資法未發照	自由時報電子報 - 2016年3月1日

網路爬蟲蒐集新聞結果

以關鍵字「瘋狗浪+公路」、「瘋狗浪+花蓮」、「瘋狗浪+台11線」、「浪襲+花蓮」、「浪襲+台11線」、「颱風+壽豐+豐濱+吉安」作為檢索，其中符號「+」為部臨檢索進行網路爬蟲所蒐集整理的新聞。

編號	日期	標題	事件地點	颱風	災情	管制措施
1	2015/8/8	人定不勝天?! 花蓮「人定勝天碑」不見	台11線62.1K	強颱風蘇迪勒	單線地基流失	單線雙向通行
		來源：自由時報 https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1405399				
2	2015/8/8	花蓮「人定勝天碑」遭捲入海！	台11線62K至63K	強颱風蘇迪勒	單線地基流失	單線雙向通行
		來源：ETtoday新聞 https://www.ettoday.net/news/20150808/546984.htm#ixzz6BjnF8DVT				
3	2015/8/8	蘇迪勒肆虐 人定勝天碑也倒	台11線62K	強颱風蘇迪勒	海空路基	
		來源：聯合新聞網 https://video.udn.com/news/354335				
4	2015/8/9	颱風蘇迪勒強風豪雨 全台5死百傷災情慘	台11線	強颱風蘇迪勒	單線地基流失	
		來源：中央社 https://www.cna.com.tw/news/firstnews/201508080432.aspx				
5	2015/8/23	大浪沖刷! 台11線邊坡崩落	台11線47.6k	強颱風天鵝	路局邊坡流失	架設護欄
		來源：華視新聞 http://news.cts.com.tw/cts/general/201508/201508231651845.html#.Vdml14u5_p8				
6	2016/9/27	梅姬大浪拍擊台11線! 漂流木、礫石飛上岸	台11線62K-63K	中颱梅姬	浪襲道路	全面封路
		來源：自由時報 https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1838616				
7	2018/9/28	台11線61.5k花蓮豐濱鄉人定勝天路路段基掏空 道路封閉	台11線61.5K	強颱風潭美	路基掏空	全面封路
		來源：公路總局 https://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/news/news_details?node=eeb33aa6-58a1-4d5d-b6aa-28dd4d5270b0&id=3283263d-71a8-4b13-8572-286fd39e232				
8	2018/9/28	颱風掏空路基 海岸公路花蓮豐濱鄉段封閉至10月1日	台11線61.5K	強颱風潭美	路基掏空	全面封路
		來源：中時 https://www.chinatimes.com/realtime/news/20180928004176-260402?chdtv				
9	2018/9/29	台11線人定勝天路路段基掏空 緊急搶修明天上午恢復通行	台11線61.5K	強颱風潭美	路基掏空	單線雙向通行
		來源：新頭殼 https://newtalk.com/news/view/2018-09-29/145822				
10	2018/9/29	潭美掀浪! 花蓮台11線豐濱人定勝天路路段基掏空 道路封閉	台11線61.5K	強颱風潭美	路基掏空	單線雙向通行
		來源：ETtoday新聞雲 https://www.ettoday.net/news/20180929/1269316.htm				
11	2018/9/29	潭美颱風掀浪 花蓮台11線豐濱路段基掏空	台11線61.5K	強颱風潭美	路基掏空	單線雙向通行
		來源：中央社 https://www.cna.com.tw/news/ahel/201809290031.aspx				
12	2018/9/30	搶修8小時 花蓮豐濱人定勝天段單線雙向通行	台11線61.5K	強颱風潭美	路基掏空	單線雙向通行
		來源：聯合新聞網 https://news.housefun.com.tw/news/article/162895208427.html				

■ 利用文字探勘蒐集異常波浪引致花蓮海岸公路災害之案例

人定不勝天?! 花蓮「人定勝天碑」不見了



2015-08-08 11:55:02
 【記者花孟瑋 / 花蓮報導】蘇迪勒颱風掃過花蓮東海岸，花蓮鹽濱鄉台11線62.1K「人定勝天碑」路旁，有40公尺護路牆基流失，就連當年台11線鄉道時所立、突出海面的「人定勝天」碑都被大浪打到不見蹤影！



台11線「人定勝天碑」路旁護路牆基流失，碑被大浪打回海里。(記者花孟瑋攝)
 台11線護路中斷，蘇迪勒颱風動亂東海岸的巨浪拍岸。(記者花孟瑋攝)

梅姬大浪拍擊台11線！漂流木、礁石飛上岸



2016-09-27 15:15:00
 【記者花孟瑋 / 花蓮報導】梅姬颱風直撲東台灣，登陸地點還不斷北移，首當其衝位於東海岸的花蓮縣鹽濱鄉，上午風浪強勁，一波波長浪不斷從外海打上岸，公路62K人定勝天路段直到下午仍持續有浪擊，大浪及強風夾帶砂石、漂流木飛上公路，令人驚心，公路局緊急封閉50~63K路段！

相關浪襲公路新聞資料

■ 利用文字探勘蒐集異常波浪引致花蓮海岸公路災害之案例



2018年9月28日晚間約8點在61K+400附近的浪襲影像
 (公路總局第四區養護工程處提供)

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段

- 本研究選擇XBeach波浪模式作為研究工具，搭配內政部的陸域地形以及海洋學門資料庫的海域地形建立數值地形，再從台11線公路靠海的路線中挑選出8個離海岸線較近的區段進行類颱風期間的海況模擬，最後根據模擬結果給予海岸公路受到浪襲的初步評估。

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段

- XBeach波浪模式為聯合國教科文組織、荷蘭Deltares機構和代爾夫特理工大學以及美國邁阿密大學聯合開發的一套開放原始碼的數值模式。經過不斷的開發後，可模擬短波傳播（包括折射，淺化和破碎），長波（亞重力波）傳播（包括生成，傳播和耗散）、波浪引起的非穩態流以及越流(overwash)和溢淹等水動力過程。在地形動力方面除了包含底床載(bed load)與懸浮載(suspension load)的沉積物傳輸，亦可模擬沙丘崩塌和底床破壞等地形變動的作用。除了上述應用外，同時可加入植被或結構物等因素進行模擬。

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段

- XBeach 目前提供三種模式的選擇，分別是駐波模式(stationary wave mode)、浪擊模式(surfbeat mode)和非靜水壓模式(non-hydrostatic mode)。駐波模式能有效率的求解波動平均方程組，但不考慮亞重力波的作用。浪擊模式則是計算波群尺度上的短波變化以及與之相關的長波。最後是非靜水壓模式，為相位解析模型(phase-resolving model)，使用非線性淺水方程(non-linear shallow water equations)結合壓力校正項可對個別波的傳播和衰減進行模擬。
- 非靜水壓模式的優點主要有兩大項，第一項是能模擬短波的溯升及越流現象，這些現象在陡峭的斜坡上尤其重要，例如礫石灘；而第二項優點為此模式能直接解析波浪的不對稱性(asymmetry)和偏度(a skewness)，而不需透過經驗公式給予近似值。綜合以上因素，本文使用非靜水壓模式進行研究。

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-控制方程式

• 為了模擬低頻波的傳播和深度平均流，模式使用淺水方程組作為控制方程。為了說明波浪引起的質量通量和隨後產生的返流，將它們轉換為深度平均的GLM (Generalized Lagrangian Mean) 公式。在這樣的框架中，其動量和連續性方程式是使用拉格朗日(Lagrangian)速度 u^L 來表示。拉格朗日速度定義為水粒子在一個波浪週期內的傳播距離除以該週期。該速度與歐拉(Eulerian)速度 (在固定點觀測的短波平均速度) 的關係為：

$$\bullet \quad u^L = u^E + u^S \text{ and } v^L = v^E + v^S \quad (3.1)$$

- 其中 u^S 和 v^S 分別表示x和y方向上的斯托克斯漂移 (Stokes drift)。計算斯托克斯漂移時，其中波群變化的短波能量 E_w 和方向從波作用平衡中獲得，如下：

$$\bullet \quad u^S = \frac{E_w \cos \theta}{\rho h c} \text{ and } v^S = \frac{E_w \sin \theta}{\rho h c} \quad (3.2)$$

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-控制方程式

- 最後得到GLM動量方程如下：

$$\frac{\partial u^L}{\partial t} + u^L \frac{\partial u^L}{\partial x} + v^L \frac{\partial u^L}{\partial y} - f v^L - v_h \left(\frac{\partial^2 u^L}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u^L}{\partial y^2} \right) = \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}^E}{\rho h} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{F_x}{\rho h} + \frac{F_{v,x}}{\rho h} \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial v^L}{\partial t} + u^L \frac{\partial v^L}{\partial x} + v^L \frac{\partial v^L}{\partial y} - f u^L - v_h \left(\frac{\partial^2 v^L}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v^L}{\partial y^2} \right) = \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}^E}{\rho h} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{F_y}{\rho h} + \frac{F_{v,y}}{\rho h} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial h u^L}{\partial x} + \frac{\partial h v^L}{\partial y} = 0 \quad (3.5)$$

其中 τ_{sx} 和 τ_{sy} 是風剪應力， τ_{bx} 和 τ_{by} 是底床剪應力， η 是水位， F_x 和 F_y 是波浪引起的應力， $F_{v,x}$ 和 $F_{v,y}$ 是植被造成的應力， v_h 為水平黏滯力， f 為科氏係數。

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-水平黏滯力

- 水平黏滯力 v_h 使用Smagorinsky(1963)模型作計算，以解決空間尺度小於計算網格尺寸的水平動量交換，公式如下：

$$v_h = c_s^2 2^{\frac{1}{2}} \sqrt{\left(\frac{\delta u}{\delta x} \right)^2 + \left(\frac{\delta v}{\delta y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} \right)^2} \Delta x \Delta y \quad (3.6)$$

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-底床剪應力

底床剪應力 (τ_b) 公式使用 Ruessink 等(2001)的方法，其中包含跟平均流以及長波有關的底床摩擦。需注意底床剪應力公式所用的是歐拉速度，如下：

$$\bullet \tau_{bx}^E = c_f \rho u_E \sqrt{(1.16 u_{rms})^2 + (u_E + v_E)^2} \quad (3.7)$$

$$\bullet \tau_{by}^E = c_f \rho u_E \sqrt{(1.16 u_{rms})^2 + (u_E + v_E)^2} \quad (3.8)$$

• 其中 c_f 為底床摩擦係數，XBeach 提供蔡司(Chezy)、曼寧(Manning)公式等5種不同方式來定義 c_f 。在此選擇預設的蔡司公式，如下：

$$\bullet c_f = \sqrt{\frac{g}{C^2}} \quad (3.9)$$

• 本文在此使用典型的Chezy值，即 $c = 55 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ 。

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-非靜水壓校正

• XBeach 的非靜水壓計算使用了非線性淺水方程並考慮非靜水壓力來計算波浪和海流引起的深度平均流。非靜水壓模式考慮了淺水方程中包括短波在內的所有波浪運動，使用類似於SWASH模型 (Zijlema 等人,2011) 垂直單層版本的方法推導深度平均正規化的動壓 (q)。通過假設表面處的動壓為零並且隨深度呈線性變化，即可利用表面和底床的動壓值求得深度平均動壓。為了計算底床的正規化動壓，在此忽略平流和擴散項對垂直方向動量平衡的影響，計算動壓的方式如下式：

$$\frac{\delta w}{\delta t} + \frac{\delta q}{\delta z} = 0 \quad (3.10)$$

其中 w 為垂直速度， z 為垂直方座標。而床層的垂直速度 w_b 由運動邊界條件決定，如下式：

$$w_b = u \frac{\delta(\eta-h)}{\delta x} \quad (3.11)$$

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-非靜水壓校正

- 結合由Stelling和Zijlema(2003)應用Keller-Box的方法(Lam和Simpson,1976)來描述垂直方向的壓力梯度，可以通過以下方法表示底床的動壓力 q_b ：

$$q_b = -\frac{h}{2} \left(\frac{\delta q}{\delta z} \Big|_s + \frac{\delta q}{\delta z} \Big|_b \right) \quad (3.12)$$

- 而表面的垂直動量平衡則以下面的公式來描述：

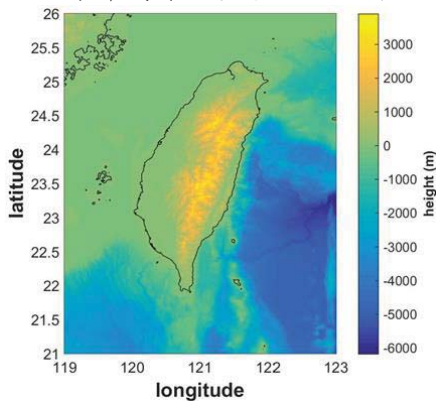
$$\frac{\delta w_s}{\delta t} = 2 \frac{q_b}{h} - \frac{\delta w_b}{\delta t} \quad (3.13)$$

- 其中 w_s 是指表面的垂直接流速。藉由結合當地的連續方程式來求解底床的動壓力，如下式：

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{w_s - w_b}{h} = 0 \quad (3.14)$$

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模型地形

- 台11線模擬所使用的海域地形為海洋學門資料庫網格解析度0.12分之水深資料，陸域地形資料則是由內政部地政司所提供之5m解析度DEM(Digital Elevation Model)數值地形，其中平面座標採用內政部1997台灣大地基準(TWD97)，而高程座標則採用內政部2001台灣高程基準(TWVD2001)，本研究從台11線中選取8個離海岸線較近的路段，各路段的緯度範圍如右下表所示。

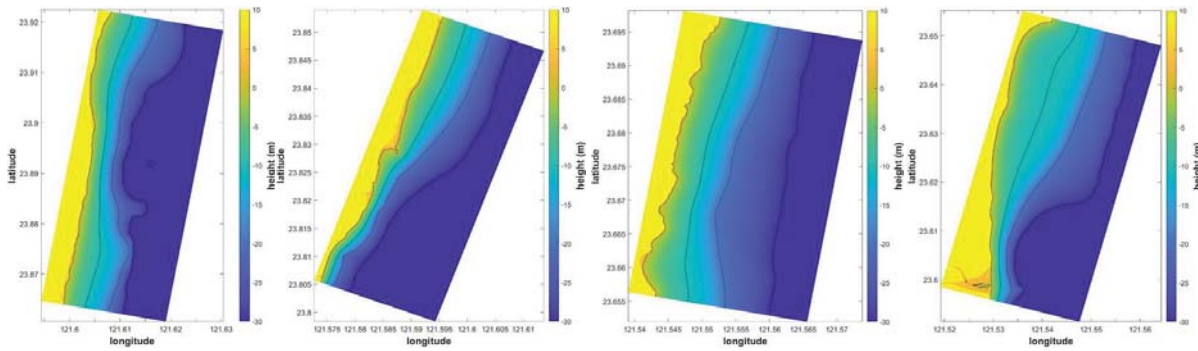


海洋學門資料庫解析度0.12分之水深資料

區域編號	緯度區間(度)	TWD97的Y座標區間(m)	行政區	台11線里程(K)
1	23.865 ~ 23.92	2640072 ~ 2646163	花蓮縣壽豐鄉 豐寮村	7.5 ~ 13
2	23.807 ~ 23.851	2633649 ~ 2638522	花蓮縣壽豐鄉 豐寮村、水碓村	15 ~ 20.5
3	23.657 ~ 23.696	2610393 ~ 2616484	花蓮縣豐濱鄉 磯崎村、新社村	38 ~ 42.5
4	23.597 ~ 23.652	2607071 ~ 2621357	花蓮縣豐濱鄉 新社村、豐濱村	43.5 ~ 49
5	23.521 ~ 23.597	2601977 ~ 2610393	花蓮縣豐濱鄉 豐濱村	51 ~ 59.5
6	23.491 ~ 23.531	2598655 ~ 2603084	花蓮縣豐濱鄉 豐濱村、港口村	58.5 ~ 63
7	23.354 ~ 23.403	2583483 ~ 2588910	臺東縣長濱鄉 樟原村、三閩村	75.5 ~ 81
8	23.166 ~ 23.217	2562665 ~ 2568313	臺東縣成功鎮 博愛里、忠孝里	99 ~ 105

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式地形

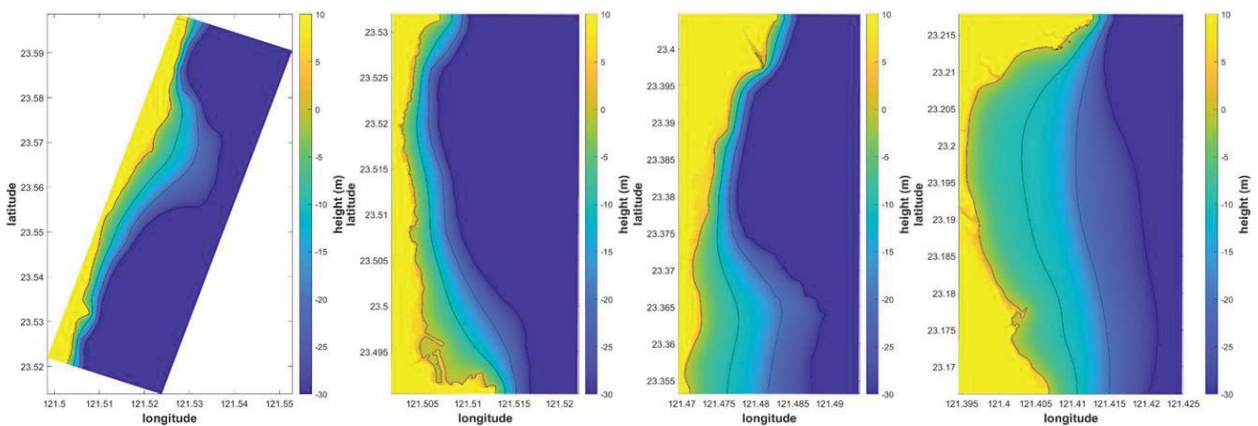
- 考量到海域和陸域的解析度不同因而呈現的海岸線不一致，先將海域地形轉成TWD97座標，然後內插成與陸域地形一致的5m解析度數值地形。地形整合的過程中，海域地形只取水深超過20m的地形，而水深介於0到20m的區域則以內插方式補足。為了讓邊界入射條件一致，在此將8個模擬區域的入射邊界附近的海底地形設定為相同深度。考量國內的波浪觀測站所在位置的水深通常約為30m，故在此設定模式的地形最大水深為30m。



左、右各為第1、2區的模式地形(黑色等深線的間隔10m)

左、右各為第3、4區的模式地形(黑色等深線的間隔10m)

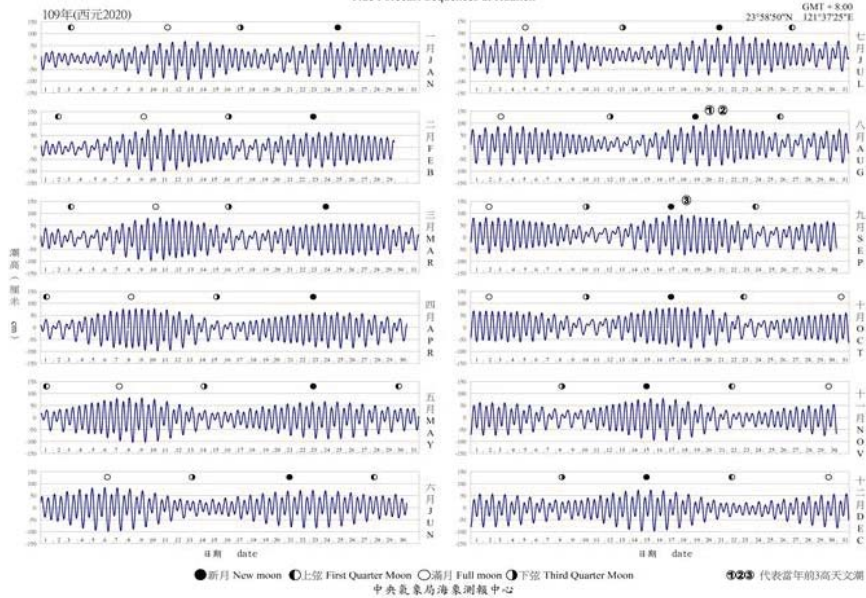
■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式地形



左至右各為第5到8區的模式地形(黑色等深線的間隔10m)

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

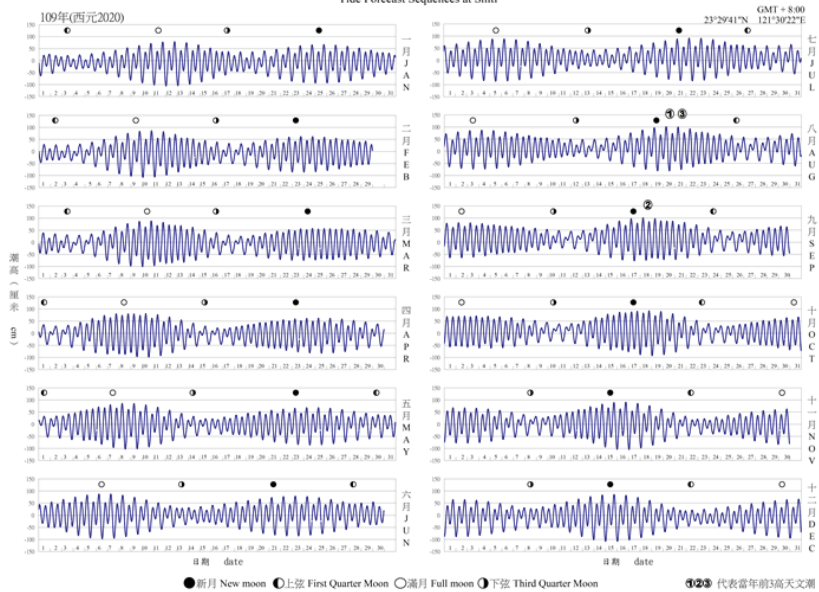
花蓮預報潮位時序圖
Tide Forecast Sequences at Hualien



花蓮港的潮位變化大約介於-1m到1m之間(取自氣象局2020年潮汐表)

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

石梯預報潮位時序圖
Tide Forecast Sequences at Shiti



石梯漁港的潮位變化範圍則在-1.1m到1.1m之間(取自氣象局2020年潮汐表)

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

根據氣象局網頁資料，吉安鄉的台灣高程基準(TWVD 2001)比當地平均潮位高0.12m，則可推估花蓮港的天文潮高程約在-0.9m到1.1m之間。同樣豐濱鄉的高程基準比當地平均潮位高0.24m，則可概估石梯漁港天文潮高程在-0.9m到1.3m之間。

日期	潮汐	時間	相對臺灣 高程基準	相對當地 平均海平面	相對海圖
花蓮縣 豐濱 潮差：小潮 未來30天	滿潮	02:06	34	10	118
	乾潮	07:04	19	-5	103
	滿潮	12:22	46	22	129
	乾潮	20:11	-21	-46	62
花蓮縣 壽豐 潮差：小潮 未來30天	滿潮	02:08	29	10	116
	乾潮	07:05	13	-6	100
	滿潮	12:32	40	21	128
	乾潮	20:16	-28	-47	59
花蓮縣 吉安 潮差：小潮 未來30天	滿潮	02:15	22	10	115
	乾潮	07:07	5	-7	98
	滿潮	12:56	32	21	125
	乾潮	20:26	-37	-48	56

氣象局2020年4月17日花蓮沿海的潮汐預報
(<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/M/tide.html>)

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

- 楊(2018)利用1992年到2017年的花蓮潮位站觀測資料以及2001到2017年的石梯潮位站觀測資料各別分析出資料期間**花蓮站最大的暴潮偏差為0.79m**，而在**石梯站為1.3m**。花蓮站的最大偏差發生時間在2007年柯羅莎颱風期間，而石梯站則在2015年蘇迪勒颱風期間。以台灣高程基準來看，在**花蓮港**若以最大天文潮1.1m再加上0.8m的暴潮偏差，則可出現**1.9m**的潮位。而在**石梯漁港**如以最大天文潮1.3m如果加上1.3m暴潮偏差，則可出現**2.6m**的潮位。
- 為了解暴潮期間的可能影響，在此Xbeach分別使用1m、2m和2.6m等三種初始水位條件作為情境潮位來進行模擬。

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

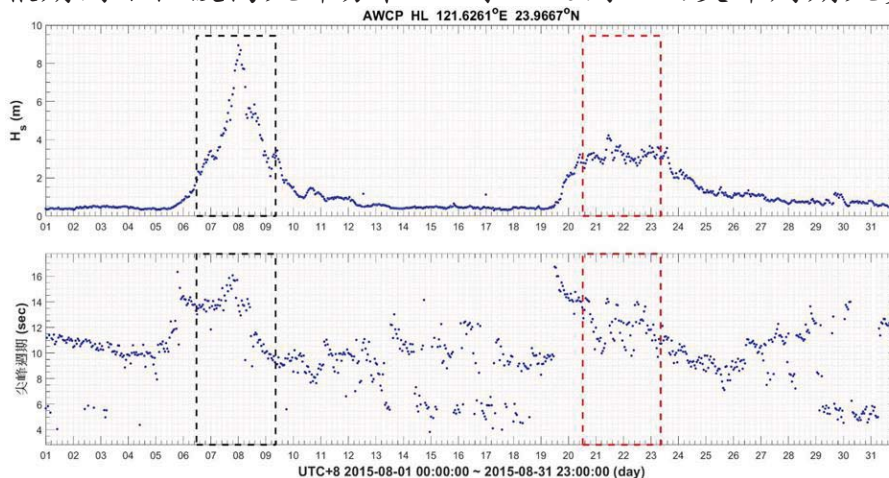
- 利用港灣研究中心在花蓮港的AWCP波浪逐時統計資料來了解發生浪襲事件的颱風期間，即蘇迪勒颱風(2015)、天鵝颱風(2015)、梅姬颱風(2016)以及潭美颱風(2018)期間，所觀測到的示性波高和尖峰週期。花蓮港AWCP的位置如下圖，水深34m，綜合上述四個颱風期間的觀測值，其示性波高範圍大多介於2m到9m之間，而尖峰週期在10到15秒之間。



花蓮港AWCP位置

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

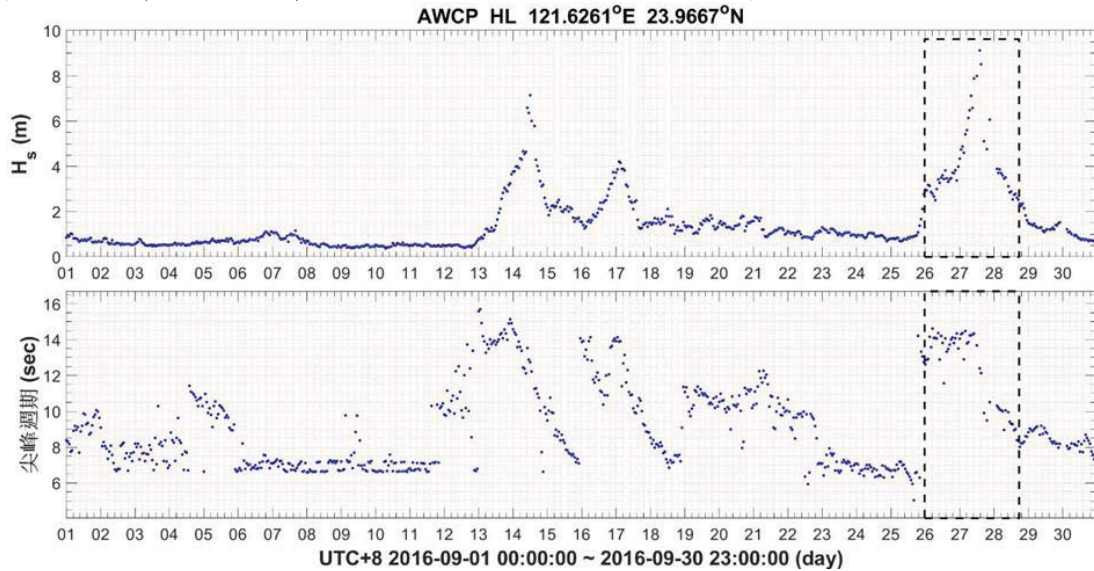
- 颱風警報期間的花蓮港觀測資料可知蘇迪勒颱風的最大示性波高值約8.9m，而尖峰週期約13.7秒。颱風期間的示性波高大致在2到9m範圍內，而尖峰週期大多在10到14秒。天鵝颱風的最大示性波高約4.2m，其尖峰週期約14秒，警報期間示性波高大部分在2.5到4m之間，而尖峰週期大多介於10到14秒。



花蓮港AWCP的示性波高和尖峰週期，其中黑框和紅框各為蘇迪勒和天鵝颱風警報期間

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

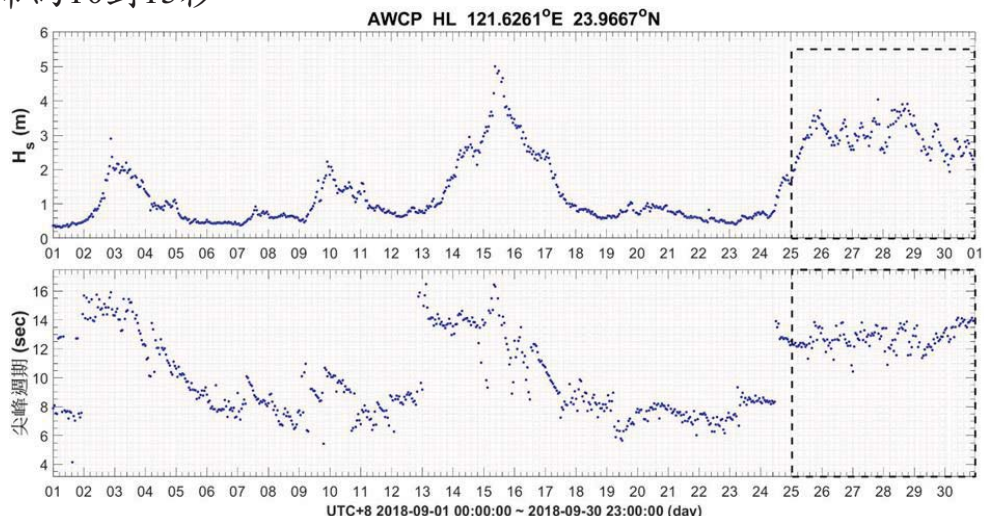
- 梅姬颱風警報期間最大示性波高約9.1m，其尖峰週期約12.4秒。



花蓮港AWCP觀測的示性波高和尖峰週期，其中黑框為梅姬颱風警報期間。

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

- 潭美颱風雖無發布警報，但在接近台灣的9月25到30日期間的最大示性波高約3.7m，其尖峰週期約13秒，示性波高大多介於2到4m範圍內，而尖峰週期分布約10到15秒。



花蓮港AWCP觀測的示性波高和尖峰週期，其中黑框為強颱風潭美距離台灣較近的期間。

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

- 由於上述颱風期間的尖峰週期最大值接近15秒，故在此設定邊界的尖峰週期為15秒。雖然颱風期間的最大波高約9m，在此僅將模式邊界入射的示性波高設定為5m。下表為陳等人(2017)利用示性波高資料所計算的花蓮港極值波高重現期，根據其極值分布的模型可推算極值波高5m的重現期約為1.2年。故本模式設定的5m示性波高出現頻率接近於每年發生1次。

花蓮港極值波高重現期(陳等, 2017)

重現期(年)	極值波高(m)	標準偏差(m)
10	8.6	0.59
25	9.52	0.71
50	10.13	0.79
100	10.69	0.87
200	11.21	0.95

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

- 模式邊界的波浪入射主要方向在此假設垂直於海岸線方向。模式利用JONSWAP波譜(Hasselmann et al. 1973)搭配Longuet-Higgins(1963)的單峰方向分布函數(directional spreading function)作為入射條件。

- JONSWAP波譜如下式：

$$S(f) = \frac{0.0081g^2}{f^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \gamma^\beta \quad (3.15)$$

$$\beta = \exp\left[-\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}\right] \quad (3.16)$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07, & f \leq f_p \\ 0.09, & f > f_p \end{cases} \quad (3.17)$$

其中

f ：頻譜頻率(Hz) g ：重力加速度(m/sec²) f_p ：尖峰頻率(Hz)

γ ：尖峰集中度係數(peak enhancement factor)

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

- Longuet-Higgins(1963)的單峰方向頻譜如下式所示：

$$E(f, \theta) = E(f) \cdot D(f, \theta) \quad (3.18)$$

其中

$E(f, \theta)$ ：方向能譜密度函數

$E(f)$ ：一維能譜密度函數

$D(f, \theta)$ ：角度分布函數(angular spreading function) f ：頻率(Hz) θ ：波向(徑度)

- 角度分布函數 $D(f, \theta)$ 須符合下式：

$$\int_0^\infty \int_{-\pi}^\pi E(f) \cdot D(f, \theta) d\theta df = \int_0^\infty E(f) df$$

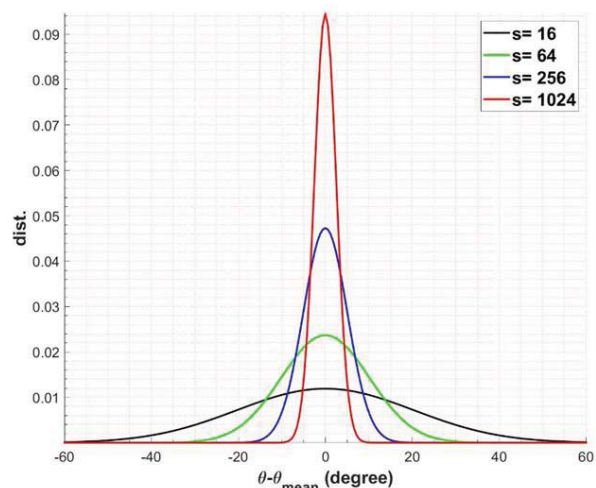
- $D(f, \theta)$ 函數使用Cosine-2S型態，如下式：

$$D(f, \theta) = \left(\frac{2(2s-1)}{\pi} \right) \left(\frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)} \right) \cos\left(\frac{\theta - \theta_{\text{mean}}}{2} \right)^{2s}$$

其中 Γ ：Gamma函數 θ_{mean} ：平均波向(徑度) s ：方向分佈係數

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

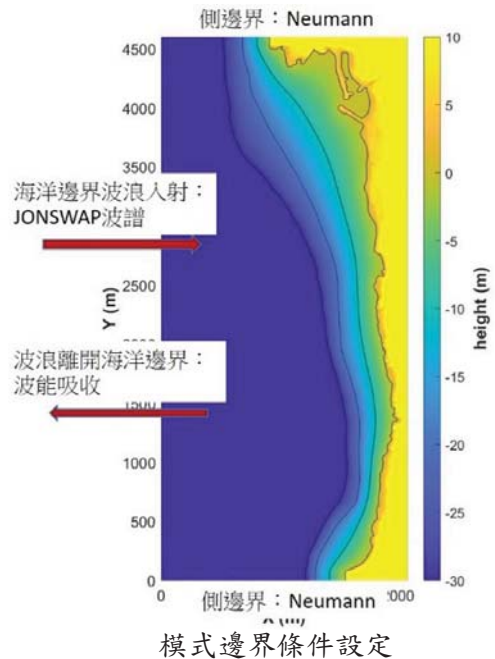
- 模式的邊界波浪入射方向在此假設垂直於海岸線方向。可利用Longuet-Higgins(1963)的方向分布函數(directional spreading function)，給定入射波平均波向 θ_{mean} 以及方向分布係數 s 後可得到一個波向的分布。在此設定 s 值為1024，其波向分布範圍介於平均波向的正、負10度左右，屬於方向分佈集中的型態，如右圖。



JONSWAP邊界條件的方向分布函數

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

- 模式在設定波浪入射的海洋邊界條件時，除了利用JONSWAP波譜作為入射條件。另外針對從模擬區域內離開海洋邊界的波浪進行波能吸收，其目的是降低邊界的反射。而側邊界則使用Neumann邊界條件，如右圖。



■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模式情境條件設定

- 本計畫在8個區域各別對應3種潮位進行模擬，總共24個情境，參見右表。其他相關的參數設定列於下表。

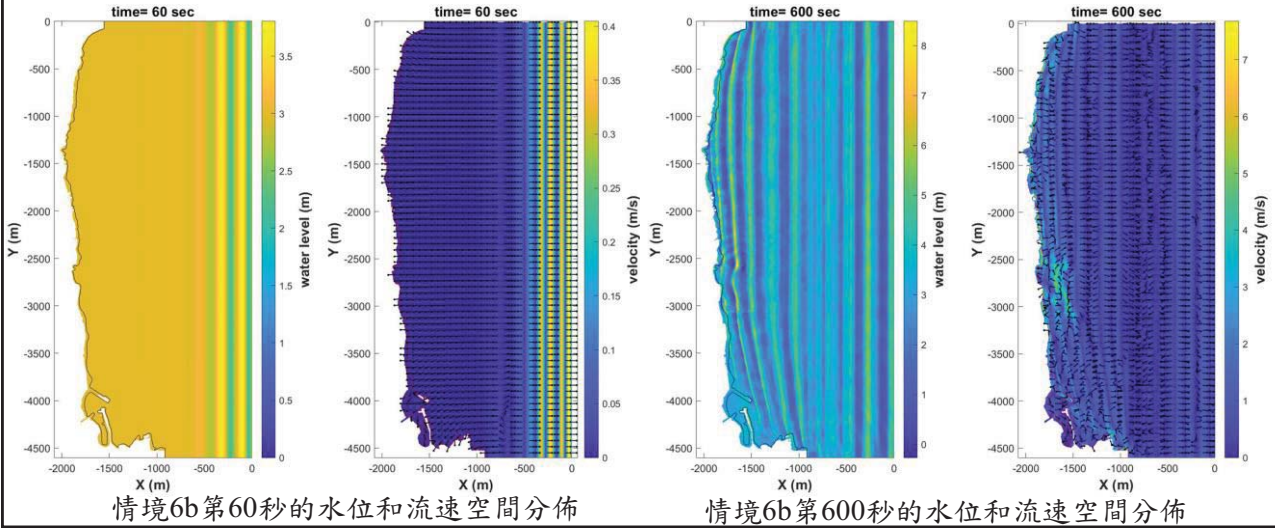
Xbeach模式相關參數設定

模式設定		附註
模擬時間 (min)	30	
網格解析 (m)	5	
Chezy值	55	3.9式底床摩擦係數
邊界條件設定		
fp (Hz)	0.0667	3.15式(JONSWAP)
Y	3.3	3.15式(JONSWAP)
s	1024	3.20式分布係數
示性波高(m)	5	

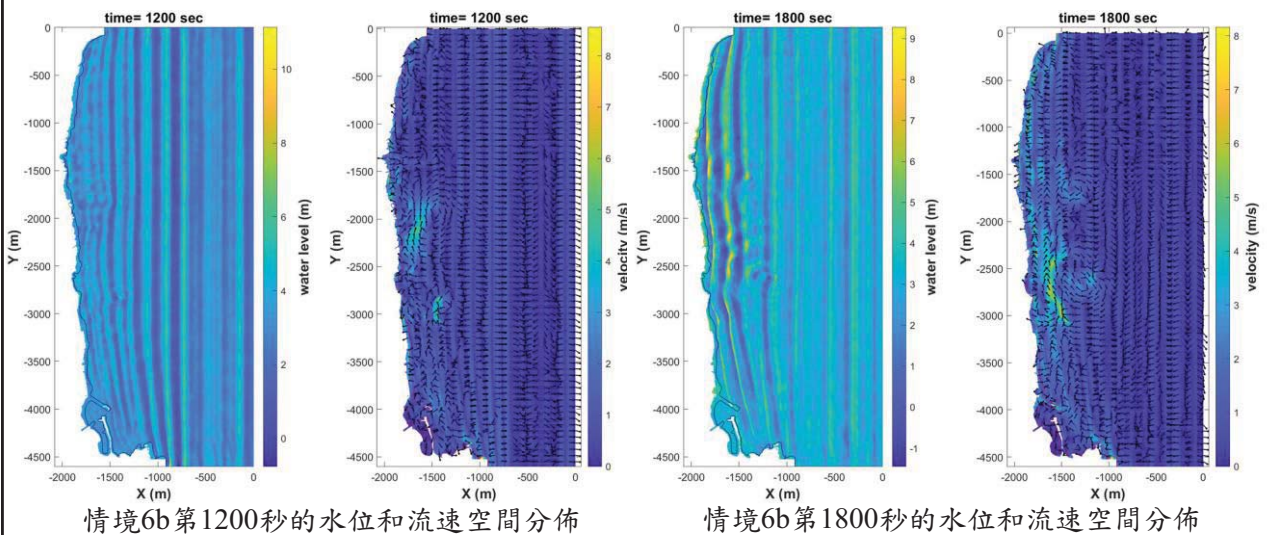
情境編號	區域編號	平均波向 (degree)	潮位(m)	緯度區間(度)		台11線里程
1a	1	90	1	23.865	23.92	7.5K到13K
1b			2			
1c			3			
2a	2	90	1	23.807	23.851	15K到20.5K
2b			2			
2c			3			
3a	3	90	1	23.657	23.696	38K到42.5K
3b			2			
3c			3			
4a	4	109	1	23.597	23.652	43.5K到49K
4b			2			
4c			3			
5a	5	105	1	23.521	23.597	51K到59.5K
5b			2			
5c			3			
6a	6	100	1	23.491	23.531	58.5K到63K
6b			2			
6c			3			
7a	7	110	1	23.354	23.403	75.5K到81K
7b			2			
7c			3			
8a	8	100	1	23.166	23.217	99K到105K
8b			2			
8c			3			

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模擬結果

- 情境溢淹範圍的計算以第6區潮位2m的情境6b為例，當完成情境模擬時，可得到情境模擬期間的最大水位空間分佈。在此將模擬期間陸地網格的最大溢淹水位超過1cm的區域視為溢淹範圍。模擬完24個情境後，便可計算取得各自的情境溢淹範圍。



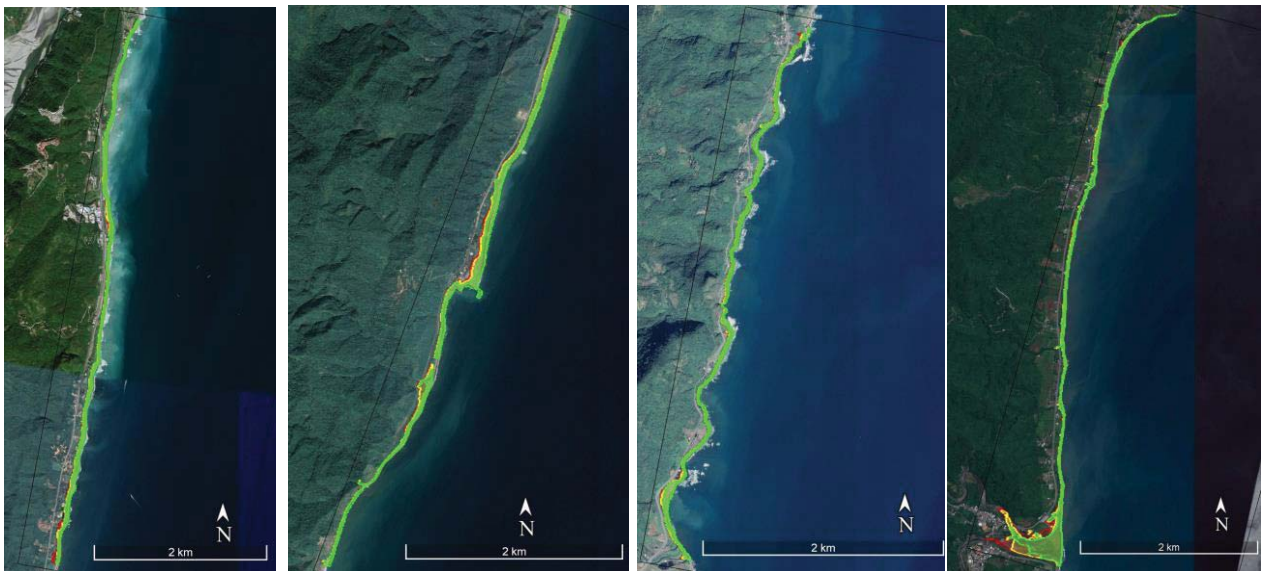
■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模擬結果



■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模擬結果

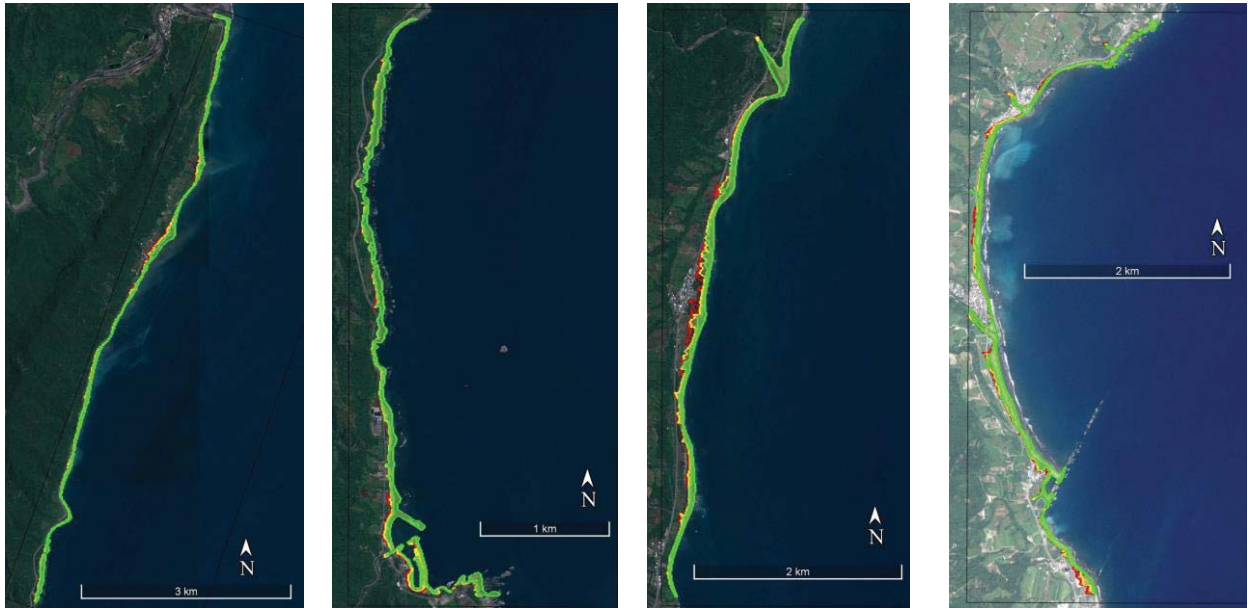
- 為了解上述的模擬情境對台11線道路的影響，在此先將陸地溢淹範圍定義為陸地淹水深度超過1cm的區域，然後利用Google Earth的衛星影像地圖當底圖，將情境溢淹水位的分布範圍套疊到8個道路區段。透過檢視8個區域衛星影像的道路位置與溢淹範圍分布是否重疊，並排除道路底下為河口或是排水道的路段，最後列出溢淹範圍接近台11線道路邊緣的里程區段以及道路發生溢淹的里程區段。

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模擬結果



左到右各為區域1到4的溢淹範圍，綠、黃、紅各對應潮位1、2和2.6m(Google Earth 2017年8月25日影像)

■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模擬結果



左到右各為區域5到8的溢淹範圍，綠、黃、紅各對應潮位1、2和2.6m(Google Earth 2017年8月25日影像)

- 由於模擬使用海洋地形缺少近岸深度0到20m的高解析度地形觀測值且內政部的DEM陸地地形亦為十幾年前的資料，可能造成模式的結果與實際有所出入。
- 例如公路總局第四區養護工程處指出近年來台11線52K附近的沙灘因為沙量不足，使颱風期間的道路邊坡堤址更容易受到波浪衝擊，可能造成邊坡崩塌。而情境模擬顯示波浪溢淹範圍離道路邊緣尚有十幾公尺的距離(右圖)，可能是因為模擬使用的地形與實際地形的差異所造成。

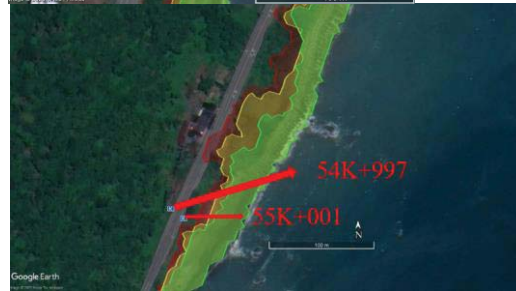


■ 評估花蓮海岸公路易受颱風波浪致災之區段-模擬結果

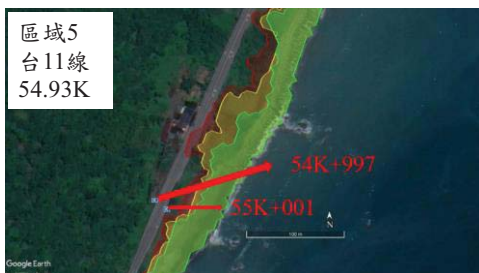
- 當情境潮位為1m和2m時，8個區段雖皆未出現道路溢淹的情形，但仍須留意溢淹範圍鄰近道路的里程區段，其道路邊坡可能受到海浪的衝擊而造成結構受損。由於使用的是水平2維模式，無法模擬波浪破碎所產生的浪花，須留意溢淹範圍鄰近道路的區段可能會有浪花飛濺到道路的情形。
- 例如公路總局第四區養護工程處指出44K至45K以及55K至57K路段由於路面高程較低處，在颱風期間似有浪襲情況出現。右圖可知44.5K和55K附近的路段在潮位2 m 以上時，波浪的溢淹範圍已鄰近道路邊緣，出現浪襲的可能性偏高。



情境潮位
1m 綠色
2m 黃色
2.6m 紅色



- 當情境潮位為較極端的2.6m時，共有7個路段出現道路溢淹，分別位於第5到8區，如圖所示，綠、黃、紅各對應於潮位1、2和2.6m。大部分的溢淹路段在潮位1m的情境下，溢淹範圍離道路尚有段距離。





- 由右圖可知，人定勝天碑路段(里程61.5K附近)即使在潮位1m的情境下，溢淹範圍也是緊鄰著海岸公路，加上2015年蘇迪勒颱風以及2016年梅姬颱風警報期間曾發生浪襲道路的事件，故本計劃將61.5K附近的路段做為COBRAS浪襲模擬的重點路段。

當區域6情境的潮位2.6m且示性波高5m的情況下，台11線61.6到61.8K發生道路溢淹(綠、黃、紅各對應於潮位1、2和2.6m，Google Earth 2019年10月27日衛星影像)



					XBEACH情境模擬的台11線溢淹路段表				
情境編號	潮位(m)	溢淹範圍鄰近道路的里程(K)	發生道路溢淹的里程(K)	溢淹範圍鄰近道路的里程所在行政區	情境編號	潮位(m)	溢淹範圍鄰近道路的里程(K)	發生道路溢淹的里程(K)	溢淹範圍鄰近道路的里程所在行政區
1a	1	8.87~9.05	無	花蓮縣壽豐鄉鹽寮村	6a	1	61.02	無	花蓮縣豐濱鄉港口村
1b	2	8.87~9.05	無				61.2~61.8	無	
1c	2.6	8.87~9.05	無				61.02	無	
2a	1	無	無	6b	2	61.2~61.85	無		
2b	2	無	無			61.02	無		
2c	2.6	無	無			61.2~61.85	61.6~61.8		
3a	1	38.2~38.32	無	花蓮縣豐濱鄉磯崎村	7a	1	無	無	臺東縣長濱鄉三間村
		41.32~41.36	無	花蓮縣豐濱鄉新社村	7b	2	77.2~77.8	無	
3b	2	38.2~38.32	無	花蓮縣豐濱鄉磯崎村	7c	2.6	77.2~77.8	77.25	
		41.32~41.36	無	花蓮縣豐濱鄉新社村	8a	1	99.5~100.1	無	臺東縣成功鎮博愛里
3c	2.6	38.2~38.32	無	花蓮縣豐濱鄉磯崎村			103.4~103.85	無	臺東縣成功鎮忠孝里
		41.32~41.36	無	花蓮縣豐濱鄉新社村			8b	2	99.5~100.1
4a	1	44.55	無	100.25~100.5	無				
4b	2	44.5~44.7	無	100.9	無				
4c	2.6	44.5~44.7	無	101.23~102	無	臺東縣成功鎮忠孝里			
5a	1	55.11~55.17	無	花蓮縣豐濱鄉豐濱村	8c	2.6	99.5~100.1	99.7~99.9	臺東縣成功鎮博愛里
		56.7~57.25	無	花蓮縣豐濱鄉豐濱村			100.25~100.58	100.34~100.58	
5b	2	54.93	無				100.9	無	
		55	無				100.95	無	
		55.11~55.17	無				101.23~102.15	101.25~101.63	
5c	2.6	55.84~56.2	無	花蓮縣豐濱鄉豐濱村			103.4~103.85	103.57	
		56.7~57.25	無		54.79	54.93	54.93	無	
		54.93	無						
		55	無						
		55.11~55.17	無						
		55.84~56.32	無						
56.7~57.25	無								
57.58	無								

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-COBRAS模式介紹

- 本文使用的COBRAS (COrnell BRaking wave And Structure)流體模式以美國Los Alamos 國家實驗室發展的二維不可壓縮流體的數值模式「RIPPLE」(Kothe 等人, 1991)為基礎, 經過Lin 和Liu加以修改後的版本, 為一2維垂直方向(2DV)的水動力模式, 可用來計算波浪與結構物的交互作用 (Lin and Liu, 1998), 以及波浪與孔隙介質的交互作用(Liu 等人, 1999)。此模式的程式碼以FORTRAN撰寫而成。
- 該模式主要求解Raynolds Averaged Navier Stokes (RANS)方程式, 並結合非線性k-ε紊流模式來求得紊流動能k及紊流消散率ε。模式特徵包括以流體體積法(Volume of Fluid, VOF)來描述流體在自由表面的變化。另外可按研究的需求在不同區域設定可變的網格解析。根據模式的輸出結果可得知模擬過程中的壓力、渦度、紊流黏滯力、動能、紊流消散、流速、自由表面的構成、質量守恆或和水漫(overtopping)的體積。

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-COBRAS模式介紹

- 在二維不可壓縮且黏性流動之牛頓流體假設條件下，其RANS控制方程式如下：
連續方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (4.1)$$

- 動量方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + g_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle \tau_{ij} \rangle}{\partial x_j} \quad (4.2)$$

其中 i 和 $j=1$ 或 2 ，分別代表水平方向和垂直方向。 u_i 代表第 i 個方向分量的流速。 ρ 和 p 各為密度和壓力。 g_i 表示第 i 個方向分量的重力加速度。 τ_{ij} 為黏滯應力。 $\langle \rangle$ 符號代表時間平均。另外：

$$\langle \tau_{ij} \rangle = 2\mu S_{ij} + \rho \langle u'_i u'_j \rangle \quad (4.3)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \quad (4.4)$$

其中 $\mu = \nu \rho$ 為動力黏滯係數，而 ν 為動能黏滯係數， S_{ij} 為剪應變率張量， u'_i 和 u'_j 各代表流速在 i 和 j 方向分量的瞬時擾動量， $\langle u'_i u'_j \rangle$ 為雷諾應力(Reynolds stress)。

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-COBRAS模式介紹

- 另外 k - ε 紊流閉合模式的控制方程如下：

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \langle u'_i u'_j \rangle \frac{\partial \langle u'_i \rangle}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + 2C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \nu_t S_{ij} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4.6)$$

其中

$k = \frac{1}{2} \langle u'_i u'_i \rangle$ 為紊流動能 (turbulence kinetic energy)

$\varepsilon = \nu \langle \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \right)^2 \rangle$ 為紊流消散率 (turbulence dissipation rate)

$\nu_t = C_d \frac{k^2}{\varepsilon}$ 為渦流黏度 (eddy viscosity)

$$C_d = \frac{2}{3} \left(\frac{1}{7.4 + S_{\max}} \right) \quad (4.7)$$

$$S_{\max} = \frac{\varepsilon}{k} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} \right| \right) \quad (4.8)$$

另外根據 Rodi (1980) 的建議值，在此將 σ_k 、 σ_ε 、 $C_{1\varepsilon}$ 、 $C_{2\varepsilon}$ 四個經驗參數設定為 1.0、1.3、1.44 以及 1.92。

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-COBRAS模式介紹

• 紊流模式根據渦流黏度的特性提供以下兩種型式來表示雷諾應力。

1.當渦流黏度為線性且具等向性：

$$\langle u'_i u'_j \rangle = -2\nu_t S_{ij} + \frac{2}{3}k\delta_{ij}$$

2.當渦流黏度為非等向性：

$$\langle u'_i u'_j \rangle = \frac{2}{3}k\delta_{ij} - C_d \frac{k^2}{\epsilon} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \frac{k^3}{\epsilon^2} \left[C_1 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_l} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_l} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_i} - \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) + C_2 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_k} - \frac{1}{3} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \right]$$

其中 δ_{ij} 為 Kronecker delta 函數

$$C_1 = \frac{1}{185.2 + D_{max}^2}$$

$$C_2 = \frac{1}{58.5 + D_{max}^2}$$

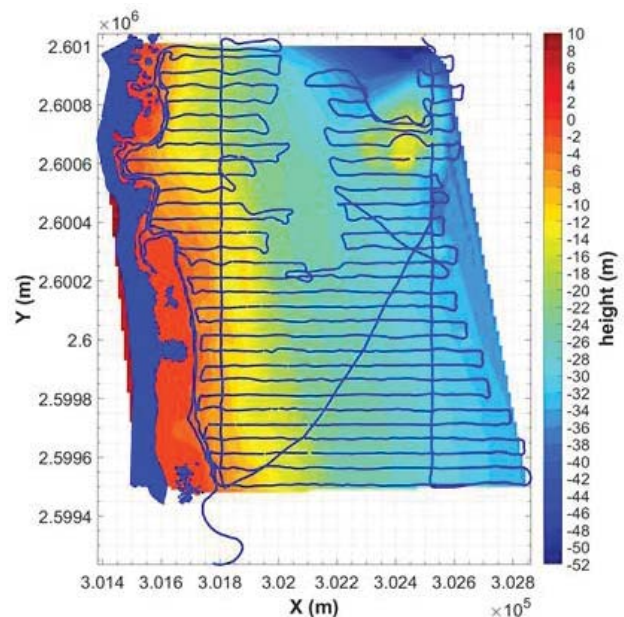
$$C_3 = \frac{1}{370.4 + D_{max}^2}$$

$$D_{max} = \frac{k}{\epsilon} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \right| \right)$$

當 $C_1 = C_2 = C_3 = 0.0$ 時，可由非等向性簡化成等向性的形式。由於渦流黏滯性在線性及等向性的條件下，當流場出現較複雜的紊流時，可能無法正確表現非等向性渦流的物理特性，所以本研究使用非等向性的渦流黏度。

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-數值地形

• 模式使用地形為港灣技術研究中心提供的高解析度光達陸地地形以及近岸的船測地形。地形的平面座標採用內政部公告之2010台灣地區TWD97大地基準，而高程座標則採內政部TWVD2001台灣地區的高程基準。其在台11線人定勝天段附近的網格化地形以及地形資料點分布如右圖所示。



台11線人定勝天段的網格化地形以及地形測點(藍點)分布

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-數值地形

- 本研究選取台11線人定勝天61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220等7個里程的道路斷面作為公路的浪襲情境模擬地點，並利用地形資料各從7個點位的離岸方向取切線作為模式地形，如圖1和2。在此利用XBeach模擬波浪從東邊界正向入射後的第136秒水位空間分佈，大致沿著波向線選取7個站的地形切線，如圖3。

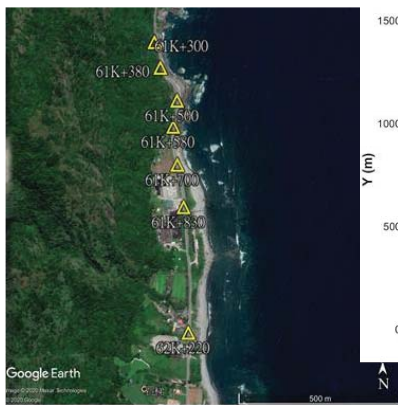


圖1 google earth 台11線人定勝天段選取的7個情境里程位置

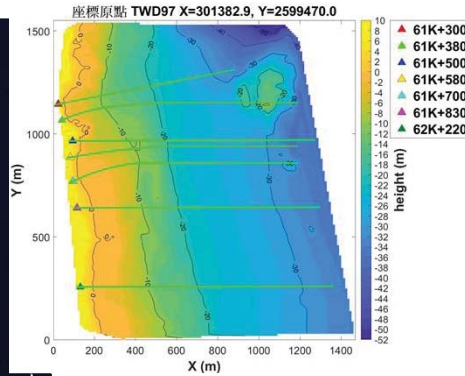


圖2 台11線人定勝天段7個里程位置(三角)以及地形切線(綠線)

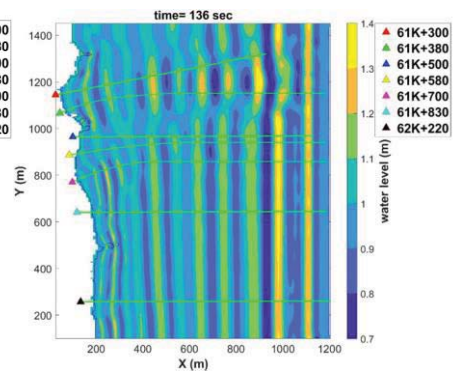
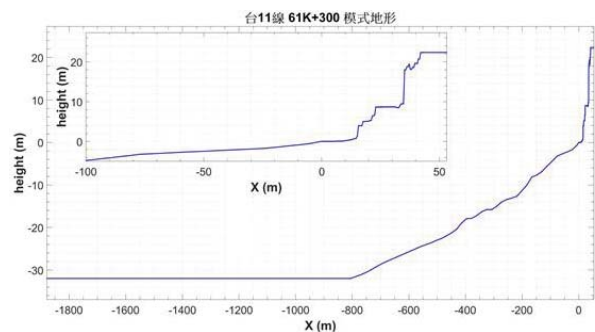
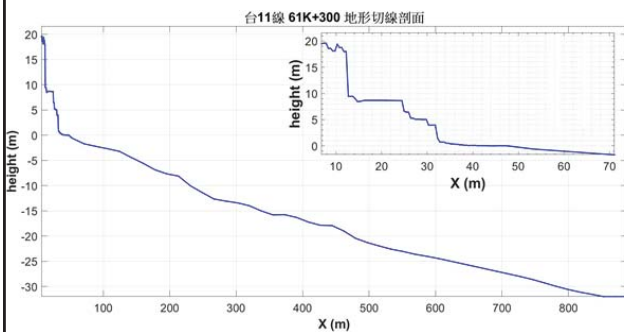


圖3 台11線人定勝天段7個站(三角)沿波向線選取地形切線(綠線)

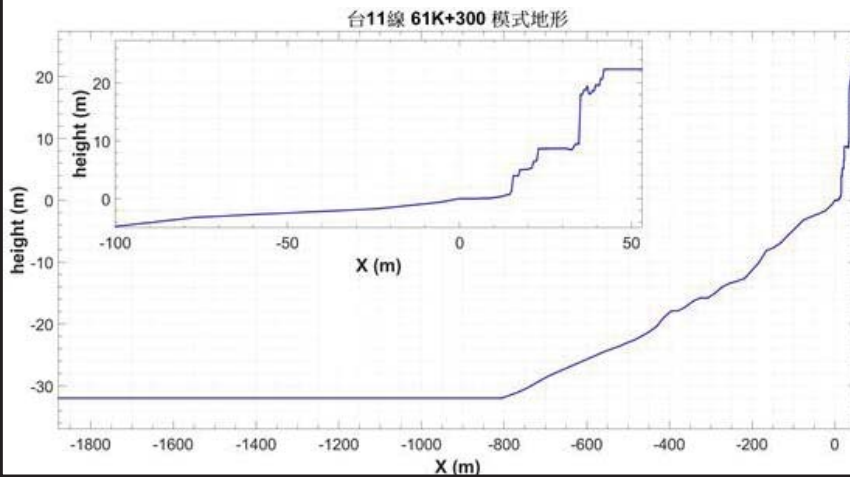
■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-數值地形

- 以61K+300為例(左下圖)，由深度32m的位置往離岸方向延伸6個波浪周期所能傳播的水平距離作為模式的等水深入射波區。以61K+300站且波浪週期10秒為例，由於模式的波浪由左邊界入射，故先將左下圖的切線地形左右翻轉後取出最大深度到32m的部分。從水深32m處延伸一段入射波區，最後將地形提供給模式使用(右下圖)。



■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-模式網格解析

- 模式的X方向網格解析度共分成三個區域，左側區域為均一水深32m的波浪入射區，解析度為2m；右側區域為高程大於0m的陸地，解析度為0.5m；介於水深32m到0m的中間區域由左到右解析度由2m線性變化到0.5m。在垂直的Y方向解析度為0.5m。至於時間解析方面使用調整式的時間步長，每個時間步驟都調整一次解析度。



- X座標介於-1875到-806m <math>X < 0</math>, 解析度2m
- X座標由-806到0m, 解析度2m變為0.5m
- X座標 > 0m, 解析度0.5m

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-情境條件

邊界條件的設定在上邊界(頂部)、下邊界(底部)以及右邊界為牆，而左邊界使用連續16個正弦波入射。除了參考2015年8月蘇迪勒颱風和天鵝颱風，2016年9月梅姬颱風以及2018年9月潭美颱風的警報期間，港研中心在花蓮港外海的AWCP觀測的示性波高和尖峰周期之外，再考慮花蓮港和石梯漁港的潮位和暴潮等因素。在此選擇5到12m等8種入射波高條件以及10到16秒等7種入射週期條件，再搭配 -1到3m等9種初始水位條件的組合來模擬浪襲道路(右圖)，並將初始水位條件視於情境的潮位。

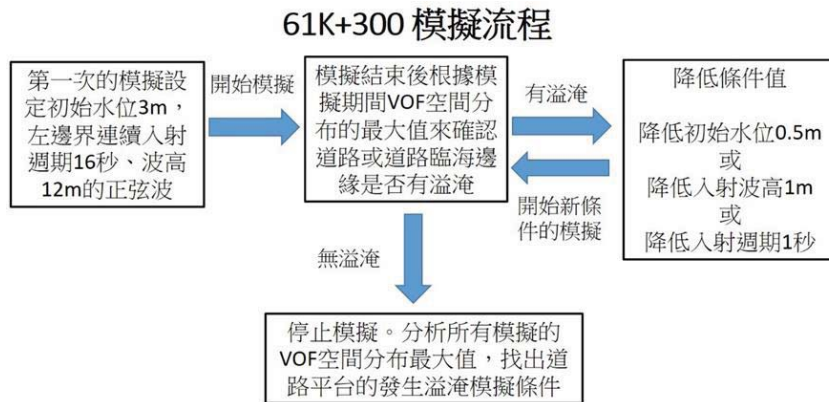
人定勝天段模擬條件組合

初始水位	入射波高	入射周期	位置
-1 m	5 m	10秒	61K+300
-0.5 m	6 m	11秒	61K+380
0 m	7 m	12秒	61K+500
0.5 m	8 m	13秒	61K+580
1.0 m	9 m	14秒	61K+700
1.5 m	10 m	15秒	61K+830
2.0 m	11 m	16秒	62K+220
2.5 m	12 m		
3.0 m			

另外由於水深32m的入射波區入射超過12m的正弦波，模式的入射波於入射後容易因波形不穩定而降低波高，故波高的上限值選擇12m。所有模擬的初始條件為流速0且無擾動單一水位的水平面。模擬時間設定為第一波到達陸地後，再加上16個入射波周期。

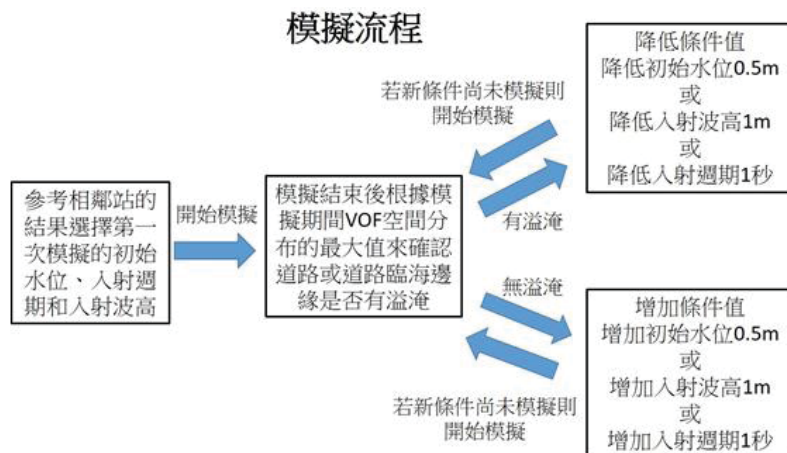
■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-模擬流程

- 模擬流程先考慮61K+300站在海況條件最嚴重的情況，即左邊界先以波高12m、週期16秒的連續16個正弦波入射，以及3m的初始水位進行模擬。如果在此條件下發生道路溢淹，則以調降左邊界的入射波之波高、週期或初始水位後重啟新的模擬，基本上以該方式降低海況條件直到道路和道路臨海邊緣不發生溢淹或已達條件的下限值為止，如左下圖。此外當滿足無溢淹的海況條件時，仍模擬了數個海況條件值更小的情境來確認溢淹情況是否不同。



■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-模擬流程

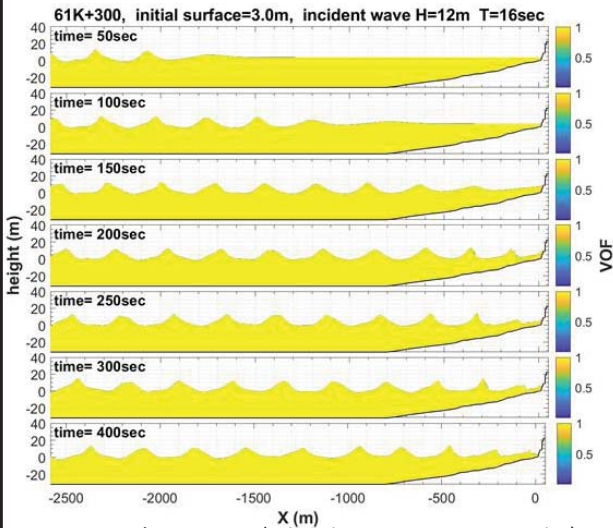
- 61K+380站則參考相鄰的61K+300站之溢淹結果來決定的第一次模擬條件，並於模擬後對應於道路或道路邊緣的溢淹結果各自增加或降低初始水位、入射波高和入射週期條件，直到增加或降低的條件皆已被模擬為止，如右圖。其他五站的模擬流程與61K+380站相同。最後分析所有模擬情境的模擬期間VOF空間分布最大值來探討發生道路溢淹的海況條件。



61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830和62K+220的模擬流程。

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-模擬流程

- 以61K+300站為例，其模擬時間第50、100、150、200、250、300、和400秒的VOF空間分布



61K+300站情境模擬左邊界波高12m、週期16秒的連續正弦波入射且初始水位為3m的7個時間段VOF空間分布。

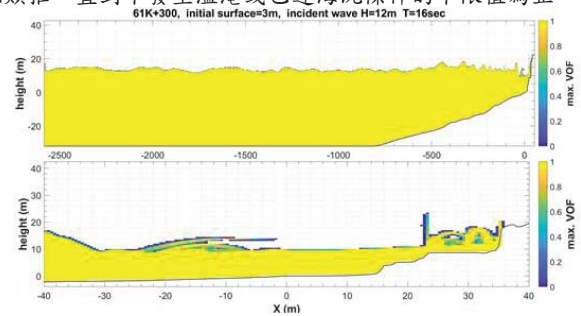
以模擬期間VOF空間分布最大值來判斷溢淹與否，如下圖。陸地區域X座標0到35.5m皆有溢淹的狀況，其中X=23.5到31.5m為路面範圍。當浪襲造成道路溢淹或者是道路臨海邊緣出現溢淹時，皆降低其中一個海況條件進行新的情境模擬，因此進行以下的三個後續模擬：

波高11m，週期16秒，初始水位3.0m

波高12m，週期15秒，初始水位3.0m

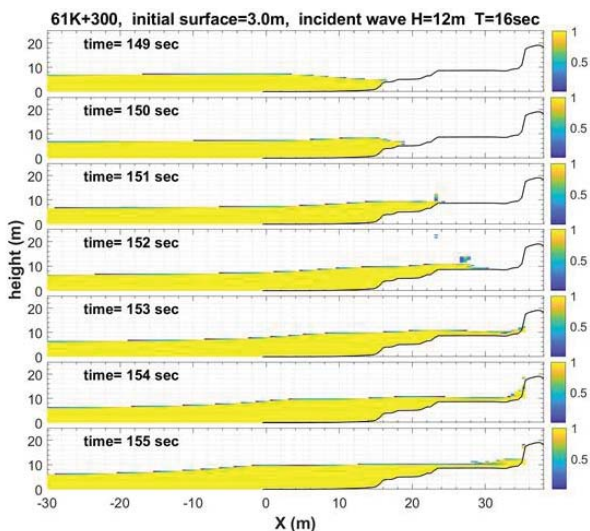
波高12m，週期16秒，初始水位2.5m

以此類推，直到不發生溢淹或已達海況條件的下限值為止。

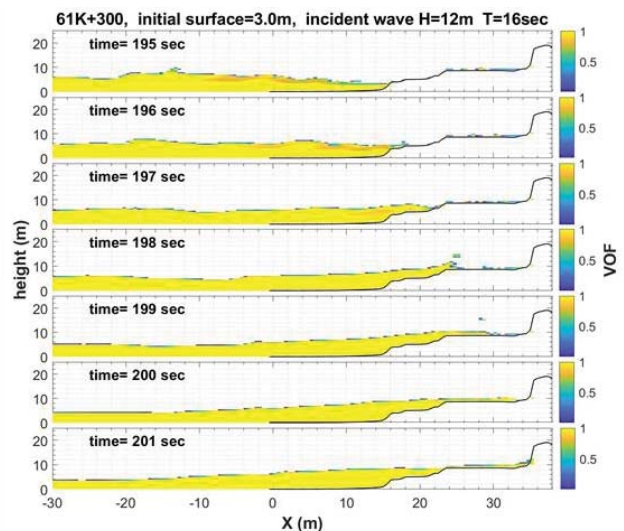


61K+300站的模擬期間VOF空間分布最大值

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-模擬流程



61K+300站情境模擬第149到155秒(左圖)以及第195到201秒(右圖)發生浪襲道路的溢淹事件

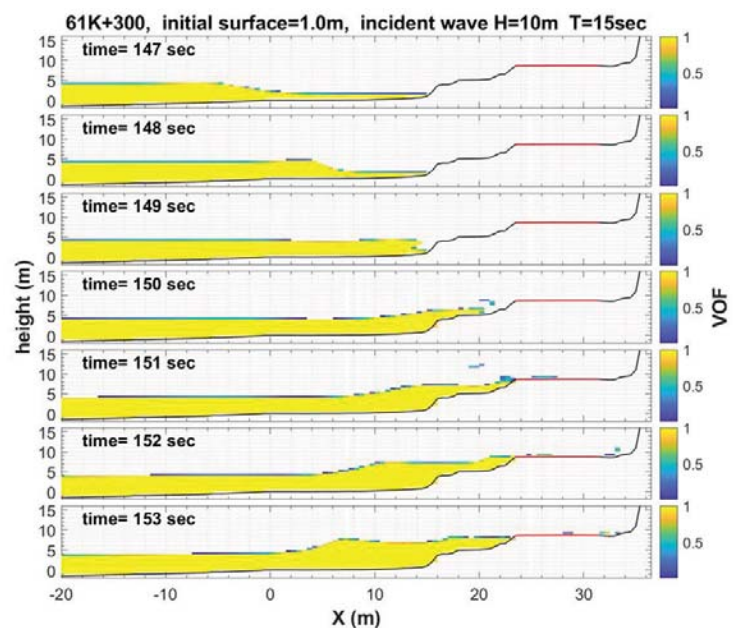


■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-模擬結果

- 本研究對台11線人定勝天段61+300K、61+380K、61+500K、61+580K、61+700K、61+830K和62+220K等7個站依不同海況條件各進行情境模擬。為後續分析道路與道路臨海邊緣的溢淹情形以及考量道路通行安全作出下列定義。
- 道路發生溢淹定義：模擬期間的道路範圍出現淹水或道路上方出現浪花。
- 道路臨海邊緣的溢淹定義：模擬期間的道路臨海邊緣出現淹水或邊緣的上方出現浪花。
- 陸地溢淹距離的定義：距離的起點為海陸交界處，而終點設限制在道路的陸側邊緣。
- 道路溢淹距離的定義：起點和終點各為道路的靠海和靠陸邊緣，溢淹距離介於0到8m之間(62K+220站為0到32m之間)。
- 道路臨海邊緣的溢淹高程定義：道路臨海邊緣出現的最大淹水高度或浪花高度，該值有助於海況條件將達到發生道路溢淹前的警戒參考。

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-台11線61K+300站

- 人定勝天段61K+300站所在的道路高程約8.7m，道路離海岸線距離約23.5m，基於不同的邊界入射波高、波浪周期以及初始水位條件組合，共進行334個浪襲道路的情境模擬。結果有145個情境發生道路溢淹，其中142個情境溢淹滿整個路寬。



61K+300道路溢淹的情境，路面為X=23.5到31.5處(紅線)

61K+300情境模擬的陸地溢淹距離(單位m)															
國道 里程	潮位 (m)	波高 5m						波高 6m							
		週期 10秒	週期 11秒	週期 12秒	週期 13秒	週期 14秒	週期 15秒	週期 16秒	週期 10秒	週期 11秒	週期 12秒	週期 13秒	週期 14秒	週期 15秒	週期 16秒
61K+300	1.0						16.0								21.0
	1.5	17.0	17.5	17.0	17.5	17.5	17.5	21.0	17.5	17.0	17.5	21.0	21.0	21.0	
	2.0	17.5	21.0	21.0	21.0	21.5	22.0	22.0	21.0	21.0	21.0	21.5	21.0	22.0	
	2.5	22.5	23.0	22.0	22.0	22.5	22.5	31.5 (8)	22.5	22.5	22.0	23.0	22.5	23.0	31.5 (8)
	3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
	國道 里程	潮位 (m)	波高 7m						波高 8m						
	61K+300	-0.5													
0.0															21.0
0.5															22.0
1.0							21.0	21.0	22.0			17.5	21.0	22.0	21.5
1.5		17.5	17.5	18.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	22.0	22.0	23.0
2.0		21.0	21.0	21.0	22.0	22.0	22.0	22.5	21.0	21.0	22.0	22.5	22.5	22.5	23.0
2.5		22.5	22.5	23.0	22.5	22.5	23.5	31.5 (8)	22.5	23.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	

註1.無數值的部分表示無模擬該情境。
 註2.陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣。
 括弧數值為路寬8m的溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

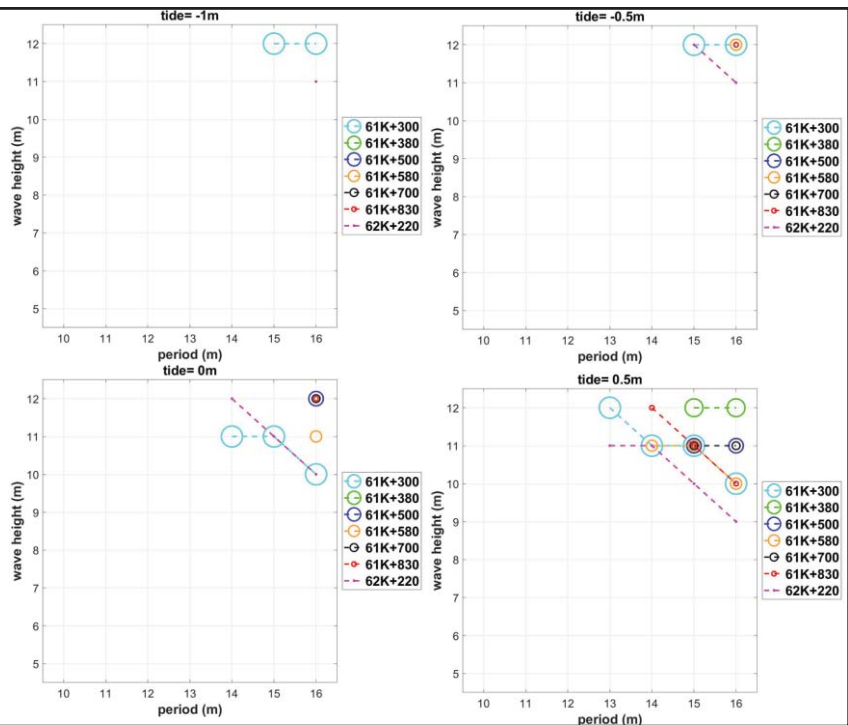
61K+300情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程(單位m)															
國道 里程	潮位 (m)	波高 5m						波高 6m							
		週期 10秒	週期 11秒	週期 12秒	週期 13秒	週期 14秒	週期 15秒	週期 16秒	週期 10秒	週期 11秒	週期 12秒	週期 13秒	週期 14秒	週期 15秒	週期 16秒
61K+300	1.0														0.0
	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5
	2.5	9.0	9.2	9.5	7.7	8.1	10.5	13.0	8.1	8.7	8.0	10.5	8.1	10.6	12.0
	3.0	12.5	11.5	13.0	17.6	20.0	14.7	19.0	10.5	13.0	12.5	20.8	29.2	23.0	15.5
	國道 里程	潮位 (m)	波高 7m						波高 8m						
	61K+300	-0.5													
0.0															0.0
0.5															7.3
1.0							0.0	0.0	7.3			0.0	0.0	7.1	8.5
1.5		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	7.6	10.5
2.0		0.0	0.0	0.0	7.5	7.8	8.0	9.0	0.0	0.0	7.2	8.0	11.0	8.8	34.0
2.5		8.5	8.7	11.8	8.8	9.0	11.5	14.5	10.5	10.0	9.2	13.5	12.5	23.0	18.0
3.0	22.7	12.7	10.0	12.5	13.3	39.8	16.5	13.1	19.7	24.2	14.5	13.0	13.0	12.0	

註1.無數值的部分表示無模擬該情境。
 註2.道路臨海邊緣的水位包括湖上水位以及飛濺的浪花。

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-討論

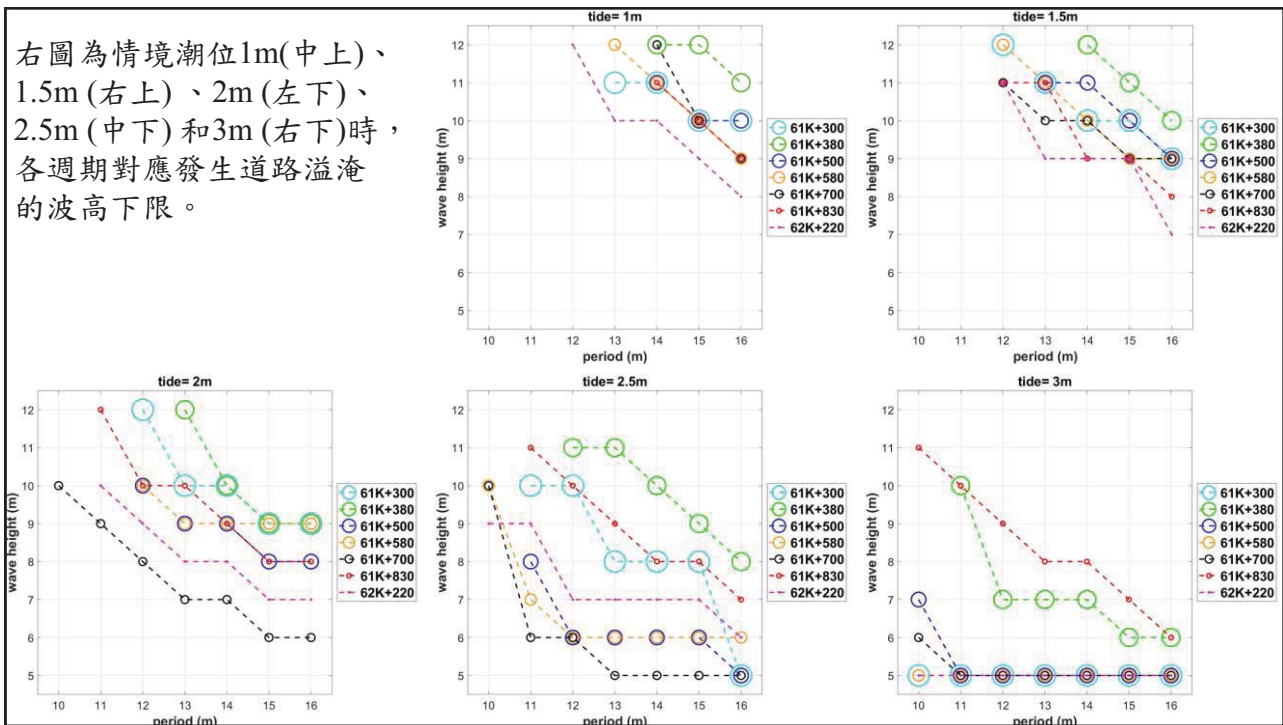
- 在絕大部分的情境中，當入射波高越高，入射週期越大且初始水位值越高則溢淹距離越遠。
- 絕大部分當發生道路溢淹時，溢淹範圍會達到整個路面。此情形在62K+220亦相同，當停車場加道路的區域發生溢淹時，大多會淹滿整個區域。主要是因為海浪溯上(或飛濺)的水體持續往道路內側流動，加上路寬僅8m所致。
- 道路臨海邊緣的最大溯上(或飛濺)水位高程的趨勢與入射波高、週期和潮位等三者情境條件之間沒有一定的相關性，可能與波浪在道路邊坡造成的向上衝擊型態有關。

- 為了解人定勝天段7個站發生道路溢淹條件之間的差異，在此根據各站的所有道路溢淹的情境條件，以固定潮位的方式，每站列出每個入射週期會發生溢淹的入射波高下限值。



右圖為情境潮位-1m(左上)、-0.5m(右上)、0m(左下)和0.5m(右下)時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限。

右圖為情境潮位1m(中上)、1.5m(右上)、2m(左下)、2.5m(中下)和3m(右下)時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限。



■ 異常波浪容易致災區段之波浪潮上與溢淹數值模式建立-發生溢淹的下限

- 當潮位為-1到0m時，波高至少需要10m以上，同時週期需14秒以上的情況才會出現溢淹。而隨著潮位的增加，出現溢淹的週期最小值下降，各週期發生溢淹的波高下限亦下降。
- 大致而言，61K+380站在各種潮位條件下皆需要較大的周期和波高才能出現溢淹，原因是該情境模擬的地形在外海有一水深接近10m的突起地形，導致入射波浪的部分破碎，使傳遞到岸邊的能量遭到削弱。而62K+220站因其路面高程較低(7.3m)且離岸距離較近(27m)，在各種潮位情況下，發生溢淹所需的條件值皆偏低。
- 當潮位在1m以下時，61K+300站僅次於62K+220站，也屬於容易溢淹的位置。當潮位在2m以上時，61K+700站發生溢淹所需的週期和波高條件相對於其他站較低，可能與其路面高程7.6m以及離岸距離僅21m有關。

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-花蓮海岸公路浪襲預警系統

• 浪襲警戒燈號定義

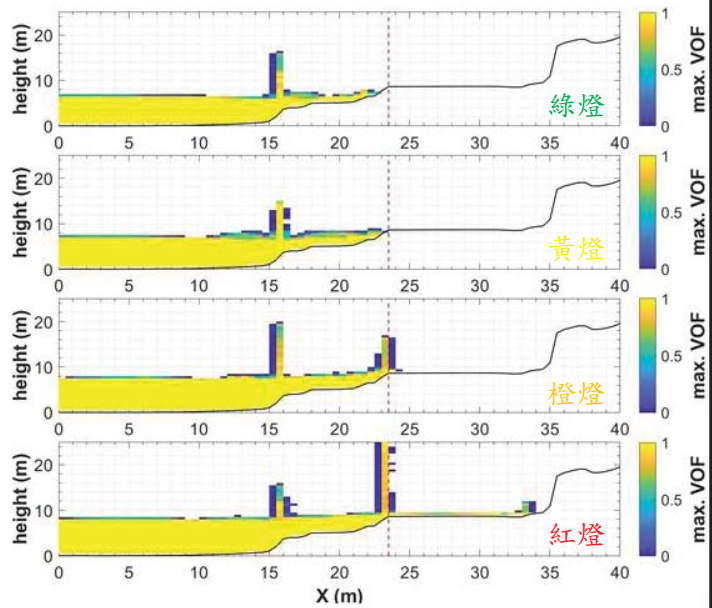
灰色：缺少示性波高、尖峰週期或潮位等預報值而無法判斷。

綠色：接近道路邊緣的水位(或浪花)低於平台高程-1m。

黃色：接近道路邊緣的水位(或浪花)高於平台高程-1m，但路面尚未出現溢淹。

橙色：部分路面出現溢淹。

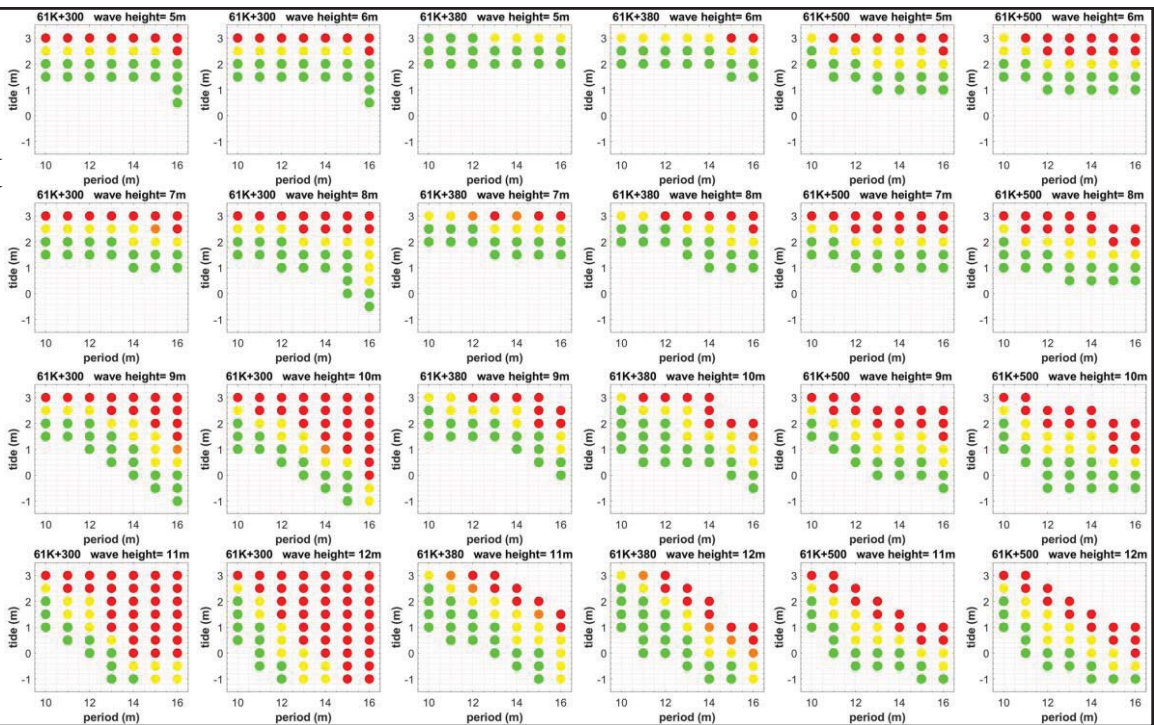
紅色：整個路面出現溢淹。



61K+300站的模擬期間VOF空間分布最大值，潮位條件皆為1m，入射波週期皆為16秒，由上至下的入射波波高各為7m、8m、9m和10m，分別代表警戒燈號綠、黃、橙和紅。(紅色虛線右側X=23.5到31.5m為道路區域)

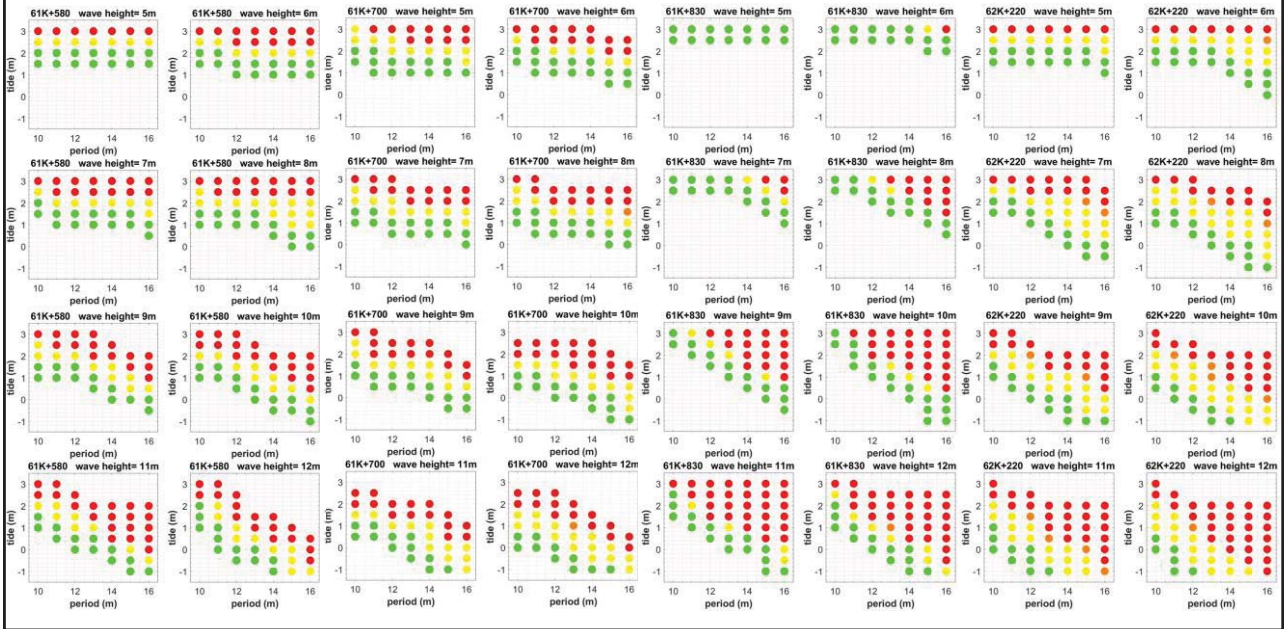
8種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號。

61K+300站
61K+380站
61K+500站



■ 異常波浪容易致災區段之波浪潮上與溢淹數值模式建立-花蓮海岸公路浪襲預警系統

61K+580站、61K+700站、61K+830站和62K+220站 8種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號



■ 異常波浪容易致災區段之波浪潮上與溢淹數值模式建立-花蓮海岸公路浪襲預警系統

- 海況條件與浪襲系統的使用
由於浪襲警戒燈號是根據情境資料庫的邊界入射波波高、週期以及潮位等三個條件來決定，目前港灣研究中心可提供的SWAN(Simulating Waves Nearshore)模式和COHERENS(COUpled Hydrodynamical Ecological model for REgional Shelf seas)模式在人定勝天段外海的石門站(圖4.44)資料，利用其示性波高、尖峰週期和潮位預報值來決定三個條件，並藉此產生台11線人定勝天段的海岸公路浪襲警戒預報檔，如右圖。



人定勝天段外海提供示性波高、尖峰週期和潮位預報值的模式預定點(石門)

第1-4欄				第5-7欄			第8-28欄				第29欄			
2020	07	03	12	1.059	4.946	-0.808	1	0.00	0	1	0.00	0	1	
2020	07	03	13	1.127	4.946	-0.594	1	0.00	0	1	0.00	0	1	
2020	07	03	14	1.050	4.946	-0.301	1	0.00	0	1	0.00	0	1	
2020	07	03	15	0.924	4.946	0.008	1	0.00	0	...	1	0.00	0	1
2020	07	03	16	0.828	4.946	0.256	1	0.00	0	1	0.00	0	1	
2020	07	03	17	0.736	4.946	0.395	1	0.00	0	1	0.00	0	1	
2020	07	03	18	0.701	4.946	0.398	1	0.00	0	1	0.00	0	1	

人定勝天段浪襲警戒預報檔內容

- 上圖各欄位的意義如下：
 - 第1到4欄：年、月、日、時
 - 第5到7欄：依序為預報的示性波高(m)、尖峰週期(sec)和潮位(m)
 - 第8到28欄：第8到11欄各為里程編號61K+300的燈號、道路臨海邊緣的最大水位高程(m)以及道路臨海邊緣起算的溢淹距離(m)。後續的欄位與第8到11欄意義相同，各別屬於里程編號61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220。
 - 29欄：7個里程編號中最大的燈號值
- 警戒燈號利用情境資料庫的入射波高、週期以及潮位等三種條件對預報值的示性波高修正值、尖峰週期和潮位等三個值進行陸地溢淹距離的內插，最後根據陸地溢淹距離或道路臨海邊緣的水位高程來決定。因為情境模擬的波高、週期和潮位條件範圍有限制，當預報的示性波高修正值、尖峰週期或潮位超出情境入射波高或周期的上限時，則對應到入射波高或週期條件上限值。同理若低於情境下限時，則對應到下限值。

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-花蓮海岸公路浪襲預警系統

- SWAN預報的示性波高在利用情境資料庫內插之前需先經過三項修正。
- 首先異常波浪的波高可視為示性波高的2倍，即直接將預報的示性波高值乘2。
- 第二項為水深修正，由於預報點的水深61m，而模擬邊界水深32m，故根據淺化作用來調整示性波高。假設波浪在不同水深的能通量不變，即 $C_g * E$ 為定值，其中 $E = a^2$ ， a 為波浪振幅。則可利用下式按照不同的波高和周期來計算水深61m傳遞到水深32m的淺化係數 K_s ，再將預報的示性波高值乘上 K_s 。

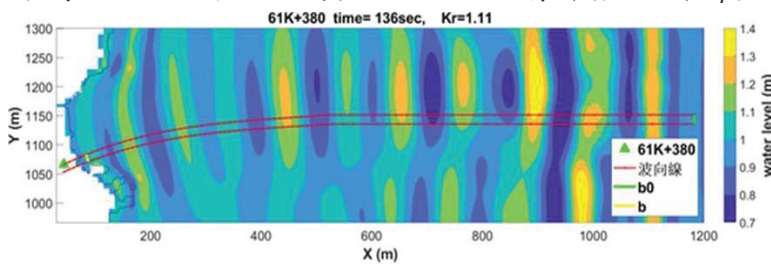
$$H_2 = H_1 K_s$$

其中 $K_s = \sqrt{\frac{C_{g1}}{C_{g2}}}$ ，下標1和2各代表水深61m和32m。另外群波波速 $C_g = \frac{c}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)$ ，個別波波速 $C = \frac{\omega}{k}$ ，波數 $k = \frac{2\pi}{L}$ ，角頻率 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ， T 為週期。波長 L 由Fenton和Mckee(1990)的波長近似公式計算： $L = L_o \tanh^{2/3} \left(\frac{2\pi h}{L_o} \right)^{3/4}$ ，其中 $L_o = 1.56T^2$ 。

- 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-花蓮海岸公路浪襲預警系統
- 第三項為利用波能的水平折射變化修正波高。61K+380、61K+580、61K+700等三站所取的地形切線是沿著折射的波向線，與其他四站的正東入射並不相同。故參照許(2003)的公式計算波能在水平方向上的折射變化，並利用XBeach模擬波浪從東邊界正向入射後的第136秒水位空間分佈畫出三站的波向線。以右圖61K+380站為例，紅線為波向線，而 b_0 (綠線)和 b (黃線)各為兩條波向線在外海和近岸的寬度。假設通過寬度 b_0 與通過寬度 b 兩者的能量一致。則可利用折射係數 K_r 乘上預報的示性波高作修正，如下式：

$$H = H_0 K_r$$

其中 $K_r = \sqrt{\frac{b}{b_0}}$ ， H 和 H_0 各為外海和近岸的波高。61K+380、61K+580、61K+700三站所計算的 K_r 各為1.11、1.13和1.16。其他四站由於沒有折射，故令 K_r 值=1。



綜合上述三種修正，預報的示性波高修正式：

$$H_s^{\text{修正值}} = 2H_s^{\text{預報值}} K_s K_r$$

K_s ：淺化係數

K_r ：折射係數

- 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-花蓮海岸公路浪襲預警系統

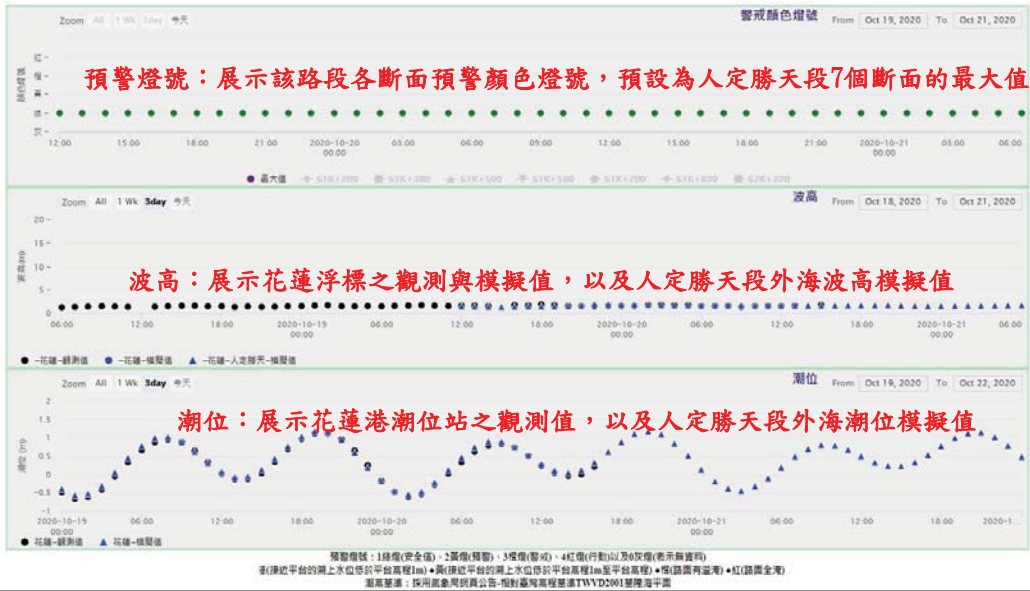
第1-4欄	第5-7欄	第8-28欄	第29欄
2020 07 03 12	1.059 4.946 -0.808	1 0.00 0 1 0.00 0	1
2020 07 03 13	1.127 4.946 -0.594	1 0.00 0 1 0.00 0	1
2020 07 03 14	1.050 4.946 -0.301	1 0.00 0 1 0.00 0	1
2020 07 03 15	0.924 4.946 0.008	1 0.00 0 ... 1 0.00 0	1
2020 07 03 16	0.828 4.946 0.256	1 0.00 0 1 0.00 0	1
2020 07 03 17	0.736 4.946 0.395	1 0.00 0 1 0.00 0	1
2020 07 03 18	0.701 4.946 0.398	1 0.00 0 1 0.00 0	1

人定勝天段浪襲警戒預報檔內容

- 以上圖第1行2020年7月3日12時的61K+300站為例。當示性波高為1.059m(第5欄)、尖峰週期為4.946秒(第6欄)、潮位-0.808 m(第7欄)時，利用4.13式對示性波高進行修正可得2.119m，並將該值當作情境的入射波高條件。由於2.119m低於情境入射波高最小值5m、而週期亦低於情境入射週期最小值10秒，故無法利用情境條件內插。然而最接近的情境條件為波高5m、週期10秒及潮位1.5m，且該模擬情境為綠燈(圖4.37)。由於2020年7月3日12時段的波高、週期和潮位皆低於前述模擬情境的波高、週期和潮位，故給予綠燈值1(第8欄)，並給予道路臨海邊緣的最大水位高程(第9欄)和道路溢淹距離(第10欄)兩者0值。

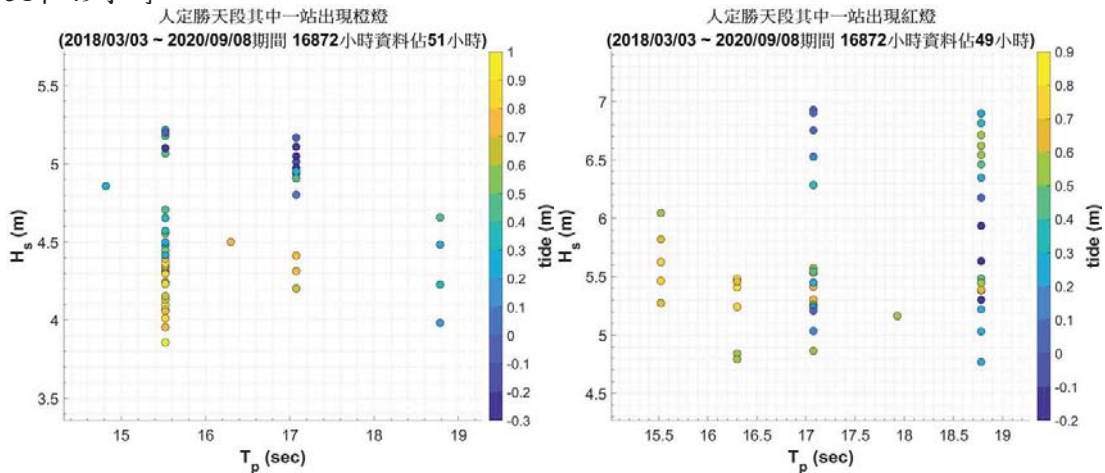
■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-花蓮海岸公路浪襲預警系統

花蓮海岸公路浪襲預警系統之視窗以網頁形式作為顯示
<https://isohe.ihmt.gov.tw/station/display/Hualien/Hua-2.aspx>



■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-浪襲系統的路段浪襲評估與驗證

- 本節使用港研中心過去2018年3月3日到2020年9月8日期間在人定勝天段外海所預報的COHERENCE潮汐資料(經度121.509、緯度23.516)以及SWAN波浪資料(經度121.52, 緯度23.5)搭配情境資料庫條件來計算資料期間每個小時的浪襲燈號。下圖為人定勝天段7站的任1站出現橙燈(左)和紅燈(右)的結果。在16872小時的資料中，橙和紅燈各佔51和49小時。



■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-浪襲系統的路段浪襲評估與驗證

- 下表為同樣方式個別對7個站進行計算所得的浪襲燈號時數。由該表可知61K+580、61K+700和62K+220道路浪襲的時數為89、91和99，佔前三名，可列為颱風來襲時的優先關注地點。

2018年3月3日到2020年9月8日的波浪和潮位預報值搭配情境資料庫所得到的燈號時數

里程編號	浪襲警戒燈號發生時數				道路發生浪襲時數	道路高程(m)
	綠	黃	橙	紅		
61K+300	16802	4	27	39	66	8.7
61K+380	16820	12	33	7	40	8.7
61K+500	16827	3	25	17	42	8.2
61K+580	16777	6	40	49	89	7.8
61K+700	16816	8	53	38	91	7.6
61K+830	16819	1	23	29	52	7.5
62K+220	16760	13	62	37	99	7.3

■ 異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立-浪襲系統的路段浪襲評估與驗證

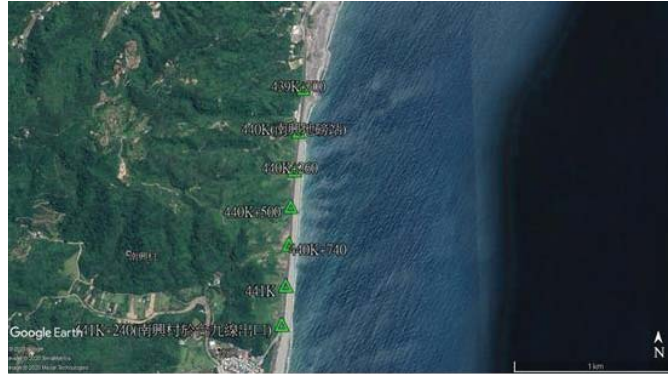
- 2018年潭美颱風期間在9月28日晚間8點左右，台11線61K400附近曾發生浪襲道路事件(下圖)。根據當時COHERENCES潮位預報值為0.67m，而SWAN預報的示性波高以及尖峰週期各為5.41m和16.3秒。預報的示性波高經修正的結果為11.59m，將潮位、尖峰週期以及修正的示性波高利用61K+380站的情境資料庫作內插可得到陸地溢淹距離為28.88m，而當溢淹距離超過21m代表道路溢淹(路寬8m有7.38m出現溢淹)。其警戒燈號屬於橙燈，即與當時發生道路浪襲的情況符合。



2018年9月28日晚間約8點在61K+400附近的浪襲影像(公路總局第四區養護工程處提供)

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進

- 對於交通部運輸研究所民國106年的「海岸公路異常波浪特性及防災應用技術之研究」計畫所建立的臺東海岸公路南興段的海岸公路浪襲預警系統在台9線公路南興段於道路里程439K+700、440K+400、440K+260、440K+260、440K+500、440K+740、441K+000和441K+240等7站為進行浪襲道路的預警。
- 本計畫利用同化的方法以13個月的示性波高觀測值對同時期的預報值進行同化修正來精進目前的臺東海岸公路浪襲預警系統。



台九線南興段7站位置(綠三角)

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-研究方法

- 資料同化方式是參考歐等人(2004)使用的最佳內插法是基於Gandin (1963) 發展的分析方法，其目的是建立觀測資料的統計架構，並決定最佳的權重，再利用各測站的觀測值對數值模式中的各個座標位置進行預報值的同化。最佳內插法的公式如下：

$$H_i^A = H_i^P + \sum_{j=1}^{N_{obs}} W_{ij} (H_j^O - H_j^P) \quad (1)$$

其中 N_{obs} 為觀測站的數量， H_j^O 為觀測波高值， H_j^P 為模式波高值， H_i^A 為預報值經資料同化後的波高值， W_{ij} 為各個測站相對模式各個網格位置的權重，下標 i 和 j 表示第 j 個測站位置對應於第 i 個模式位置的權重。由於實測波高值 H^O 、模式的起始猜測值 H^P 及分析值 H^A 與真值 H^T 之間含有誤差 ϵ 的存在，如下表示：

$$\epsilon^O = H^O - H^T \quad (2a)$$

$$\epsilon^P = H^P - H^T \quad (2b)$$

$$\epsilon^A = H^A - H^T \quad (2c)$$

其中 ϵ^O 、 ϵ^P 及 ϵ^A 分別為實測波高值、模式的起始猜測值及分析值與真值之間的偏差量，將第(2)式代入第(1)式，可得下式：

$$\epsilon^A = \epsilon^P + \sum_{j=1}^{N_{obs}} W_{ij} (\epsilon_j^O - \epsilon_j^P) \quad (3)$$

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-研究方法

- 為求得最小化的分析誤差，故以分析誤差之均方誤差 (mean square error) 決定最佳化的權重 W_{ij} ，並定義 $P_{kj} = \langle \varepsilon_k^P \varepsilon_j^P \rangle$ 為起始猜測值的均方誤差矩陣， $O_{kj} = \langle \varepsilon_k^O \varepsilon_j^O \rangle$ 為實測值的均方誤差矩陣。為求最小化，故令其微分結果為零，可得下式。

$$\sum_{j=1}^{N_{obs}} W_{ij} (P_{kj} + O_{kj}) = P_{ik}, \quad k = 1, 2, 3 \dots N_{obs} \quad (4)$$

- 定義 $M_{kj} = P_{kj} + O_{kj}$ ，進一步將第(5.4)式展開為聯立方程組，如下：

$$\begin{bmatrix} M_{11} & \dots & M_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{k1} & \dots & M_{kj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{1i} \\ \vdots \\ W_{ji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1i} \\ \vdots \\ P_{ki} \end{bmatrix} \quad (5)$$

- 由第 (5) 式可知，要計算各測站分配於計算格點的最佳權重，則必須求解 N_{obs} 組的聯立方程。如果觀測站的數量不多，則可使用靠高斯消去法求解出最佳權重。

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-研究方法

- 當真值為已知的條件下，可順利求得觀測值與預報值的均方誤差，但在實際應用上，並無法得知海面上的真實波高，所以在此引用Lionello(1992)定義的 P_{kj} 和 O_{kj} 計算方式，其表示如下：

$$P_{kj} = \exp\left(-\frac{\gamma_{kj}}{L_{max}}\right) \quad (6a)$$

$$O_{kj} = \delta_{kj} \left(\frac{(\varepsilon_k^O)^2}{(\varepsilon_p^O)^2} \right) = \delta_{kj} R_k \quad (6b)$$

- 其中 γ_{kj} 為 k 、 j 二測站的距離， L_{max} 為校正長度 (correlation length)，即把 P_{kj} 視為水平距離的空間函數。而 R 為實測值與起始猜測值的均方誤差比。在此假設實測值與起始猜值有相同的均方誤差，即 R_1 、 $R_2 \dots R_k$ 的值皆為1，則可將第(5)式改寫如下：

$$\begin{bmatrix} P_{11} + 1 & \dots & M_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{k1} & \dots & P_{kj} + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{1i} \\ \vdots \\ W_{ji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1i} \\ \vdots \\ P_{ki} \end{bmatrix} \quad (7)$$

- 由於即時同化只能修正當下的模式預報值，為了修正未來幾小時的預報值，在此使用第(5.8)式作預報修正，可得預報修正值 H_k^{Pc} 如下：

$$H_k^{Pc} = \frac{H_{now}^A}{H_{now}^P} * H_k^P \quad (8)$$

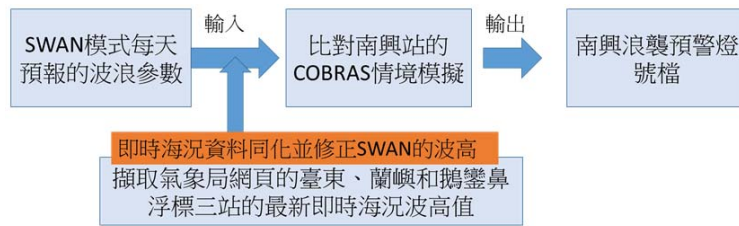
其中 $\frac{H_{now}^A}{H_{now}^P}$ 為修正係數，即當下的同化值與預報值的比例， H_k^P 為未來第 k 小時的預報值。

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-研究方法

- 2017年建立的海岸公路浪襲預警系統是輸出警戒資訊的大致流程如圖1。為提高系統預報的準確性，本計畫加入對SWAN模式預報作修正的步驟，其大致的流程更改為圖2。



海岸公路浪襲預警系統預警資訊未修正之前的流程



海岸公路浪襲預警系統預警資訊修正後的流程

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-研究方法

- 南興站預報修正的細部流程如下：

1. 抓取港灣研究中心每天提供的SWAN模式在南興、臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻四個近岸站的示性波高預報值。
2. 抓取中央氣象局(CWB, Central Weather Bureau)網頁提供的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻三站浮標的即時示性波高，搭配三站的預報值可對該小時的南興站預報值作同化。
3. 南興站同化後的示性波高除以該小時的預報值得到一個修正係數。
4. 南興站對該小時起的6小時預報值(依欲修正的時數而定)皆乘上修正係數作為預報修正值。

日期	浪高 (m)	浪高 (最大波高)	浪向 (順時)	浪向 (逆時)	浪向 (順時)	浪向 (逆時)	浪向 (順時)	浪向 (逆時)	浪向 (順時)	浪向 (逆時)	浪向 (順時)	浪向 (逆時)	浪向 (順時)	浪向 (逆時)	浪向 (順時)	浪向 (逆時)
08/15 (日) 15:00	1.5	5.0	3.7	3	5.2	3	28.1	999.4	0.30	0.21						
08/15 (日) 17:00	1.7	5.0	3.7	3	5.2	3	28.1	999.3	0.32	0.62						
08/15 (日) 19:00	1.7	5.2	5.5	4	7.1	4	28.7	999.2	0.48	0.93						
08/15 (日) 21:00	1.6	5.5	1.3	1	2.2	2	28.4	1000.0	0.39	0.76						
08/15 (日) 23:00	1.5	5.7	-	-	-	-	28.2	1000.5	0.47	0.91						

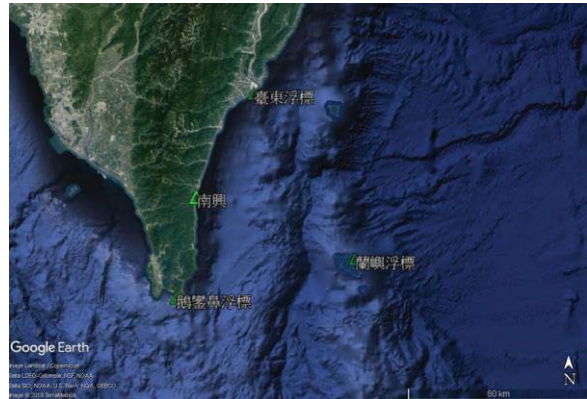
氣象局臺東外海的浮標即時觀測資料網頁
 (https://www.cwb.gov.tw/V8/C/M/OBS_Marine_30day.html?MID=WRA007)

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-研究方法

- 前述流程1的SWAN模式四個站經緯度和位置圖如表和圖所示，而流程2提到氣象局臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等三站的經緯度與SWAN模式的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻相同。如果氣象局三站中，只有其中有兩站有即時資料，則僅使用兩站作同化與預報修正，以此類推。若三站皆無資料則不作修正。

SWAN模式的預報點和氣象局波浪浮標的經緯度

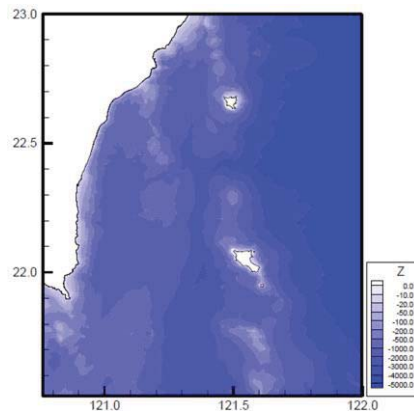
站名	經度	緯度
臺東浮標	121.1450	22.7240
蘭嶼浮標	121.5758	22.0719
鵝鑾鼻浮標	120.8314	21.9006
南興	120.9010	22.3170



SWAN模式的預報點和氣象局波浪浮標的位置

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-研究方法

- 本文所使用SWAN模式資料為港灣研究中心建立的小尺度臺灣東南海域風浪模式，其模擬範圍介於東經120.76到122度，北緯21.52到23度(如圖)，網格解析0.008度。其模式的風場根據港灣研究中心的TaiCOMS模式作業化風場作為輸入值。而邊界條件是由港灣研究中心的中尺度近域網格風浪模式提供在邊界附近的方向波譜資料。



港灣研究中心小尺度臺灣東南海域風浪模式的模擬範圍(港灣海象模擬技術及預警系統研發，2018年交通部運研所精簡報告)

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正

- 由於南興站目前沒有波浪的觀測資料，無法判斷預報值經修正後的預報能否符合實際的情況。故先以有觀測資料的臺東浮標站來評估歐等人(2004)的方法是否適用。逐時資料使用的時間期間約13個月，從2019年的8月3日到2020年8月31日，包括CWB的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等三個浮標測站的示性波高以及同時期SWAN模式在三個相同位置的示性波高。
- 先利用蘭嶼和鵝鑾鼻兩站當時的觀測值與預報值差值對臺東站的預報值作即時同化，再對臺東站後續6小時的預報值作預報修正。最後計算臺東站預報值與觀測值的RMSE(Root-Mean-Square Error)，比較在修正前、後是否有減少的趨勢，藉以判斷此修正方式是否能提高SWAN預報的準確度。

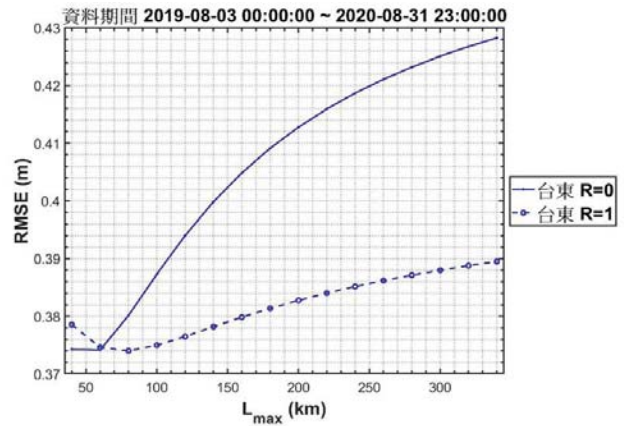
■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正

- 臺東站預報值的同化與修正流程如下：
 1. 抓取港灣研究中心SWAN模式預報的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等外海3個站的示性波高預報值。
 2. 抓取氣象局網頁提供的蘭嶼和鵝鑾鼻浮標2站的即時示性波高，搭配對應位置的預報值對該小時的臺東站預報值作同化。
 3. 臺東站同化後的示性波高除以該小時的預報值得一個修正係數。
 4. 臺東站對該小時開始6小時內的預報值皆乘上修正係數作調整。
- 流程2利用蘭嶼和鵝鑾鼻2個站修正臺東站，故可將第(7)式改寫如下：

$$\begin{bmatrix} P_{11} + 1 & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{21} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正

- 在此假設實測值與起始猜測值有相同的均方誤差，即 R_1 、 R_2 的值皆為1。而 P_{11} 和 P_{21} 各為蘭嶼站和鵝鑾鼻站的空間函數。由於第(6)式的校正長度 L_{max} 為自訂值，為瞭解哪個值有助於較能降低誤差，在此測試當 L_{max} 值在40到340 km區間時，且臺東站每小時皆作示性波高的同化情況下去計算同化與觀測值的RMSE，結果如右圖。圖顯示R值等於1時，當 L_{max} 值從40km增加到80km，RMSE從0.379降到0.374左右。而 L_{max} 值從80km到340km的RMSE趨勢則是漸漸增加到0.389。圖另外畫出R值等於0的值作為參考。



臺東站不同校正長度 L_{max} 與兩種R的RMSE (每小時同化)

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正

- 在此選擇80km作為 L_{max} 值，則蘭嶼站和鵝鑾鼻站的權重 W_{11} 和 W_{21} 可由第(9)式計算而得，其值各為0.151和0.124。由(1)式可知示性波高在臺東浮標點的同化計算如下式：

$$H_{臺東}^A = H_{臺東}^P + 0.151 \left(H_{蘭嶼}^O - H_{蘭嶼}^P \right) + 0.124 \left(H_{鵝鑾鼻}^O - H_{鵝鑾鼻}^P \right) \quad (10)$$

$H_{臺東}^A$ ：臺東示性波高同化值， $H_{臺東}^P$ ：臺東示性波高預報值

$H_{蘭嶼}^O$ ：蘭嶼示性波高觀測值， $H_{蘭嶼}^P$ ：蘭嶼示性波高預報值

$H_{鵝鑾鼻}^O$ ：鵝鑾鼻示性波高觀測值， $H_{鵝鑾鼻}^P$ ：鵝鑾鼻示性波高預報值

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正

- 圖1的單日預報以2020年8月1日為例，修正前的預報值與觀測值RMSE為0.11。對當天0時、6時、12時與18時作每6小時1次的預報修正後可降至0.071。對整個資料期間的示性波高資料作同樣的處理得到結果如圖2所示，原本的預報值與觀測值RMSE為0.386。而每6小時預報修正的RMSE各為0.376，RMSE約比修正前下降了2.6%。

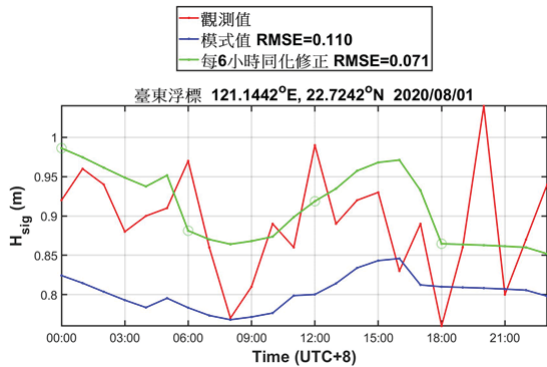


圖1 2020年8月1日臺東示性波高的觀測值、預報值以及每6小時預報修正(RMSE為與觀測值作計算求得)

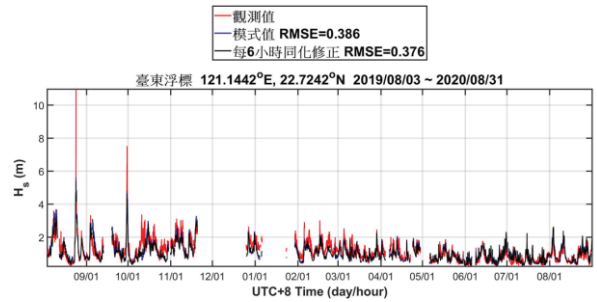
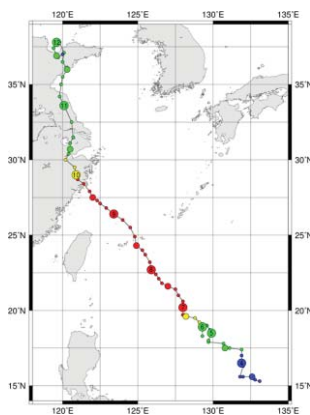


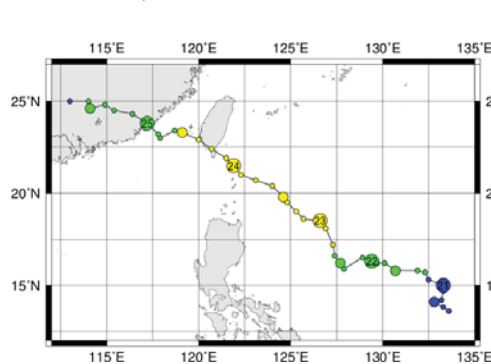
圖2 2019年8月3日到2020年8月31日臺東站示性波高的觀測值、預報值以及每6小時預報修正(RMSE為與觀測值作計算求得)

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正

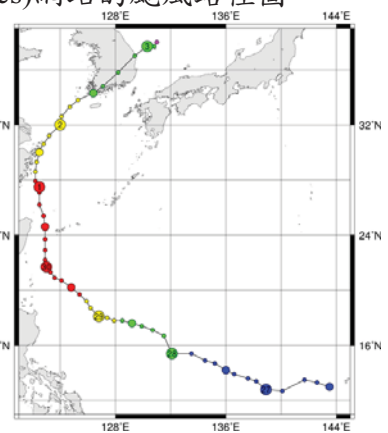
- 本文另外對颱風經過台灣附近期間的預報值作同化修正，並計算與觀測值的RMSE來評估修正的影響。在此選擇2019年8月到2020年8月期間中央氣象局有發布警報的7個颱風。包括2019年的利奇馬、白鹿和米塔颱風，以及2020年的黃蜂、哈格比、米克拉和巴威個颱風。以下為日本NII (National Institute of Informatics)網站的颱風路徑圖。



2019利奇馬颱風，路徑期間為UTC+0
2019年8月3日6時到12日18時。

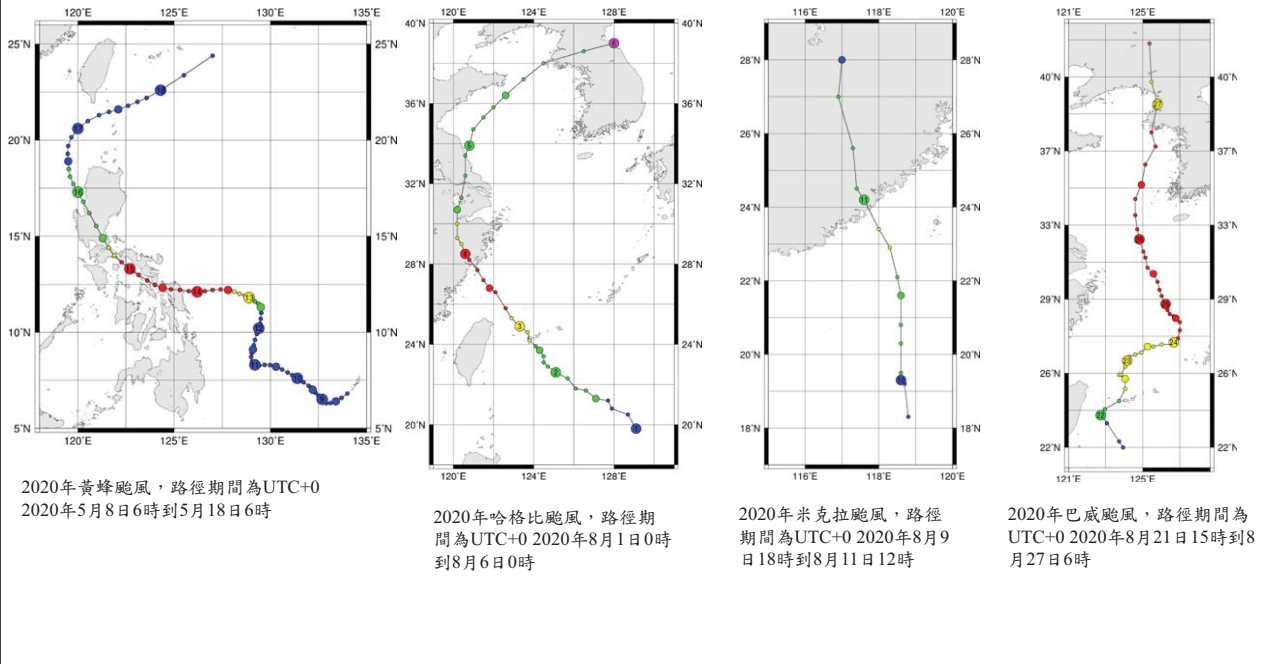


2019年白鹿颱風，路徑期間為UTC+0
2019年8月20日6時到25日18時



2019年米塔颱風，路徑期間為UTC+0
2019年9月26日12時到10月3日6時

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正



■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正

- 本研究對7個颱風期間的臺東示性波高預報值作同化修正，其結果如後圖。另外將每個颱風期間以及整個資料期間的預報值與觀測值的RMSE、預報修正值與觀測值的RMSE以及RMSE修正率列於表。RMSE修正率如下式：

$$RMSE修正率 = \frac{RMSE_{預報與觀測} - RMSE_{預報修正與觀測}}{RMSE_{預報與觀測}} \quad (11)$$

每個颱風期間以及全部資料期間的RMSE與其修正率

右表可知在13個月的資料期間，對預報作同化修正的結果能使RMSE小幅下修2.6%。而在7個颱風之中，雖然白鹿與米塔颱風各出現-3.6%與-7.2%的負修正率，但利奇馬、黃蜂、哈格比、米克拉以及巴威等5個颱風的RMSE各有5.8到23.8%的修正率，表示對示性波高的預報作同化修正仍可達到部分的改善。

時間	預報與觀測的RMSE	預報修正與觀測的RMSE	RMSE修正率(%)	備註
2019/8/3~2020/8/31	0.386	0.376	2.6	全部資料期間
2019年 8/6~8/11	0.597	0.455	23.8	利奇馬颱風
2019年 8/23~8/26	1.248	1.294	-3.6	白鹿颱風
2019年 9/29~10/1	0.812	0.87	-7.2	米塔颱風
2020年 5/15-5/18	0.282	0.231	18	黃蜂颱風
2020年 8/2-8/4	0.49	0.449	8.3	哈格比颱風
2020年 8/10-8/11	0.39	0.367	5.8	米克拉颱風
2020年 8/21-8/23	0.342	0.313	8.6	巴威颱風

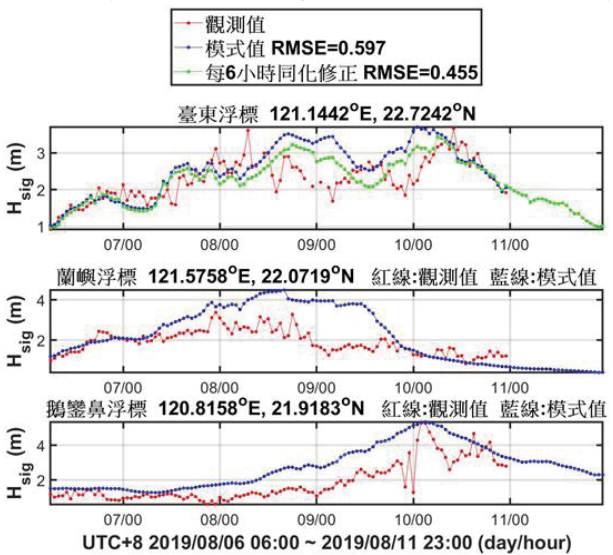
■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正

- 由(10)式可知當蘭嶼或鵝鑾鼻的觀測值高於預報值時，會讓臺東同化值增加，亦即使臺東預報值上修。在此情況下，若臺東觀測值低於預報值，由於上修的關係，反而讓同化值與觀測值的差距加大(RMSE增加)。此情形可從米塔颱風在29日12時到30日12時得知跟觀測的差距比起來，同化值比預報值更大。針對此誤差加大的改善方法，除了未來持續改善颱風期間的模式本身準確度之外，增加更多附近的觀測站來加入同化計算亦有助於降低誤差。

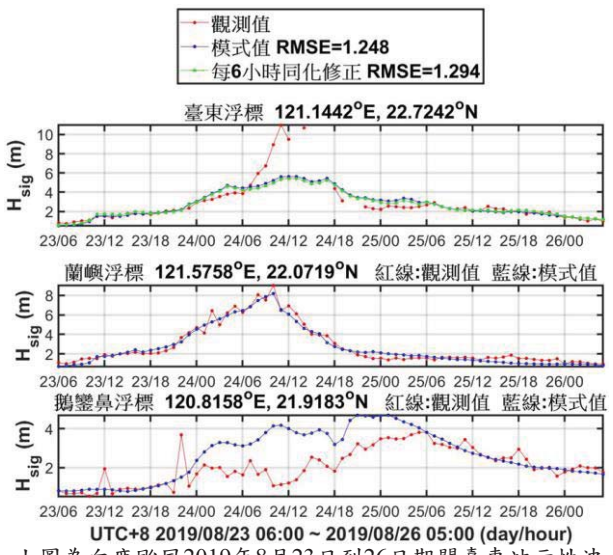
$$H_{臺東}^A = H_{臺東}^P + 0.151(H_{蘭嶼}^O - H_{蘭嶼}^P) + 0.124(H_{鵝鑾鼻}^O - H_{鵝鑾鼻}^P) \quad (10)$$

$H_{臺東}^A$: 臺東示性波高同化值, $H_{臺東}^P$: 臺東示性波高預報值
 $H_{蘭嶼}^O$: 蘭嶼示性波高觀測值, $H_{蘭嶼}^P$: 蘭嶼示性波高預報值
 $H_{鵝鑾鼻}^O$: 鵝鑾鼻示性波高觀測值, $H_{鵝鑾鼻}^P$: 鵝鑾鼻示性波高預報值

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-臺東站的資料同化與預報修正



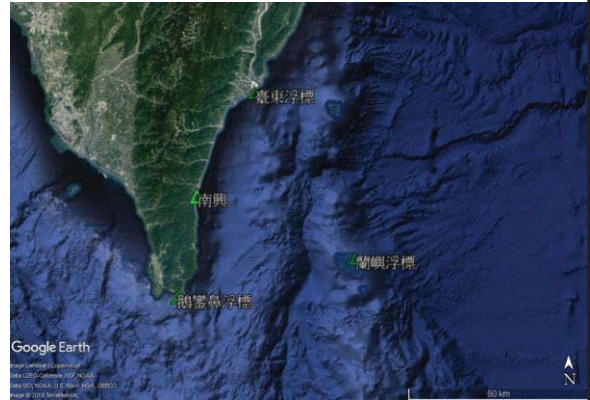
上圖為2019年8月6日到11日利奇馬颱風期間臺東站示性波高的觀測值、預報值以及每6小時的預報修正(RMSE為與觀測值的計算結果)。中、下圖各為蘭嶼和鵝鑾鼻浮標的預報值和觀測值。



上圖為白鹿颱風2019年8月23日到26日期間臺東站示性波高的觀測值、預報值以及每6小時的預報修正。(RMSE為與觀測值的計算結果)。中、下圖為蘭嶼和鵝鑾鼻浮標的預報值和觀測值

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-南興站的資料同化與預報修正

- 從臺東站例子可知，預報修正可些降低預報值與觀測值之間的部分誤差。故本文對臺東站附近的南興站進行同樣的預報修正處理。同樣使用的2019年8月3日到2020年8月31日的資料，除了原本氣象局的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等3個浮標的示性波高以及SWAN模式在這三個浮標位置的示性波高外，SWAN模式再增一個南興外海的點位，如右圖。
- 以當時段臺東、蘭嶼、鵝鑾鼻三站的觀測值和預報值對南興站作即時同化來修正該時段的預報值，再對南興站後續幾小時的預報值作預報修正。



■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-南興站的資料同化與預報修正

• 利用臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻等3個站修正南興站，故可將(7)式改寫為(12)式：

$$\begin{bmatrix} P_{11} + R_1 & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} + R_2 & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} + R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{21} \\ W_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{21} \\ P_{31} \end{bmatrix} \quad (12)$$

- 假設實測值與起始猜值有相同的均方誤差，即 R_1 、 R_2 、 R_3 的值皆為1。而 P_{11} 、 P_{21} 和 P_{31} 各為臺東站、蘭嶼站和鵝鑾鼻站的空間函數。校正長度 L_{max} 選擇和臺東站例子相同，其值為80km。臺東站、蘭嶼站和鵝鑾鼻站的權重 W_{11} 、 W_{21} 和 W_{31} 可由第(12)式計算而得，其值各為0.207、0.118和0.232。由(1)式可知示性波高在南興外海的同化計算如(13)式：

$$H_{南興}^A = H_{南興}^P + 0.207(H_{臺東}^O - H_{臺東}^P) + 0.118(H_{蘭嶼}^O - H_{蘭嶼}^P) + 0.232(H_{鵝鑾鼻}^O - H_{鵝鑾鼻}^P) \quad (13)$$

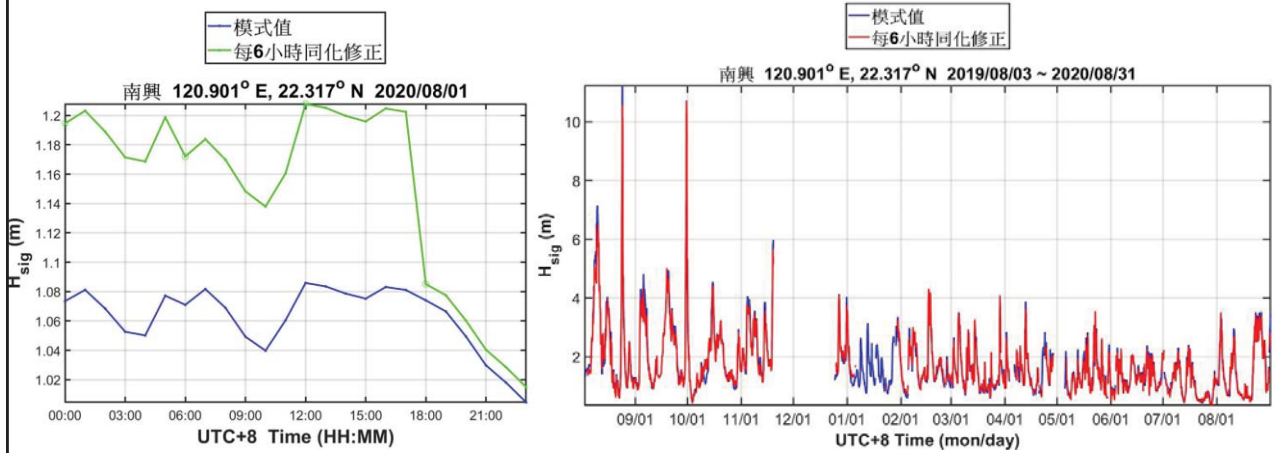
$H_{南興}^A$ ：南興示性波高同化值 $H_{南興}^P$ ：南興示性波高預報值

$H_{臺東}^O$ ：蘭嶼示性波高觀測值 $H_{臺東}^P$ ：蘭嶼示性波高預報值

$H_{蘭嶼}^O$ ：蘭嶼示性波高觀測值 $H_{蘭嶼}^P$ ：蘭嶼示性波高預報值

$H_{鵝鑾鼻}^O$ ：鵝鑾鼻示性波高觀測值 $H_{鵝鑾鼻}^P$ ：鵝鑾鼻示性波高預報值

■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-南興站的資料同化與預報修正



- 南興站的單日預報以2020年8月1日為例，修正前的預報值與觀測值RMSE為0.11。對當天0時、6時、12時與18時作每6小時1次的預報修正如左圖。每六小時的預報修正將當天0到18時區間以及18到24時區間的SWAN預報值各約上修0.1m和0.01m。而右圖為2019年8月3日到2020年8月31日的預報值和每6小時的預報修正。

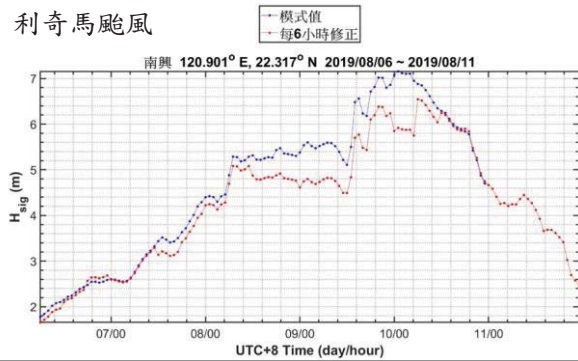
■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進-南興站的資料同化與預報修正

- 雖然南興段外海尚無觀測站可直接評估模式的示性波高準確度以及同化修正的效果。在透過鄰近的臺東站觀測值與模式值所作的同化修正與觀測值的RMSE比較，顯示此同化方式在13個月的資料期間對預報值有小幅的修正，且在7個的颱風期間有5個颱風有獲得不錯的修正。藉由臺東站結果，應可在颱風期間對南興段外海的示性波高預報值作出較佳的修正。由於臺東海岸公路浪襲預警系統採用與花蓮海岸公路浪襲預警系統相同的方式，需要預報的示性波高值代入情境資料庫作內插，藉由對南興外海示性波高預報值的同化修正，可進一步提高警戒燈號的準確性。

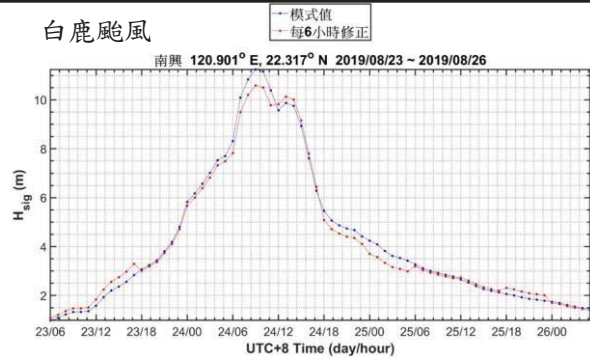
■ 臺東海岸公路浪襲預警系統的精進
-南興站的資料同化與預報修正

示性波高修正應用到2019年利奇馬、白鹿、米塔等三個颱風以及2020年的黃蜂、哈格比、米克拉和巴威等4個颱風，例如利奇馬颱風在10日0時有最大下修值約1.4m。

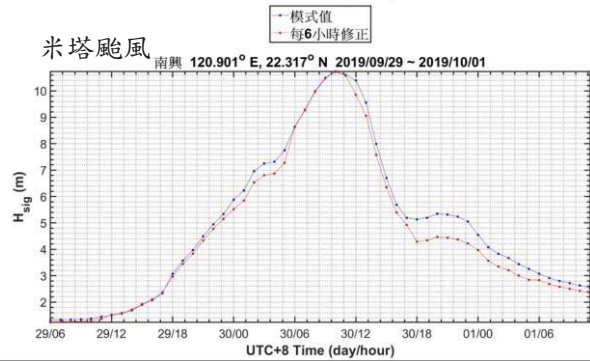
利奇馬颱風



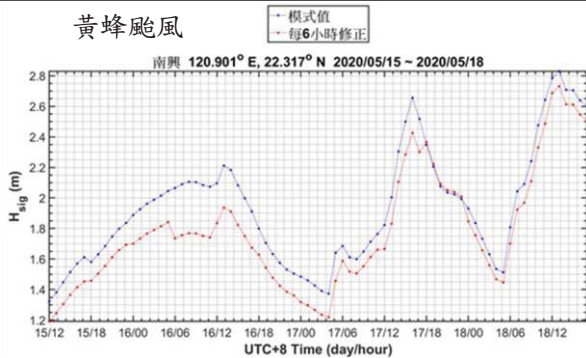
白鹿颱風



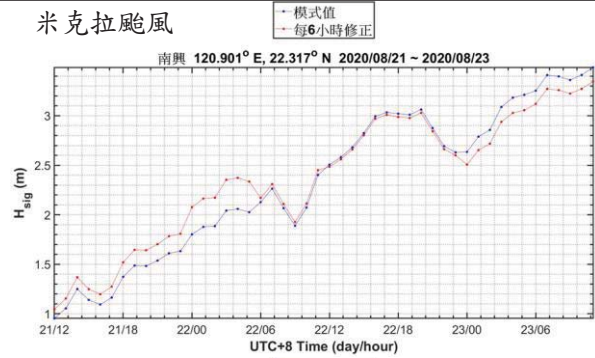
米塔颱風



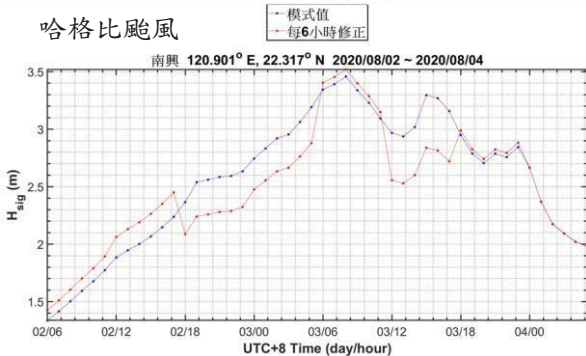
黃蜂颱風



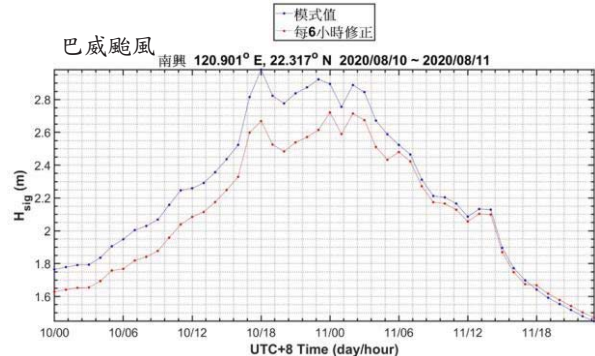
米克拉颱風



哈格比颱風



巴威颱風



■ 結論與建議

- 本研究以數值模擬技術為主軸，蒐集了近幾年台11線花蓮海岸公路易致災區段的相關事件，並從台11線挑選出8個離海岸線較近的路段來利用XBeach波浪模式進行類颱風期間的海況模擬，藉以對台11線所受到的浪襲影響作初步評估。
- 新聞事件和XBeach模擬皆顯示台11線人定勝天段較易受到浪襲影響，故利用COBRAS模式針對61K+300到62K+220之間的7個道路斷面進行不同海況條件的浪襲模擬。透過模擬可了解在何種海況條件下可能遭受的浪襲威脅，並以此建立異常浪襲易致災之區段的長浪溯上數值模式資料庫。最後由資料庫發展海岸公路浪襲預警系統，其結果透過港灣研究中心的網站建立花蓮海岸公路通行安全預警之視窗，可提供公路單位作為道路通行安全的評估和道路暫時封閉的參考。
- 利用台9線南興段附近在2019到2020年約13個月的波浪觀測資料，對南興外海的示性波高預報進行同化修正，以提高台東海岸公路浪襲系統警戒燈號的準確度。

■ 結論與建議-結論與成果

(1)本研究結合了文字探勘的技術蒐集異常波浪及海岸公路的新聞資料，以關鍵字「瘋狗浪+花蓮」、「瘋狗浪+台11線」、「浪襲+花蓮」、「浪襲+台11線」、「颱風+壽豐+豐濱+吉安」作為檢索並分析找出易致災之路段，其結果為花蓮海岸公路(台11線)人定勝天段。該路段因離海岸較近，容易受颱風海浪影響，且常為公路總局公告之浪襲路段。另外使用XBeach波浪模式從台11線公路中選擇8個離海岸較近的區段進行類颱風期間的海況模擬。模擬結果亦顯示在八個區域中，在人定勝天的道路區段最易受到海浪侵襲。

(2)本研究在人定勝天段之7個道路斷面總共進行2076個浪襲道路的情境模擬。就道路溢淹的情況而言，結果大致顯示當入射波高越高，入射週期越大，初始水位值越高的情境越容易產生溢淹。另外各站的路面高程越低、離岸越近越容易產生溢淹。除了62K+220站不管在何種潮位下，皆容易發生溢淹之外，當潮位在1m以下時，61k+300站較易出現溢淹，而潮位在2m以上時，則是61K+700站容易發生溢淹。另外利用2018年3月3日到2020年9月8日的潮位和波浪模式預報值搭配情境資料庫的結果顯示該期間最容易發生溢淹的地點為62K+220和61k+300兩站。根據情境資料庫的道路溢淹距離表或花蓮海岸公路通行安全預警之視窗，可提供交通部公路總局及相關單位作為道路通行安全的評估和道路暫時封閉的參考。

■ 結論與建議-結論與成果

(3)本研究利用2019到2020年約13個月在台東、蘭嶼、鵝鑾鼻三站的示性波高觀測值和預報值來對台東站的示性波高預報作修正。結果顯示可將資料期間的台東觀測值與預報值的RMSE小幅下降2.6%。由表5.2可知雖然白鹿與米塔颱風期間的RMSE修正率各為-3.6%與-7.2%，但利奇馬、黃蜂、哈格比、米克拉以及巴威等5個颱風的RMSE修正率各有5.8到23.8%，代表示性波高預報的同化修正仍可達到部分的改善。故將同樣的方法套用在鄰近的南興段提高台東海岸公路浪襲預警系統在颱風期間的預報準確度。

■ 結論與建議-建議

(1)由於在海岸公路外海架設與維護波浪的觀測儀器需要耗費相當的人力物力，導致公路外海的波浪觀測值不容易取得。且相較於非颱風期間，在颱風期間的波浪觀測資料品質容易不佳，故難以評估公路浪襲預警系統的警戒燈號準確度。相對於在公路外海裝設儀器所需的人力物力，可考慮颱風季節期間在易受浪襲的路段旁架設攝影機來監控是否有浪襲事件發生，例如潭美颱風期間61+400K的浪襲事件(圖2.9)，藉以進一步驗證系統燈號預報的準確性。

(2)歐等人(2004)提到對他們的風浪模式作資料同化時，增加觀測站的數量能降低模式與觀測值的相對誤差，直到數量超過7站時，相對誤差達到穩定。由於南興站的預報值目前僅有附近的三個浮標觀測站可作同化。考慮臺東站的例子，米塔和白鹿颱風期間的預報值經過同化修正後，無法降低與觀測值之間的誤差。如在未來有新的觀測站加入同化計算，將有助於改善同化的結果。

附錄四
工作會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究」計畫整合資源會議

二、時間：109年3月2日(星期一)下午15時30分

三、地點：交通部公路總局第四區養護工程處花蓮工務段會議室

四、主持人：李科長俊穎

紀錄：陳鈞彥

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、本所計畫內容簡報(略)

六、各單位發言：

(一) 交通部公路總局第四區養護工程處：

(1)目前台11線人定勝天路段雖有台11甲線與花64線為替代道路，本計畫成果若可供浪襲預警時機，將對本所工務段防災有所幫助。

(2)有關台11線約52K處雖高程較高，但下邊坡無足夠沙灘，波浪衝擊擋土牆(堤址)，是否可於本計畫納入評估改善或減緩方式？

(3)有關44K至45K之東興路段、55K至57K處亦為路面高程較低處、61.5K至62K路段亦似有浪襲情況，能否納入評估？

(4)有關開發後之浪襲預警資訊可於何處查詢？

(二) 經濟部水利署第九河川局：

(1)本局可提供近五年於花蓮海岸之地形量測資料。

(三) 花蓮縣政府建設處：(請假)

(四) 國立中山大學：

(1)工程處所提需評估改善路段，可於未來配合先行現勘，若有詳細數值地形資料可提供更佳。

(2)目前開發系統以建置完成之臺東案例為例，可提供網頁及系統查詢所需之預警燈號及預警時間，作為輔助參考資訊。

(五) 交通部運輸研究所：

(1)本會議依蕭委員美琴於本所預算提案之決議事項辦理，為有關本所「委辦花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究」，惟研究時間較台東短少1年，又花蓮除颱風浪襲之外，尚有海岸退縮之問題。爰建請本所與經濟部水利署、地方政府等單位共同討論，整

合資源。

- (2)本計畫將針對台11線有災害之路段，開發較完善之預警系統，並依之前浪襲預警需求調查，擴充增納至石梯橋部分。
- (2)本計畫於系統建置時需有較精細之地形水深資料，已提高模擬及預警的準確性。
- (3)後續如遇颱風，請工務處協助保留提供颱風期間人定勝天路段監視影像，供本計畫做為模式驗證分析。

七、結論：

- (一) 感謝第九河川局已提供局部附近海域地形量測資料供本計畫運用。
- (二) 本計畫範圍會增納石梯橋路段，並另案辦理人定勝天至石梯橋水深地形測量，提供合作單位(國立中山大學)應用。
- (三) 會後請工務處協助蒐集提供相關路段竣工圖資供參考。
- (四) 會中工務處所提其他浪襲災害路段，由本所及國立中山大學後續討論評估，視必要性再會同工務處會勘。
- (五) 請各單位協助提供鄰近計畫海岸區域(人定勝天路段)之研究報告、地形水深資料或海岸防護計畫供本所參考，以利本計畫推動。

八、散會：下午16時40分

單位	簽名
交通部 運輸研究所	李修翔 陳鈞彥
交通部公路總局 第四區養護工程處	陳彥敏 林庭寬
經濟部水利署 第九河川局	陳翊倩
花蓮縣政府建設處	
國立中山大學	謝志 劉復志

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」第2次工作會議

二、時間：109年4月6日(星期一)上午9時30分

三、地點：交通部運輸研究所港研中心3F 海洋環境資訊室

四、主持人：蔡立宏代主任(李俊穎科長代理) 紀錄：陳鈞彥

五、出席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一) 工作進度說明：

(1) 目前已取得基隆及蘇澳港等颱風期間波浪資料，作為分析海象條件之參考。

(2) 已套用內政部5m 解析度地形資料，配合 JONSWAP 波譜與 XBeach 模式模擬台11線溢淹高度。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(1) 台11線人定勝天路段水深地形測量預計於本月上網公告，6月前可取得完成量測資料，供本計畫運用。

(2) 中心在協助蒐集台11線里程樁相關地理資訊，及人定勝天颱風期間影像資料供本計畫驗證。

(3) 未來預警系統建置時，石梯橋可做為斷面納入系統畫面，不必另開分頁展示。

七、會議結論：

(一) 建請中山團隊分析確認花蓮海域潮位、潮差及波浪資料特性。

(二) 中心提供花蓮縣政府之「花蓮縣二級海岸防護整合規劃及計畫」報告檔案供中山團隊參考。

八、散會：上午11時30分

單位	簽名
<p>本所港研中心</p>	<p>李俊翔 陳鈞彥</p>
<p>交通部公路總局第 四區養護工程處</p>	<p>(請假)</p>
<p>合作研究單位： 國立中山大學</p>	<p>陳冠宇</p>

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」合作研究案6月份工作會議

二、時間：109年6月22日(星期一)下午2時

三、地點：本所港研中心五樓第一會議室

四、主持人：蔡立宏主任(李俊穎科長代) 紀錄：陳鈞彥

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

1. 已應用 XBeach 模式模擬台11線溢淹高度，完成花蓮台11線浪襲風險之易致災位置評估，並與花蓮工務段提供之易致災位置比對。
2. 已應用港研中心海岸地形測量資料，建立人定勝天路段之海岸數值地形，並挑選61K+300處，以不同潮位、波高、波浪週期進行浪襲情境模擬。
3. 中山團隊已依契約規定於6月29日前提交期中報告。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1. 台11線44.5K 及52K 處曾有浪襲或邊坡掏刷現象(花蓮工務段意見)。
2. 有關花蓮台11線浪襲風險之易致災位置評估，以溢淹深度或是越波量作為呈現方式，目前以大範圍的地形解析度，僅能粗略評估，並與先前會議花蓮工務段提供之易致災位置比對，供本計畫歸納運用。
3. 目前應用港研中心海岸地形測量資料，經判斷後資料符合現況，運用上應疑慮。

七、結論：

- (一) 請中山團隊持續進行浪襲情境模擬，並增加模擬斷面(如石梯橋)或考慮不同方向之入射波浪情境。

(二) 本案期中報告已提送，請中山大學準備期中簡報資料，以利期中審查進行。

八、散會：下午3時40分。

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」合作研究案6月份工作會議

時間：109年6月22日(星期一)下午2時

地點：本所港研中心五樓第一會議室

主持人：蔡立宏主任(李俊穎科長代)

單位	簽名
本所港研中心	李俊穎 陳鈞彥
交通部公路總局 第 四區養護工程處	徐俊彥
合作研究單位： 國立中山大學	陳冠宇

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」合作研究案8月份工作會議

二、時間：109年8月10日(星期一)下午2時

三、地點：本所港研中心三樓海洋環境資訊室

四、主持人：蔡立宏主任(李俊穎科長代)

紀錄：陳鈞彥

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

1.本案各工作項目進度報告。

2.已於7月9日期中報告審查會議通過審查，並完成第2期款請款。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1.浪襲模擬已選定7處斷面進行模擬計算，各波浪、潮位等條件大致已完成計算，就各斷面模擬結果進行討論。

2.後續請港研中心提供 TaiCOMS 於人定勝天附近的潮位預報，供本計畫波浪溯上模式作為邊界條件，另因應 TaiCOMS 波浪已改成每日4報，本計畫波浪預報資訊介接亦改為每日4報。

七、結論：

(一)請中山團隊確認模式計算之預警燈號綠、黃、橙、紅燈之定義，除潭美颱風案例分析外，請就之前鄰近測站(花蓮港)觀測資料，評估警示燈號(黃、橙、紅)發生機率及次數。

(二)請港研中心協助向第四區養護工程處申請近期颱風期間人定勝天路段 CCTV 影像資料。

八、散會：下午3時10分。




會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」合作研究案 8 月份工作會議

時間：109 年 8 月 10 日(星期一)下午 2 時

地點：本所港研中心3F海洋環境資訊室

主持人：蔡立宏主任 李俊翔代

單位	簽名
合作研究單位： 國立中山大學	
本所港研中心	 

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」合作研究案9月份工作會議

二、時間：109年9月4日(星期五)下午2時

三、地點：本所港研中心3樓海洋環境資訊室

四、主持人：蔡立宏主任(李俊穎科長代)

紀錄：陳鈞彥

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

1.本案各工作項目進度報告。

2.浪襲模擬已完成選定7處斷面進行各波浪、潮位等條件模擬計算。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1.為求預警燈號呈現，颱風波浪未溯上至路面案例以溯上水位進行內插，溯上至路面案例以溢淹距離進行內插，可分別呈現黃燈、澄燈。

2.2015年蘇迪勒颱風期間花蓮港潮位觀測資料似有異常，需再確認。

3.已完成本年度海洋工程研討會投稿(摘要)。

七、結論：

(一)浪襲預警系統已開始建置，請於完成後與第四養護工程處協調安排教育訓練事宜。

(二)公路總局人定勝天路段即時影像若修復，請港研中心協助取得近期颱風影響花蓮海域期間資料以供數值模式驗證。

八、散會：下午3時15分。

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」合作研究案9月份工作會議

時間：109年9月4日(星期五)下午2時

地點：本所港研中心3樓海洋環境資訊室

主持人：蔡立宏主任 李俊穎代

單位	簽名
交通部公路總局 第四區養護工程處	林奕佐
合作研究單位： 國立中山大學	陳宏宇
本所港研中心	李俊穎 陳鈞彥

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」合作研究案
10月份工作會議

二、時間：109年10月26日(星期一)上午9時30分

三、地點：本所港研中心三樓海洋環境資訊室

四、主持人：李俊穎科長

紀錄：陳鈞彥

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

1. 已利用更新之觀測資料，運用資料同化技術，完成臺東海岸公路浪襲預警系統精進。
2. 已完成期末報告初稿並繳交，預計11月3日辦理期末報告審查會議、11月16日赴花蓮工務段辦理教育訓練。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1. 除本案於花蓮台11線區域6(人定勝天路段)，後續建議港研中心可考量54.9K、77.25K 納入浪襲評估風險區域。
2. 本案於浪襲預警之波浪溯上計算，已考慮不同方向之波浪入射，採用折射係數($K_r = 1.11 \sim 1.16$)計算修正。

七、結論：

- (一)請中山團隊於期末報告審查會議後，繳交定稿時補充本案可供成果展示海報及影片檔，並預先準備教育訓練簡報。
- (二)請中山團隊協助評估，浪襲預警系統除介接本所海象預測資料，有無其他資料可引用，俾利未來系統移轉。

八、散會：下午3時40分。

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置」合作研究案10月份工作會議

時間：109年10月26日(星期一)上午9時30分

地點：本所港研中心五樓第一會議室

主持人：李俊穎科長

單位	簽名
本所港研中心	陳鈞彥、李俊穎
合作研究單位： 國立中山大學	陳鈞彥