111-024-7D08
MOTC-IOT-110-H3CB001d

花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

111-024-7D08
MOTC-IOT-110-H3CB001d

花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析

著者：陳冠宇、林雅雯、陳鈞彥、劉俊志、
張育嘉、陳人玉

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

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.
(2/2)：浪襲預警及因應對策分析 / 陳冠宇, 林雅
雯, 陳鈞彥, 劉俊志, 張育嘉, 陳人玉著. -- 初版.
-- 臺北市：交通部運輸研究所, 民 111.03
面； 公分
ISBN 978-986-531-374-6(平裝)

1.CST: 公路管理 2.CST: 災害應變計畫

557 111000876

花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析

著　　者：陳冠宇、林雅雯、陳鈞彥、劉俊志、張育嘉、陳人玉
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號
網　　址：www.iot.gov.tw (中文版＞數位典藏＞本所出版品)
電　　話：(02)2658-7200
出版年月：中華民國 111 年 3 月
印 刷 者：OOOOOOOOO
版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定　　價：300 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)2349-6789
國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)2518-0207
五南文化廣場：400002 臺中市中區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011100135　　ISBN：978-986-531-374-6 (平裝)

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">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(2/2)-浪襲預警及因應對策分析</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-374-6 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011100135</td><td>運輸研究所出版品編號
111-024-7D08</td><td>計畫編號
MOTC-IOT-110-H3CB001d</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：港研中心
主管：蔡立宏
計畫主持人：林雅雯
研究人員： 陳鈞彥
聯絡電話：04-26587132
傳真號碼：04-26564415</td><td colspan="2">合作研究/共同研究單位：國立中山大學
計畫主持人：陳冠宇
研究人員：劉俊志、張育嘉、陳人玉
地址：80424 高雄市鼓山區蓮海路 70 號
聯絡電話：07-5252000 轉 5352</td><td>研究期間
自 110 年 2 月

至 110 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：海岸防護、長浪作用力分析、浪襲預警、資料同化</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

本研究已於前一年度(109 年)完成整合臺灣近岸海象預報系統、近岸即時海象觀測資訊以及利用波浪溯上資料庫建立花蓮海岸公路浪襲預警系統。本年度的工作主要利用 COBRAS 及 XBeach 等數值模式在台 11 線人定勝天路段 7 處斷面的外海設置不同水深位置的離岸潛堤，藉由情境模擬颱風長浪對沿岸的衝擊來分析長浪溯上距離以及長浪作用力的影響範圍。模擬所得的結果可幫助瞭解颱風長浪對公路沿岸造成的影響，並參考花蓮海岸二級防護計劃來研擬此區域的海岸防護因應對策。

本研究亦使用最佳內插法將花蓮、蘇澳和臺東等氣象局的近岸浮標觀測資料對交通部運輸研究所港灣技術研究中心的示性波高預報值進行資料同化以改善花蓮海岸公路浪襲預警系統的輸入值，藉以精進系統的預警能力。另外由於台 11 線新社段 44K 附近較容易受到浪襲影響，故利用 COBRAS 模式針對該路段的 3 個道路斷面進行不同海況條件的浪襲模擬，藉以建立的浪襲情境資料庫，並將資料庫加入花蓮海岸公路浪襲預警系統以提供相關單位更全面的災害評估。</td></tr>
</table>

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
111 年 3 月	303	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Wave Attack Early Warning and Application of Disaster Prevention of Hualien Coast Highway (2/2) - Wave Attack Early Warning and Corresponsive Strategy			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-374-6(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011100135	IOT SERIAL NUMBER 111-024-7D08	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-110-H3CB001d
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ya-Wen Lin PROJECT STAFF: Chun-Yen Chen PHONE: (04) 26587132 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM February 2021 TO December 2021
RESEARCH AGENCY: National Sun Yat-sen University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chun-Yen Chen PROJECT STAFF: Chung-Chi Liu, Yu-Chia Chang, Jen-Yu Chen ADDRESS: No.70 Lien-hai Rd., Kaohsiung 80424, Taiwan, R.O.C. PHONE: (07) 5252000 ext: 5352			
KEY WORDS: Freak Wave Early Warning System for Hualian Coastal Highway, data assimilation, Coastal protection			

ABSTRACT:

In stage I of this project, Hualian coastal highway warning system has been established by integrating a nearshore ocean prediction system and a nearshore ocean monitoring system. This year, we utilized COBROS and XBeach to simulate long wave impacts in typhoon along seven cross-sections in the existence of offshore submerged breakwaters. The results are helpful for the understanding of long wave on coastal area near the highway in typhoon seasons. Thus, countermeasures can be implicated and the coastal area can be protected with the aid of level-2 coastal protection plan of Hualian coasts.

In the project, the optimized interpolation method is also utilized for data assimilation. Real-time observation from CWB buoys in Hualian, Suao, and Taitung stations are applied to improve the prediction used in the Haulian coastal highway warning system. In addition, because No. 11 high way around Xinshe section 44K are also vulnerable to wave attack, three more cross-sections with various oceanic conditions are simulated with COBRAS and the results have been added to the wave-attack data bank. Finally, the updated data bank has been used in the Haulian highway warning system to provide a more comprehensive hazard assessment.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
Mar 2022	303	300

1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

目 錄

中文摘要.....I
英文摘要.....II
目錄.....III
圖 目 錄.....VI
表 目 錄.....XII
第一章 緒論.....1-1
1.1 計畫緣起.....1-1
1.2 研究範圍.....1-2
1.3 計畫內容與工作項目.....1-2
1.4 研究流程與工作項目檢核.....1-4
第二章 花蓮海岸公路易致災段的海岸防護.....2-1
2.1 臺灣離岸潛堤設計的資料蒐集.....2-1
2.2 COBRAS 波浪模式介紹.....2-6
2.3 模式數值地形.....2-8
2.4 模式設定.....2-14
2.5 模擬流程.....2-18
2.6 模擬結果.....2-21
2.6.1 台 11 線 61K+300.....2-22
2.6.2 台 11 線 61K+380.....2-29
2.6.3 台 11 線 61K+500.....2-31
2.6.4 台 11 線 61K+580.....2-34
2.6.5 台 11 線 61K+700.....2-37
2.6.6 台 11 線 61K+830.....2-40
2.6.7 台 11 線 62K+220.....2-43
2.7 台 11 線人定勝天段花蓮海岸二級防護計畫評估.....2-46
2.7.1 離岸潛堤混凝土等級建議.....2-49
2.7.2 離岸潛堤設置的深度建議.....2-49
2.7.3 離岸潛堤設置的寬度建議.....2-52
2.7.4 離岸潛堤設置的長度建議.....2-54

2.7.5 不同離岸潛堤位置配置的模擬 2-64
第三章 花蓮海岸公路浪襲預警系統的精進 3-1
3.1 研究方法 3-1
3.2 資料同化與預報修正的流程 3-3
3.3 花蓮站的資料同化與預報修正 3-6
3.4 石門站的資料同化與預報修正 3-13
第四章 豐濱新社路段波浪溯上與溢淹數值模式建立 4-1
4.1 數值地形 4-2
4.2 模式設定 4-6
4.3 模擬流程 4-7
4.4 模擬結果 4-10
4.4.1 台 11 線 43K+750 4-11
4.4.2 台 11 線 44K+000 4-16
4.4.3 台 11 線 44K+250 4-21
4.4.4 討論 4-25
4.5 花蓮海岸公路浪襲預警系統擴充 4-29
4.5.1 浪襲警戒燈號定義 4-29
4.5.2 海況條件與浪襲系統的使用 4-34
4.5.3 台 11 線豐濱新社路段浪襲評估 4-37
4.6 浪襲系統整合 CWB 的 QPEplus 網頁之可行性評估 4-39
第五章 結論與建議 5-1
5.1 結論與成果 5-1
5.2 建議 5-3
5.3 成果效益及應用情形 5-3
參考文獻 參-1
附錄一 離岸潛堤地形配置 ..... 附 1-1
附錄二 近道路區的地表最大壓力 ..... 附 2-1
附錄三 潛堤區潛堤表面最大壓力 ..... 附 3-1
附錄四 表 2-3 到 2-9 最大壓力 kgf/cm^2 版 ..... 附 4-1
附錄五 XBeach-SurfBeat 模式簡介 ..... 附 5-1
附錄六 期中報告審查意見處理情形表 ..... 附 6-1

附錄七 期末報告審查意見處理情形表 ..... 附 7-1
附錄八 期末報告簡報 ..... 附 8-1
附錄九 工作會議紀錄 ..... 附 9-1

圖 目 錄

圖 1.1 研究流程..... 1-4
圖 2.1 林邊鄉崎峰村潛堤設計 2-2
圖 2.2 屏東縣東港鎮鎮海公園潛堤設計 2-2
圖 2.3 花蓮縣南濱和化仁區域潛堤配置 2-3
圖 2.4 化仁和南濱的離岸潛堤設計 2-3
圖 2.5 旗津區海岸保護工程示意圖 2-4
圖 2.6 旗津區海岸保護工程潛堤斷面 2-4
圖 2.7 屏東縣車城鄉福安宮北側海岸潛堤設計 2-5
圖 2.8 台 11 線人定勝天路段數值地形以及地形測點(藍點)分布..... 2-9
圖 2.9 google earth 台 11 線人定勝天路段 7 個情境里程位置 2-10
圖 2.10 台 11 線人定勝天路段 7 個里程位置(三角)及地形切線(綠線) 2-10
圖 2.11 台 11 線人定勝天路段 7 個里程位置(三角)沿波向線選取地形切線(綠線).....2-11
圖 2.12 61K+300 離岸方向的地形剖面 2-11
圖 2.13 61K+380 離岸方向的地形剖面 2-12
圖 2.14 61K+500 離岸方向的地形剖面 2-12
圖 2.15 61K+580 離岸方向的地形剖面 2-12
圖 2.16 61K+700 離岸方向的地形剖面 2-13
圖 2.17 61K+830 離岸方向的地形剖面 2-13
圖 2.18 62K+220 離岸方向的地形剖面 2-13
圖 2.19 模式使用的 61K+300 切線地形 2-14
圖 2.20 四個颱風期間的花蓮港 AWAC 示性波高和週期..... 2-15
圖 2.21 石梯漁港 2020 年天文潮預報 2-16
圖 2.22 氣象局花蓮沿海潮汐預報網站 2-16
圖 2.23 61K+300 外海離岸潛堤地形配置 2-17
圖 2.24 不同模擬條件組合 2-18
圖 2.25 61K+300 模擬的壓力空間分布 2-19
圖 2.26 61K+300 模擬期間的最大壓力空間分布 2-19
圖 2.27 61K+300 模擬期間的地表最大壓力分布 2-20
圖 2.28 61K+300 模擬期間的地表最大壓力分布 2-20
圖 2.29 61K+300 模擬期間的潛堤表面最大壓力分布 2-21

圖 2.30 潮位 0m 時，61K+300 近道路區的地表最大壓力 2-23
圖 2.31 潮位 1m 時，61K+300 近道路區的地表最大壓力 2-23
圖 2.32 潮位 2.5m 時，61K+300 近道路區的地形表面最大壓力 ... 2-24
圖 2.33 61K+300 潛堤深度 4m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力 2-24
圖 2.34 61K+300 潛堤深度 5m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力 2-25
圖 2.35 61K+300 潛堤深度 6m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力 2-25
圖 2.36 61K+300 潛堤深度 7m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力 2-26
圖 2.37 61K+300 潛堤深度 8m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力 2-26
圖 2.38 61K+300 在潮位 0m 時，近道路區 4 域區的最大壓力 2-28
圖 2.39 61K+300 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-28
圖 2.40 61K+300 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 ... 2-29
圖 2.41 61K+380 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-30
圖 2.42 61K+380 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-31
圖 2.43 61K+380 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 ... 2-31
圖 2.44 61K+500 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-32
圖 2.45 61K+500 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-33
圖 2.46 61K+500 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 ... 2-33
圖 2.47 61K+580 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-36
圖 2.48 61K+580 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-36
圖 2.49 61K+580 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 ... 2-37
圖 2.50 61K+700 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-39
圖 2.51 61K+700 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-39
圖 2.52 61K+700 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 ... 2-40
圖 2.53 61K+830 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-42
圖 2.54 61K+830 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-42
圖 2.55 61K+830 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 ... 2-43
圖 2.56 62K+220 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-45
圖 2.57 62K+220 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 2-45
圖 2.58 62K+220 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力 ... 2-46

圖 2.59 相關浪襲公路新聞資料 2-47
圖 2.60 相關浪襲公路新聞資料 2-47
圖 2.61 61K+400 附近的浪襲影像 2-48
圖 2.62 7 處斷面無潛堤且潮位 0m 的情境在近道路區的 4 區最大壓力 2-51
圖 2.63 7 處斷面無潛堤且潮位 1m 的情境在近道路區的 4 區最大壓力 2-51
圖 2.64 7 處斷面無潛堤且潮位 2.5m 的情境在近道路區的 4 區最大壓力 2-52
圖 2.65 堤頂寬度寬 5(上)、10(中)和 20m(下)的地形配置 2-53
圖 2.66 4 種堤頂寬度情境在近道路區的地形表面最大壓力 2-54
圖 2.67 XBeach 模式地形 2-55
圖 2.68 模式潛堤地形配置，上圖堤長 50m，下圖堤長 80m 2-56
圖 2.69 case3 在 120、600 和 1200 秒的水位(左)和流速(右)空間分布 2-57
圖 2.70 case3 在 120、600 和 1200 秒的 X(左)和 Y(右)向壓力空間分布 2-58
圖 2.71 條件為潮位 0m 且無潛堤的向西最大壓力 2-59
圖 2.72 條件為潮位 0m 且堤長 50m 的向西最大壓力 2-60
圖 2.73 條件為潮位 0m 且堤長 80m 的向西最大壓力 2-60
圖 2.74 條件為潮位 1m 且無潛堤的向西最大壓力 2-61
圖 2.75 條件為潮位 1m 且堤長 50m 的向西最大壓力 2-61
圖 2.76 條件為潮位 1m 且堤長 80m 的向西最大壓力 2-62
圖 2.77 模式在 61K+300 附近的地形高程 2-62
圖 2.78 61K+300 在潮位 0m 時，三種潛堤條件的向西最大壓力 .. 2-63
圖 2.79 61K+300 在潮位 1m 時，三種潛堤條件的向西最大壓力 .. 2-64
圖 2.80 模式地形和潛堤配置 A 2-65
圖 2.81 模式地形和潛堤配置 B 2-66
圖 2.82 61K+300 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力 2-67
圖 2.83 61K+380 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力 2-68
圖 2.84 61K+500 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力 2-69

圖 2.85 61K+580 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力 2-70
圖 2.86 61K+700 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力 2-71
圖 2.87 61K+830 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力 2-72
圖 2.88 62K+220 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力 2-73
圖 2.89 模式人定勝天段 7 處斷面附近的地形高程 2-74
圖 2.90 潮位 0m 時，61K+300 切線方向的最大壓力 2-75
圖 2.91 潮位 1m 時，61K+300 切線方向的最大壓力 2-76
圖 2.92 潮位 0m 時，61K+380 切線方向的最大壓力 2-77
圖 2.93 潮位 1m 時，61K+380 切線方向的最大壓力 2-77
圖 2.94 潮位 0m 時，61K+500 切線方向的最大壓力 2-78
圖 2.95 潮位 1m 時，61K+500 切線方向的最大壓力 2-79
圖 2.96 潮位 0m 時，61K+580 切線方向的最大壓力 2-79
圖 2.97 潮位 1m 時，61K+580 切線方向的最大壓力 2-80
圖 2.98 潮位 0m 時，61K+700 切線方向的最大壓力 2-81
圖 2.99 潮位 1m 時，61K+700 切線方向的最大壓力 2-81
圖 2.100 潮位 0m 時，61K+830 切線方向的最大壓力 2-82
圖 2.101 潮位 1m 時，61K+830 切線方向的最大壓力 2-83
圖 2.102 潮位 0m 時，62K+220 切線方向的最大壓力 2-83
圖 2.103 潮位 1m 時，62K+220 切線方向的最大壓力 2-84
圖 3.1 花蓮海岸公路浪襲預警系統預警資訊修正前的流程 3-3
圖 3.2 花蓮海岸公路浪襲預警系統預警資訊修正後的流程 3-3
圖 3.3 氣象局臺東浮標即時觀測網頁 3-4
圖 3.4 運研所 SWAN 模式的預報點位置 3-5
圖 3.5 小尺度臺灣海域風浪模式範圍(劉等人，2020)..... 3-6
圖 3.6 花蓮站不同校正長度 L_{max} 與兩種 R 的 RMSE 3-8
圖 3.7 花蓮站示性波高單日的觀測、預報以及預報修正 3-9
圖 3.8 花蓮 2021 年 4 月共 15 天的示性波高觀測、預報和預報修正 3-9
圖 3.9 花蓮 2021 年近半年的示性波高觀測、預報和預報修正 3-10
圖 3.10 UTC+0 2021 年 7 月 16 日 6 時到 27 日 18 時煙花颱風路徑 .....

..... 3-10
圖 3.11 UTC+0 2021 年 9 月 6 日 12 時到 18 日 6 時燦樹颱風路徑 3-11
圖 3.12 煙花颱風花蓮(上)、臺東(中)和蘇澳(下)的示性波高觀測、模式值..... 3-12
圖 3.13 燦樹颱風花蓮(上)、臺東(中)和蘇澳(下)的示性波高觀測和模式值..... 3-13
圖 3.14 石門站單日示性波高的模式預報以及預報修正 3-15
圖 3.15 石門站 2021 年 4 月 1 日到 9 月 20 日示性波高的預報及預報修正..... 3-15
圖 3.16 煙花颱風期間石門站示性波高的預報及預報修正 3-16
圖 3.17 燦樹颱風期間石門站示性波高的預報及預報修正 3-16
圖 3.18 智慧化省道即時資訊服務網省道台 11 線 62K+100 觀測樁…..... 3-17
圖 3.19 花蓮海岸公路浪襲預警系統 2021 年 9 月 11 日到 12 日燈號預警..... 3-18
圖 3.20 2021 年 9 月 11 日約晚間 9 點 50 分在 61K+500 附近的浪襲影像..... 3-18
圖 4.1 台 11 線 44K 附近實景 a..... 4-1
圖 4.2 台 11 線 44K 附近實景 b..... 4-2
圖 4.3 台 11 線 44K 附近的 3 個里程位置(三角)以及地形切線(綠線)..... 4-3
圖 4.4 google earth 台 11 線 44K 附近的 3 個情境里程位置 4-3
圖 4.5 台 11 線豐濱新社路段 3 里程(三角)沿波向線選取地形切線(綠線) 4-4
圖 4.6 43K+750 離岸方向的地形剖面 4-4
圖 4.7 44K+000 離岸方向的地形剖面 4-5
圖 4.8 44K+250 離岸方向的地形剖面 4-5
圖 4.9 模式使用的 43K+750 切線地形 4-6
圖 4.10 不同情境模擬的海況條件組合 4-7
圖 4.11 台 11 線 43k+750 的情境模擬流程圖 4-8
圖 4.12 台 11 線 44K+000 和 44K+250 的模擬流程 4-8
圖 4.13 43K+750 情境模擬 7 個時間段 VOF 空間分布 4-9
圖 4.14 61K+300 模擬期間的 VOF 空間分布最大值 4-10
圖 4.15 43K+750 道路溢淹的情境 4-11

圖 4.16 44K+000 道路溢淹的情境 4-16
圖 4.17 44K+250 道路溢淹的情境 4-21
圖 4.18 當潮位 1m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限 4-27
圖 4.19 當潮位 1.5m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限 ... 4-27
圖 4.20 當潮位 2m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限 4-28
圖 4.21 當潮位 2.5m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限 ... 4-28
圖 4.22 當潮位 3m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限 4-29
圖 4.23 44K+000 VOF 空間分布最大值 4-30
圖 4.24 43K+750 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 4-31
圖 4.25 44K+000 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 4-32
圖 4.26 44K+250 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號 4-33
圖 4.27 豐濱新社路段浪襲警戒預報檔內容 4-34
圖 4.28 花蓮海岸公路浪襲預警系統豐濱新社路段網頁 4-36
圖 4.29 豐濱新社路段的燈號(上)、示性波高(中上)、週期(中)和潮位(下)… 4-38
圖 4.30 煙花颱風期間豐濱新社路段的浪襲警戒燈號 4-38
圖 4.31 燦樹颱風期間豐濱新社路段的浪襲警戒燈號 4-39
圖 4.32 CWB 和 IHMT 在石門的示性波高和尖峰週期預報值 4-40
圖 4.33 CWB 和 IHMT 在新社的示性波高和尖峰週期預報值 4-40

表 目 錄

表 1-1 工作項目檢核表 1-5
表 2-1 海堤設計相關參數 2-5
表 2-2 花蓮港極值波高重現期 2-15
表 2-3 61K+300 情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力 2-27
表 2-4 61K+380 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力 2-30
表 2-5 61K+500 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力 2-34
表 2-6 61K+580 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力 2-35
表 2-7 61K+700 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力 2-38
表 2-8 61K+830 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力 2-41
表 2-9 61K+220 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力 2-44
表 2-10 花蓮縣二級海岸防護區劃設範圍說明 2-48
表 2-11 花蓮縣二級海岸防護區防護措施及方法 2-48
表 2-12 行政院農業委員會農第 03053 章混凝土分級表 2-49
表 2-13 潛堤設置的海床深度建議值(m) 2-50
表 2-14 不同堤頂寬度的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力 2-54
表 2-15 XBeach 情境模擬條件 2-55
表 2-16 XBeach 潛堤配置模擬條件 2-65
表 3-1 運研所 SWAN 預報點和氣象局觀測站的經緯度 3-5
表 4-1a 43K+750 情境模擬的陸地溢淹距離 4-12
表 4-1b 43K+750 情境模擬的陸地溢淹距離 4-13
表 4-2a 43K+750 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程 4-14
表 4-2b 43K+750 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程 4-15
表 4-3a 44K+000 情境模擬的陸地溢淹距離 4-17
表 4-3b 44K+000 情境模擬的陸地溢淹距離 4-18

表 4-4a 44K+000 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程..... 4-19
表 4-4b 44K+000 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程..... 4-20
表 4-5a 44K+250 情境模擬的陸地溢淹距離..... 4-22
表 4-5b 44K+250 情境模擬的陸地溢淹距離..... 4-23
表 4-6a 44K+250 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程..... 4-24
表 4-6b 44K+250 情境模擬接近道路邊緣的水位最大高程..... 4-25
表 4-7 2021 年 7 月到 9 月預報值搭配情境資料庫的燈號時數..... 4-37

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

本研究在前一年度已經進行過花蓮海岸公路易致災路段的探討並確定為花蓮人定勝天路段，並以 XBeach 波浪模式模擬類颱風期間的海況，由模擬結果分析海岸公路沿岸的溢淹情況。另外臺灣東南海域的臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻測站的觀測值和預報值也被利用來修正台 9 線南興段的示性波高預報。如同南興段一樣，本年度對花蓮海岸公路浪襲預警系統使用的示性波高預報進一步作修正。

臺灣處於經常受到颱風侵襲的地帶，研究指出臺灣的東岸在颱風期間受到有受到浪襲影響的潛在危險(Shih et al., 2018)。針對台 9 線的數值模擬結果也指出，台 9 線部分路段有受到浪襲及侵蝕的可能性(Lu et al., 2020)。研究指出颱風侵襲之前花蓮港外長浪波高會成長為接近示性波高，影響花蓮港港內靜穩(李等人，2019)。而在颱風侵襲期間，在近岸之群波非線性演化本質與波能聚積堆疊效應可能為瘋狗浪之引發機制(莊和曾，2018)。然而針對花蓮海岸公路易致災區段的颱風長浪作用力分析和溯上及長浪作用力影響範圍則少有討論。結合前一年度的研究成果，花蓮海岸公路受颱風影響嚴重，因此本研究預定針對颱風長浪對於花蓮海岸公路的影響進行深入探討。

在氣象預報系統中，數值天氣預報從上世紀八十年代變成為中短期天氣預報重要的參考，而數值天氣預報中即包括了資料同化(鄭，2001)。目前對於資料同化的發展，傳統方法為 WRF 三維變分資料同化，有學者以三種不同的實驗探討不同資料同化實驗的效果，其三種實驗分別為無雷達資料同化實驗、冷啟動實驗和循環更新實驗，最後結果表明循環更新實驗的預報效果最佳(蔡等，2019)。另外學界已探討了四維變分資料同化的優勢，即可大幅減少運算時間且有機會掌握局部極短時強降雨(劉等，2018)。在海象資料的觀測上，目前已發展出不同模式來探討海象資料同化(Bertino et al., 2003)。由於海洋具有能量瞬時流動且頻譜和波浪數目較廣的特性，因此選用的模擬模式會隨著不同的科學研究目的而有所不同(Ghil and Malanotte-Rizzoli,

1991)。本研究以近岸浮標站之觀測資料進行資料同化調整模擬條件，並以資料同化技術精進浪襲預警系統。

參考內政部海岸管理法第 88、4 條規定，花蓮縣政府擬訂「整體海岸管理計畫」，於民國 109 年提出「花蓮縣二級海岸防護計畫之草案」，而管理範圍為花蓮縣新城鄉嘉里村至壽豐鄉水璉村。本研究預定探討花蓮海岸公路路基易流失致災路段成因和其因應措施，其中便參考花蓮縣二級海岸防護計畫擬定因應措施。

我國中央氣象局建立之 QPEplus 網站彙整了氣象預報資料，包括地面氣象站、自動氣象站和自動雨量站的觀測資料，並且統計分析出各地雨量分布圖和最大降雨量，同時並有衛星雲圖和閃電觀測等氣象資料。本研究對花蓮海岸公路浪襲預警系統能否整合進入 QPEplus 網站進行評估。

1.2 研究範圍

本研究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，預警系統提供 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。

颱風來臨產生異常大浪，海岸公路受此長浪衝擊，可能對海岸公路造成路基破壞及通行安全形成威脅，彙整近岸模擬海象資訊、觀測海象資訊及波浪溯上資料庫，建置浪襲預警系統，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。

1.3 計畫內容與工作項目

本研究利用 COBRAS 波浪模式模擬外海設置離岸潛堤的多種情境來分析花蓮海岸公路在易致災路段受颱風長浪的影響，探討在颱風侵襲下的波浪溯上和作用力影響範圍，藉以了解海岸公路路基易流失路段致災的可能成因，再參考花蓮海岸二級防護計畫研擬因應對策。

此外計畫使用最佳內插法，利用近岸浮標站的觀測資料進行花蓮浪襲預警系統的波高資料同化。本年度也持續維運浪襲預警系統，利用資料同化技術精進系統預警能力。並評估浪襲預警系統整合進中央氣象局 QPEplus 網頁的可行性。另外本研究建立台 11 線 44K 里程處的浪襲情境資料庫，並於 2020 年建立的花蓮海岸公路浪襲預警系統增設台 11 線新社段。

本研究的主要工作項目如下：

1. 花蓮海岸公路易致災區段颱風長浪作用力分析。
2. 評估花蓮海岸公路易致災區段受颱風波浪侵襲時之溯上及長浪作用力。
3. 從近岸浮標站觀測資料，以最佳內插法進行資料同化，調整入射處之模擬條件。
4. 維運浪襲預警系統，並利用資料同化技術精進系統預警能力。
5. 探討花蓮海岸公路易路基流失致災路段成因及研擬因應對策，對策研擬需參考花蓮海岸二級防護計畫進行評估。
6. 協助運輸研究所評估浪襲系統整合中央氣象局 QPEplus 網頁之可行性。
7. 建立台 11 線 44K 里程處的浪襲情境資料庫，並於 109 年建立的花蓮海岸公路浪襲預警系統增設台 11 線 44K 路段。
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. 本年度計畫驗收時，須提供本軟體／系統平台等資訊軟體設備建置或增修開發費用。
11. 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」，就本研究成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本研究主要研究/計畫成果及重大突破。本研究績效指標項目至少包括下列項目：

    (1) 論文與研究報告：年度之成果投稿論文 1 篇、報告 1 本。

    (2)辦理學術活動：配合計畫執行辦理教育訓練 1 場。

1.4 研究流程與工作項目檢核

本研究的研究流程主要分成台 11 線人定勝天段公路的海岸防護評估、花蓮海岸公路浪襲系統的精進、花蓮海岸公路浪襲系統增加台 11 線 44K 路段等 3 項，研究流程如圖 1.1，各工作項之進度檢核如表 1-1 所示。

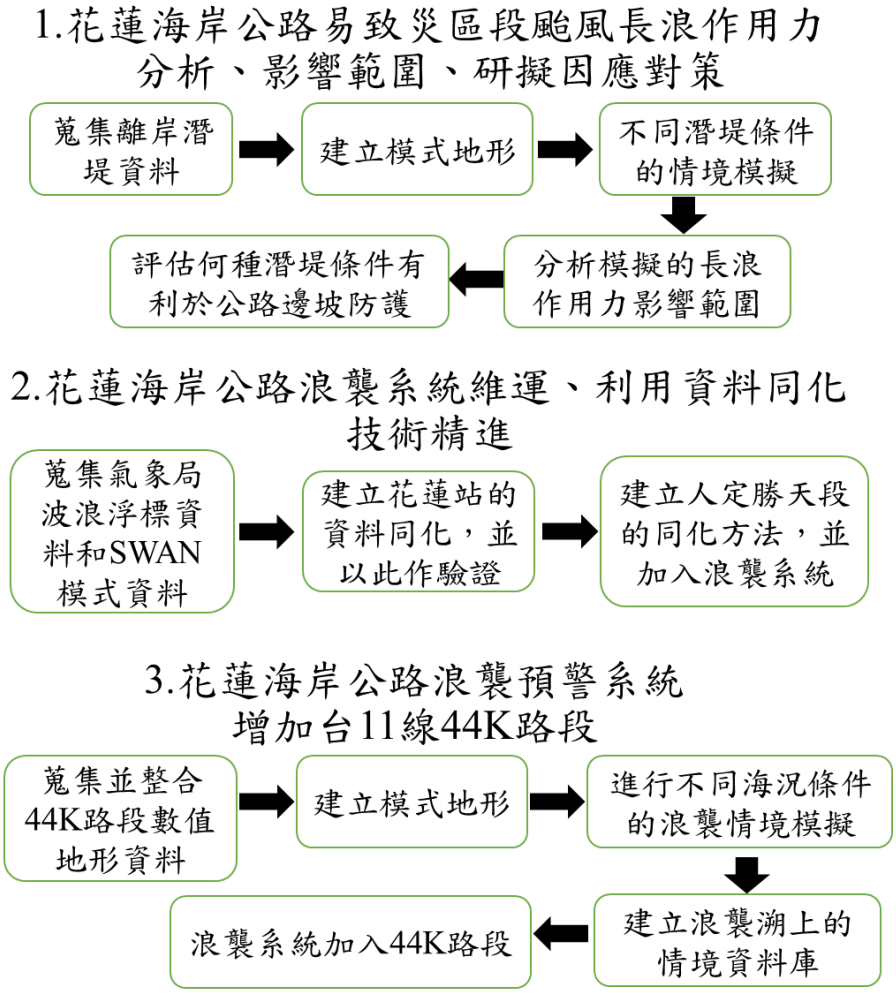


圖 1.1 研究流程

表 1-1 工作項目檢核表

工作項目	是否完成	對應章節	備註
1.花蓮海岸公路易致災區段颱風長浪作用力分析	是	第二章	
2.評估花蓮海岸公路易致災區段受颱風波浪侵襲時之溯上及長浪作用力影響範圍。	是	第二章	
3.從近岸浮標站觀測資料，以最佳內插法進行資料同化，調整入射處之模擬條件。	是	第三章	
4.維運浪襲預警系統，並利用資料同化技術精進系統預警能力。	是	第三章	
5.探討花蓮海岸公路易路基流失致災路段成因及研擬因應對策，對策研擬需參考花蓮海岸二級防護計畫進行評估。	是	第二章	
6.協助運輸研究所評估浪襲系統整合中央氣象局 QPEplus 網頁之可行性。	是	第 4.6 節	
7. 7. 建立台 11 線 44K 里程處的浪襲情境資料庫，並於 109 年建立的花蓮海岸公路浪襲預警系統增設台 11 線 44K 路段。	是	第四章	
8.針對計畫重要成果，製作可供展示之海報或影片電子檔。	是		
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。	是		第 25 屆成大水利工程研討會
10.本年度計畫驗收時，須提供本軟體／系統平台等資訊軟體設備建置或增修開發費用。	是		
11. 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，就本研究成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本研究主要研究/計畫成果及重大突破。本研究績效指標項目至少包括：投稿論文 1 篇、報告 1 本。	是		
12.論文與研究報告：年度之成果投稿論文 1 篇、報告 1 本。	是		
13.辦理學術活動：配合計畫執行辦理教育訓練 1 場。	是		已於 11 月 22 日完成

第二章 花蓮海岸公路易致災段的海岸防護

海岸地區為海陸交界的帶狀區域，包含了海陸生態的系統特性。海岸地區提供航運、觀光、學術研究、生態保育及國防等用途，具備高度的經濟價值。然而臺灣每年平均受到三至四個颱風侵襲，颱風引起的暴潮和長浪容易對臺灣東部海岸地區以及海岸公路段的民眾生命安全造成威脅。且基於海岸資源永續發展的觀念以及對自然環境的保護，有必要加強海岸防護的相關設施。保護工法除具備防災功能外，尚須兼具休閒、景觀美化的功能，故本研究以離岸潛堤作為海岸防護的參考措施。潛堤之消能性雖無法與突出水面之離岸堤相比，但如能適當調整設置位置應仍可達到離岸的海岸防護功能。

公路單位為防止海岸公路的邊坡因海浪衝擊造成路基流失或坍塌等情況的出現，往往會利用防波堤和消波塊等措施進行邊坡防護。由於防護設施可能受到波浪衝擊而造成結構受損，進而喪失防護作用，本研究利用 COBRAS 垂直 2 維波浪模式模擬離岸潛堤在不同地形深度配置下，分析長浪的溯上距離以及其作用力對台 11 線人定勝天路段 7 處斷面造成的壓力影響。另亦使用 XBeach 水平 2 維波浪模式探討不同潛堤長度和位置配置產生的壓力差異。藉由探討地形表面承受的最大壓力來提供潛堤設計的初步評估。

2.1 臺灣離岸潛堤設計的資料蒐集

過去臺灣沿岸已有眾多離岸堤的設置案例，例如圖 2.1 為林邊鄉崎峰村設置的離岸潛堤設計，由於該海岸區域沙灘逐年受到侵蝕，故以離岸潛堤的工法進行沙灘保護，透過消弱波浪能量來降低沙灘受到海浪的直接衝擊，同時讓海灘兼具海岸景觀、生態保育及親水性等功能性。而圖 2.2 為屏東縣東港鎮鎮海公園附近的潛堤設計，該海岸地區同樣存在沙灘受到淘刷使灘線逐年後退的問題，所以選擇離岸潛堤作為海岸防護的措施。

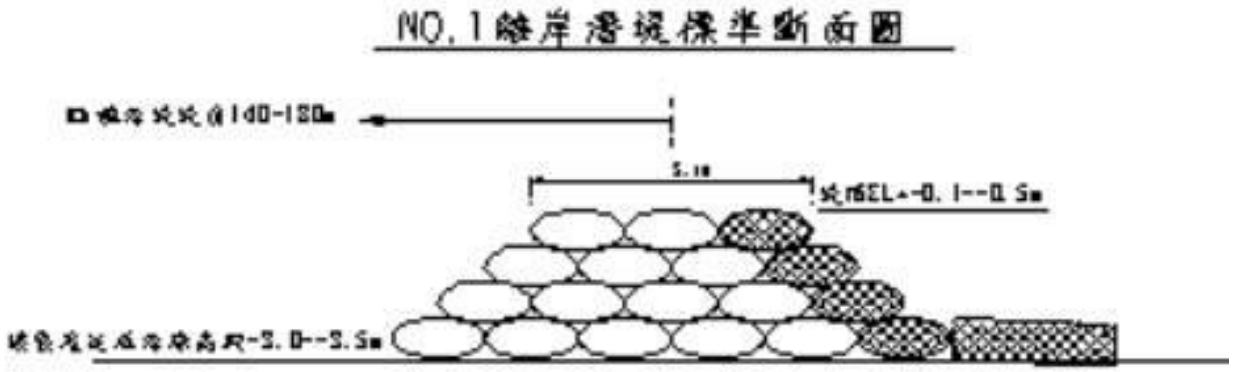


圖 2.1 林邊鄉崎峰村潛堤設計(來源：臺灣省土木技師公會技師報)

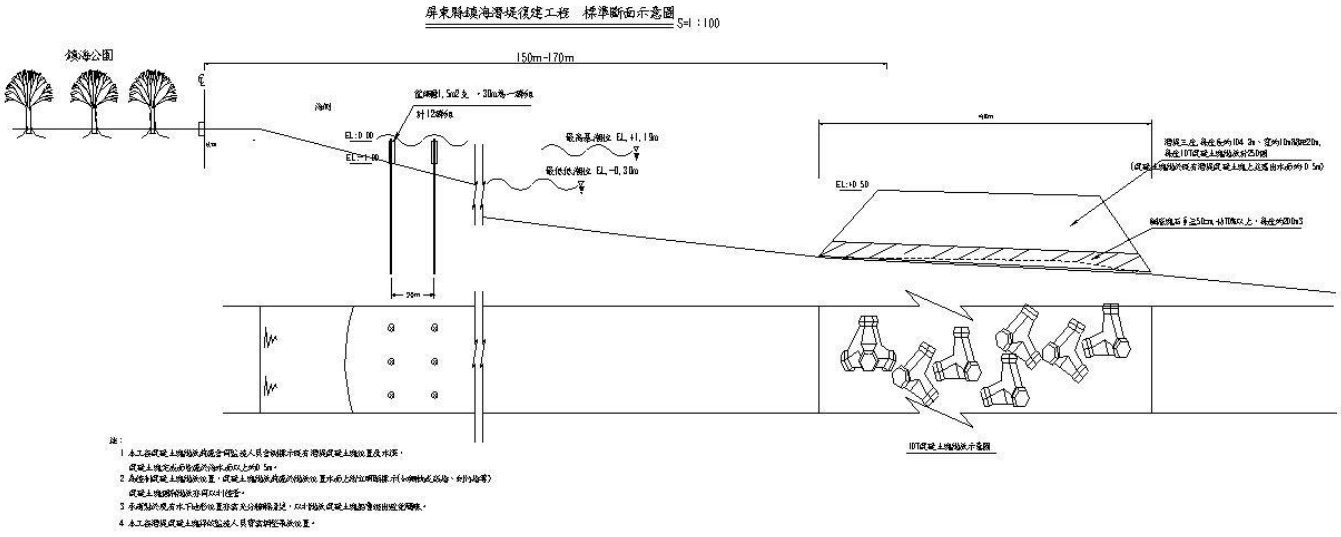


圖 2.2 屏東縣東港鎮鎮海公園潛堤設計(來源：臺灣省土木技師公會技師報)

由於花蓮海岸屬於侵蝕性海岸，又常直接受到太平洋的颱風長浪影響，故在南濱、北濱和化仁的海岸區域外海海床 5 到 7 公尺處陸續建立多座離岸潛堤，部分位置和潛堤設計如圖 2.3 和圖 2.4。這些離岸潛堤因處於適當的水深，在削減海浪入射的能量來防止海岸遭到侵蝕的同時，也能發揮良好的人工魚礁效果。特別是近幾年水利署的花蓮南濱海岸改善計畫，以「離岸潛堤」、「塊石海堤堤身」、「綠帶防風林」等三道海岸防護措施，獲得 2020 第八屆臺灣景觀大獎環境設施類優質獎。

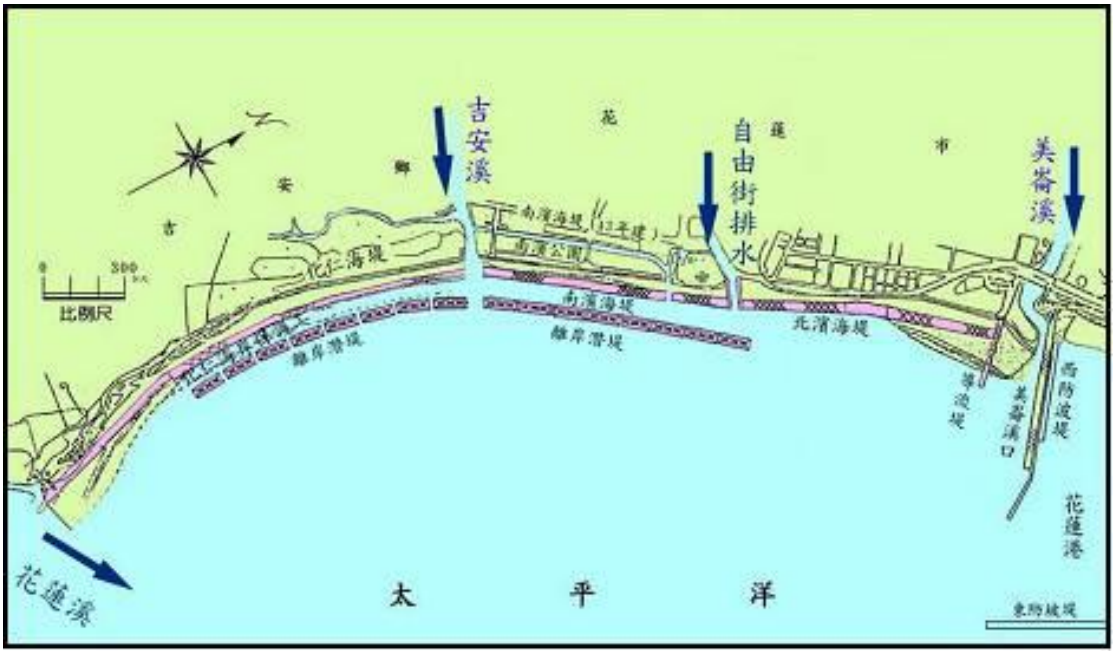


圖 2.3 花蓮縣南濱和化仁區域潛堤配置(來源：臺灣省土木技師公會技師報)

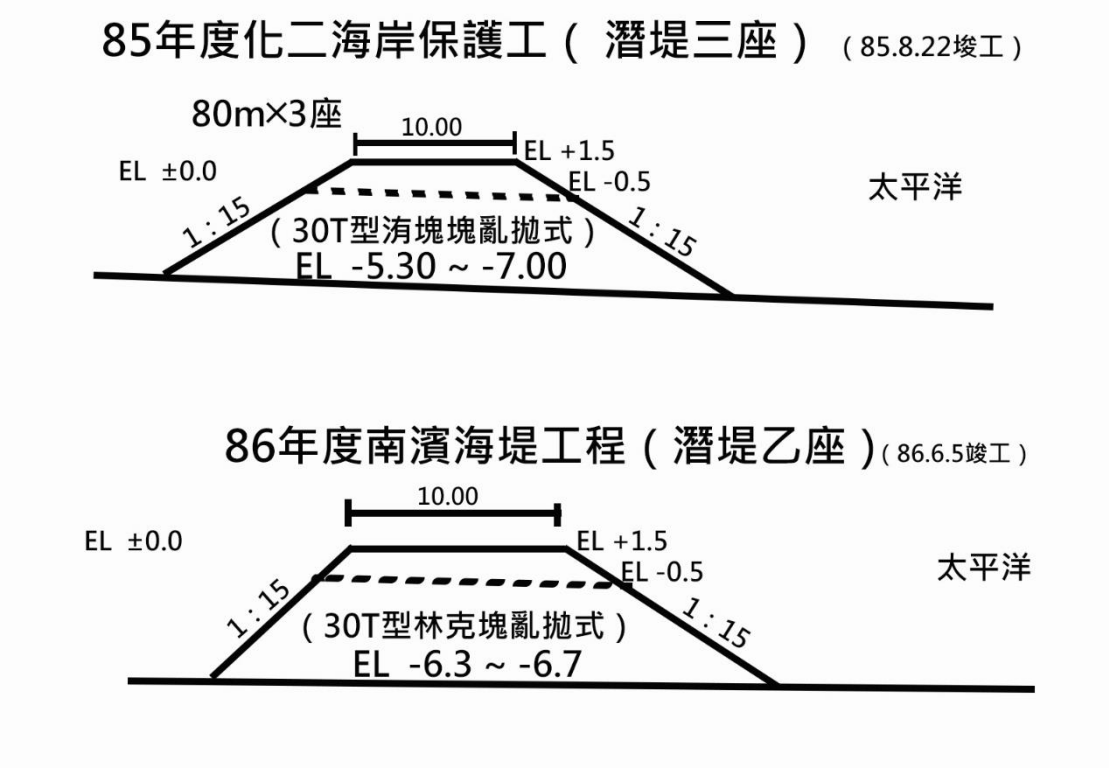


圖 2.4 化仁和南濱離岸潛堤設計(來源：臺灣省土木技師公會技師報，本研究重繪)

在高雄市政府旗津海岸線監測計畫中，根據監測近 10 年資料顯示流失沙灘縱深約 50 公尺到 150 公尺之間。為改善沙灘流失的情況，高雄市政府旗津海水浴場到風車公園，海岸線長約 3.6 公里，沿線配置二座人工灣澳潛堤、八座離岸潛堤及一座離岸堤等海岸構造物。另外約補養灘 110 萬立方公尺的沙量等，主要目的就是改善旗津海岸之侵蝕。海堤的平面配置和離岸堤的設計各如圖 2.5 和 2.6。近幾年在屏東縣車城鄉福安宮北側海岸環境改善計畫中於外海設置離岸潛堤來做為沙灘保護的措施，其潛堤設計如圖 2.7。上述臺灣各地海岸的潛堤設計相關參數列於表 2-1。

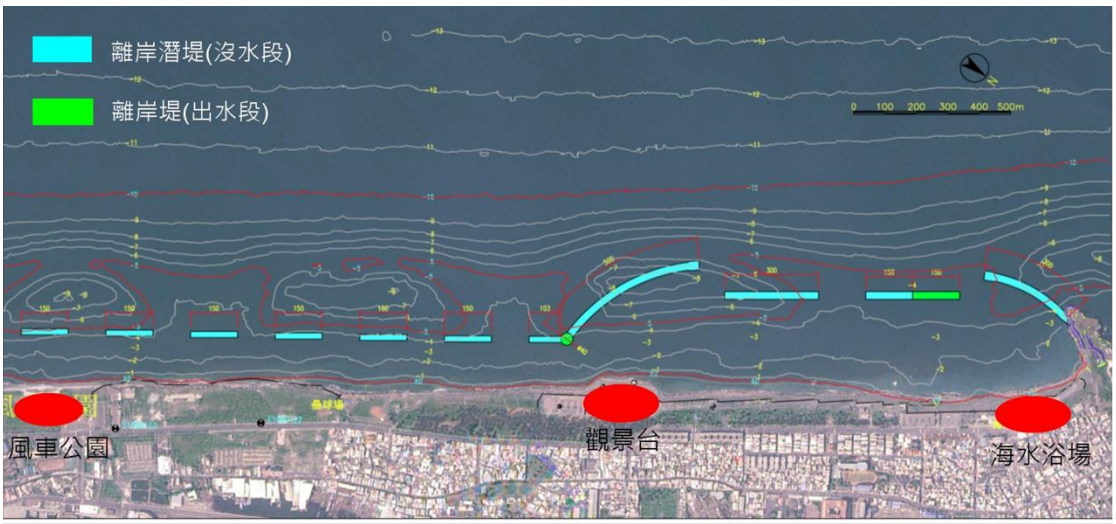


圖 2.5 旗津區海岸保護工程示意圖(資料來源：高雄市政府工務局)

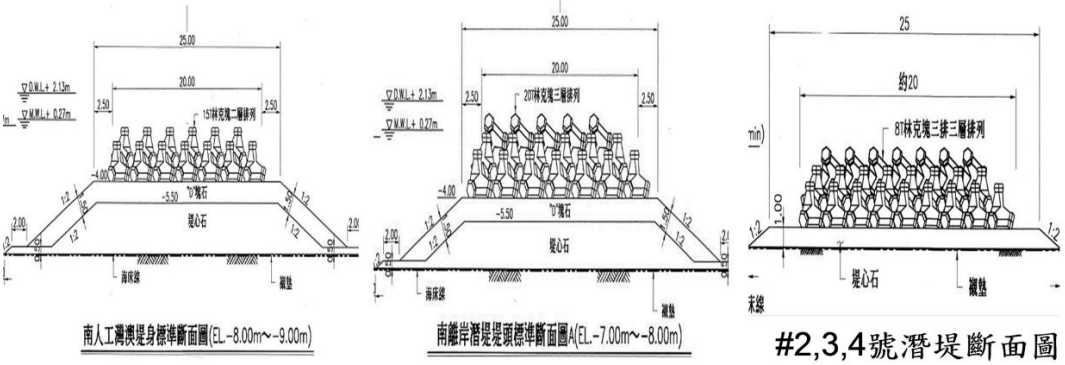


圖 2.6 旗津區海岸保護工程潛堤斷面(來源：高雄市政府工務局)

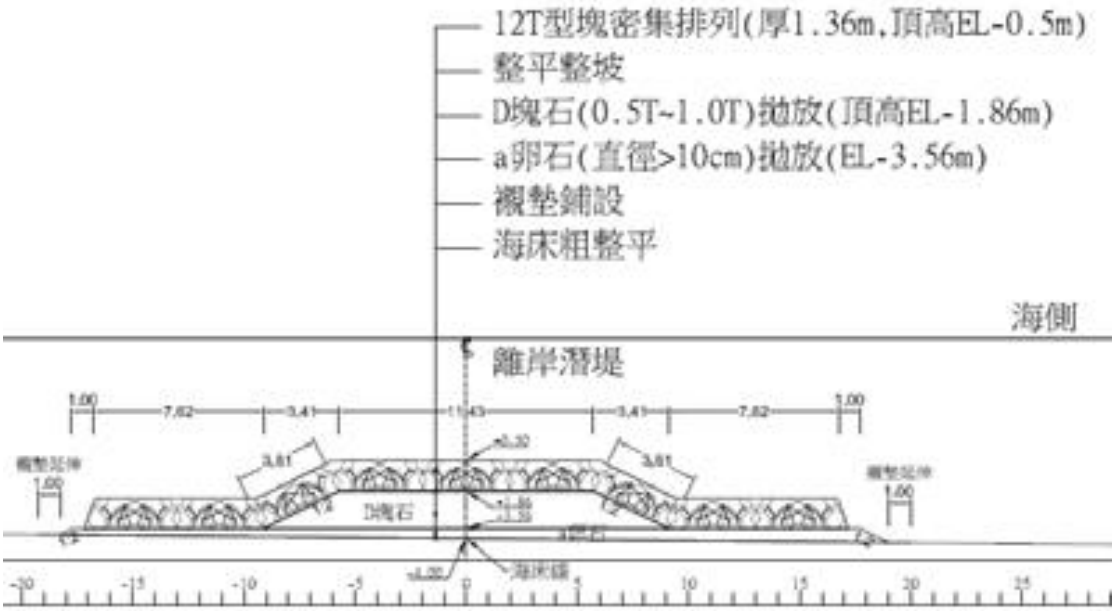


圖 2.7 屏東縣車城鄉福安宮北側海岸潛堤設計(來源：2019 年福安宮海岸復育工程委託規劃設計期末成果報告書)

表 2-1 海堤設計相關參數

地點	離岸距離(m)	堤頂高程(m)	堤頂寬度(m)	側邊坡度	海床高程(m)	堤長(m)	間距(m)
東港溪與林邊溪出海口間	140-180	EL-0.1 到-0.5	5.1	11	-3 到-3.5	60	60
東港鎮鎮海公園附近	150-170	EL-0.5	約 10	11	-2.9 到 3.6	104.2	20
花蓮化仁	135	EL-0.5	10	1:1.5	-5.3 到-7	80	30
花蓮南濱	135	EL-0.5	10	1:1.5	-6.3 到-6.7	80	
旗津南離岸潛堤	約 30 到 400	EL-4	25	1:2	-7 到-9	300	150
屏東縣福安宮海岸	150	EL-0.5	11.43	1:2	-4	180	11

附註：(EL 為平均海水面)

2.2 COBRAS 波浪模式介紹

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 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。

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：

$$\frac{\partial <u_i>}{\partial x_i} = 0 \tag{2.1}$$

動量方程式：

$$\frac{\partial <u_i>}{\partial t} + < u_j > \frac{\partial <u_i>}{\partial x_j} = -\frac{1}{\boldsymbol{\rho}}\frac{\partial <p>}{\partial x_i} + g_i + \frac{1}{\boldsymbol{\rho}}\frac{\partial <\boldsymbol{\tau}_{ij}>}{\partial x_j} \tag{2.2}$$

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。$\boldsymbol{\rho}$ 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。$\boldsymbol{\tau}_{ij}$為黏滯應力。<> 符號代表時間平均。另外：

$$< \boldsymbol{\tau}_{ij} >= 2\boldsymbol{\mu} S_{ij} + \boldsymbol{\rho} < u_i' u_j' > \tag{2.3}$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial <u_i>}{\partial x_j} + \frac{\partial <u_j>}{\partial x_i}\right) \tag{2.4}$$

其中$\boldsymbol{\mu}=\boldsymbol{\nu\rho}$為動力黏滯係數，而$\boldsymbol{\nu}$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，$<u_i'u_j'>$為雷諾應力(Reynolds stress)。

k-ε 紊流閉合模式的控制方程如下：

$$\frac{\partial k}{\partial t}+<u_j>\frac{\partial k}{\partial x_j}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\frac{\boldsymbol{\nu_t}}{\boldsymbol{\sigma_k}}+\boldsymbol{\nu}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]-<u_i'u_j'>\frac{\partial<u_i'>}{\partial x_j}-\boldsymbol{\varepsilon} \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial t}+<u_j>\frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial x_j}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\frac{\boldsymbol{\nu_t}}{\boldsymbol{\sigma_\varepsilon}}+\boldsymbol{\nu}\right)\frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial x_j}\right]+2C_{1\boldsymbol{\varepsilon}}\frac{\boldsymbol{\varepsilon}}{k}\boldsymbol{\nu_t}S_{ij}\frac{\partial<u_i>}{\partial x_j}-C_{2\boldsymbol{\varepsilon}}\frac{\boldsymbol{\varepsilon}^2}{k} \quad (2.6)$$

其中

$k=\frac{1}{2}<u_i'u_j'>$ 為紊流動能 (turbulence kinetic energy)

$\boldsymbol{\varepsilon}=\boldsymbol{\nu}<\left(\frac{\partial u_i'}{\partial x_k}\right)^2>$ 為紊流消散率 (turbulence dissipation rate)

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

$$C_d=\frac{2}{3}\left(\frac{1}{7.4+\mathrm{S_{max}}}\right) \quad (2.7)$$

$$\mathrm{S_{max}}=\frac{\boldsymbol{\varepsilon}}{k}max\left(\left|\frac{\partial<u_i>}{\partial x_i}\right|\right) \quad (2.8)$$

根據 Rodi (1980)的建議值，在此將$\boldsymbol{\sigma}_k$、$\boldsymbol{\sigma_\varepsilon}$、$C_{1\boldsymbol{\varepsilon}}$、$C_{2\boldsymbol{\varepsilon}}$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：

$$<u_i'u_j'>=-2\boldsymbol{\nu}_tS_{ij}+\frac{2}{3}k\delta_{ij} \quad (2.9)$$

2.當渦流黏度為非等向性：

$$< u_i'u_j' >= \frac{2}{3}k\boldsymbol{\delta}_{ij} - C_d\frac{k^2}{\boldsymbol{\varepsilon}}\left(\frac{\partial<u_i>}{\partial x_j} + \frac{\partial<u_j>}{\partial x_i}\right) - \frac{k^3}{\boldsymbol{\varepsilon}^2}\left[C_1\left(\frac{\partial<u_i>}{\partial x_l}\frac{\partial<u_l>}{\partial x_j} + \frac{\partial<u_j>}{\partial x_l}\frac{\partial<u_l>}{\partial x_i} - \frac{\partial<u_l>}{\partial x_k}\frac{\partial<u_k>}{\partial x_l}\boldsymbol{\delta}_{ij}\right) + C_2\left(\frac{\partial<u_i>}{\partial x_k}\frac{\partial<u_j>}{\partial x_k} - \frac{1}{3}\frac{\partial<u_l>}{\partial x_k}\frac{\partial<u_l>}{\partial x_k}\boldsymbol{\delta}_{ij}\right) + C_3\left(\frac{\partial<u_k>}{\partial x_i}\frac{\partial<u_k>}{\partial x_j} - \frac{1}{3}\frac{\partial<u_l>}{\partial x_k}\frac{\partial<u_l>}{\partial x_k}\boldsymbol{\delta}_{ij}\right)\right] \quad (2.10)$$

其中$\boldsymbol{\delta}_{ij}$為 Kronecker delta 函數，且

$C_1 = \frac{1}{185.2+\mathrm{D}_{\max}^2}$，$C_2 = \frac{1}{58.5+\mathrm{D}_{\max}^2}$，$C_3 = \frac{1}{370.4+\mathrm{D}_{\max}^2}$，$\mathrm{D}_{max} = \frac{k}{\boldsymbol{\varepsilon}}\max\left(\left|\frac{\partial<u_i>}{\partial x_j}\right|\right)$

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。

在 COBRAS 模式所模擬的壓力驗證方面，陳(2017)利用水工模型試驗建立一個直立壁堤防模型來進行波浪越波對防坡堤的壓力分析，其堤前和堤後的最大壓力觀測值與模式值接近。而蔡等人(2016)利用 Lee (2006)水工模型試驗的波浪對沉箱式合成堤受力分析結果，在合成堤的堤前與底部壓力的觀測值亦與模擬值一致。故本研究採用 COBRAS 模式來進行相關的颱風波浪對潛堤的壓力模擬分析。

2.3 模式數值地形

模式使用的地形為港灣技術研究中心提供的高解析度光達陸地地形和近岸的船測地形。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 線人定勝天路段附近的數值化地形以及地形資料點分布如圖 2.8 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 7 個里程位置的離岸方向各取切線作為模式地形，如圖 2.9 和 2.10。在此利用 XBeach 水平 2 維模式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 處的地形切線，如圖 2.11。

圖 2.11 所選取的綠色切線地形剖面如圖 2.12 到圖 2.18 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 處且波浪週期 10 秒為例，由於模式的波浪由左邊界入射，故先將圖 2.12 的切線地形左右翻轉後取出最大深度到 32m 的部分，如圖 2.19 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 2.19 的 X 座標-1862 到-800 m 區間。最後將圖 2.19 的地形提供給模式使用。為方便計算波浪溯上的溢淹距離，在此將 X 座標 0m 處定義在海陸交界處，其地形高程為 0m。

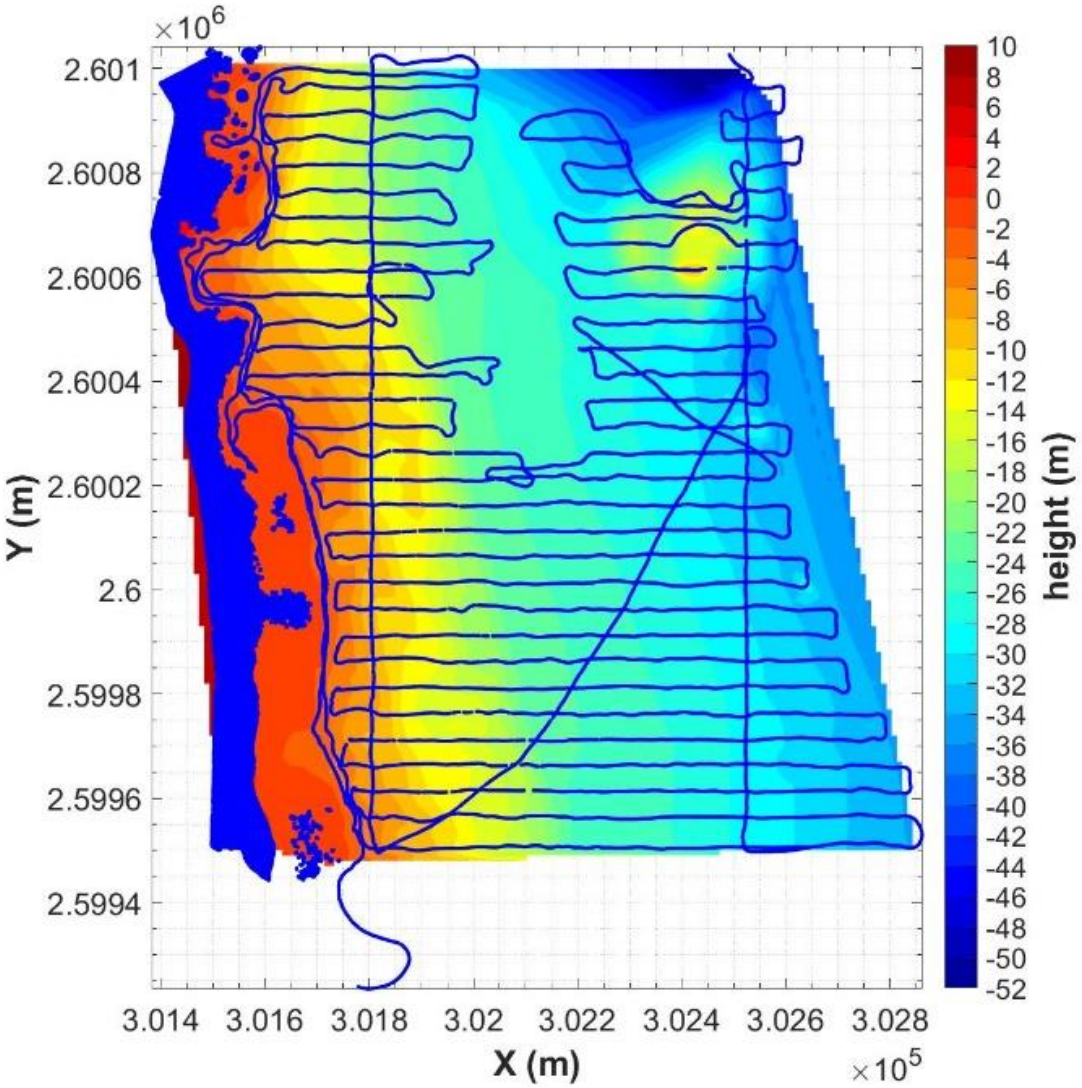


圖 2.8 台 11 線人定勝天路段數值地形以及地形測點(藍點)分布

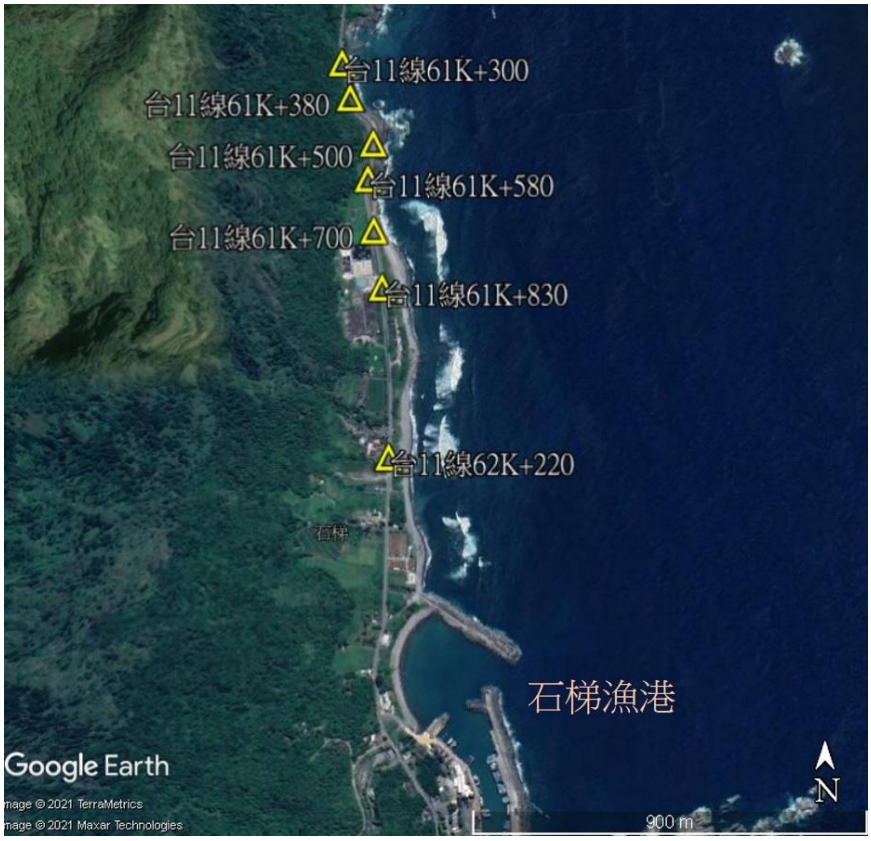


圖 2.9 google earth 台 11 線人定勝天路段 7 個情境里程位置

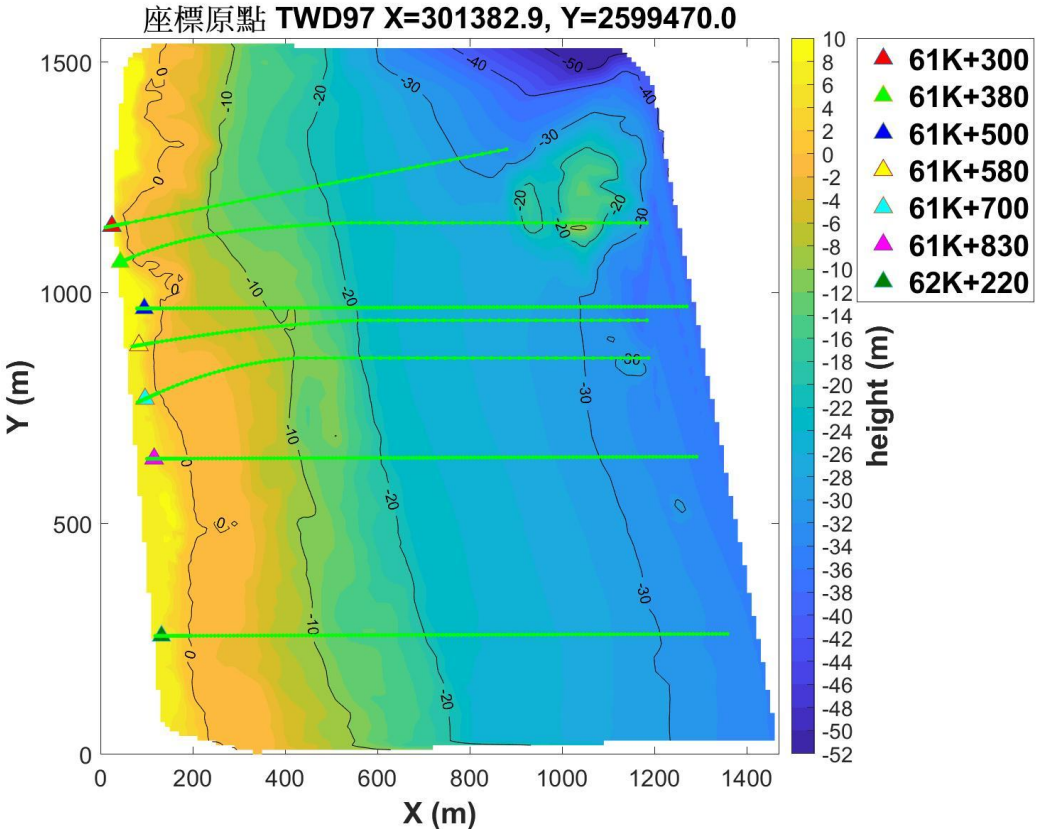


圖 2.10 台 11 線人定勝天路段 7 個里程位置(三角)及地形切線(綠線)

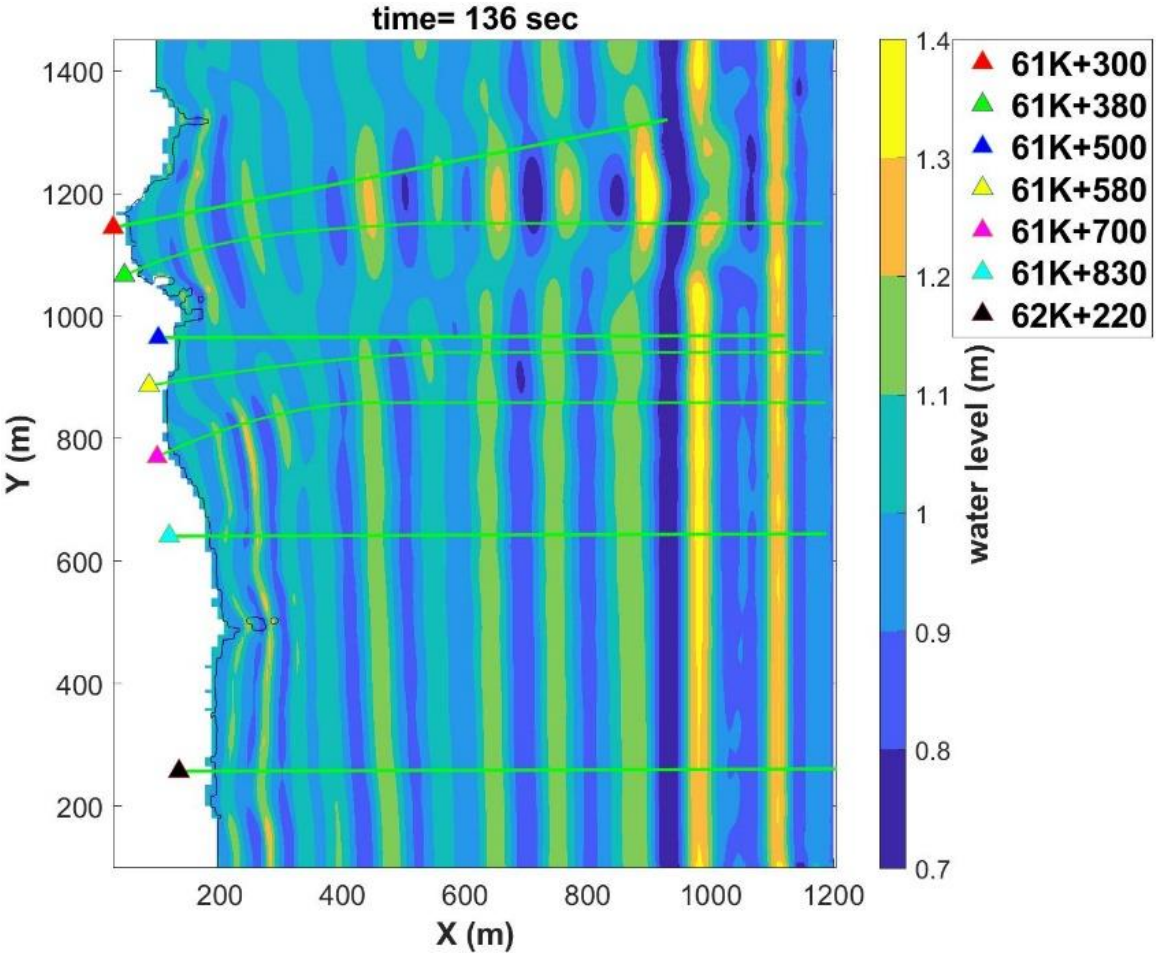


圖 2.11 台 11 線人定勝天路段 7 個里程位置(三角)沿波向線選取地形切線(綠線)

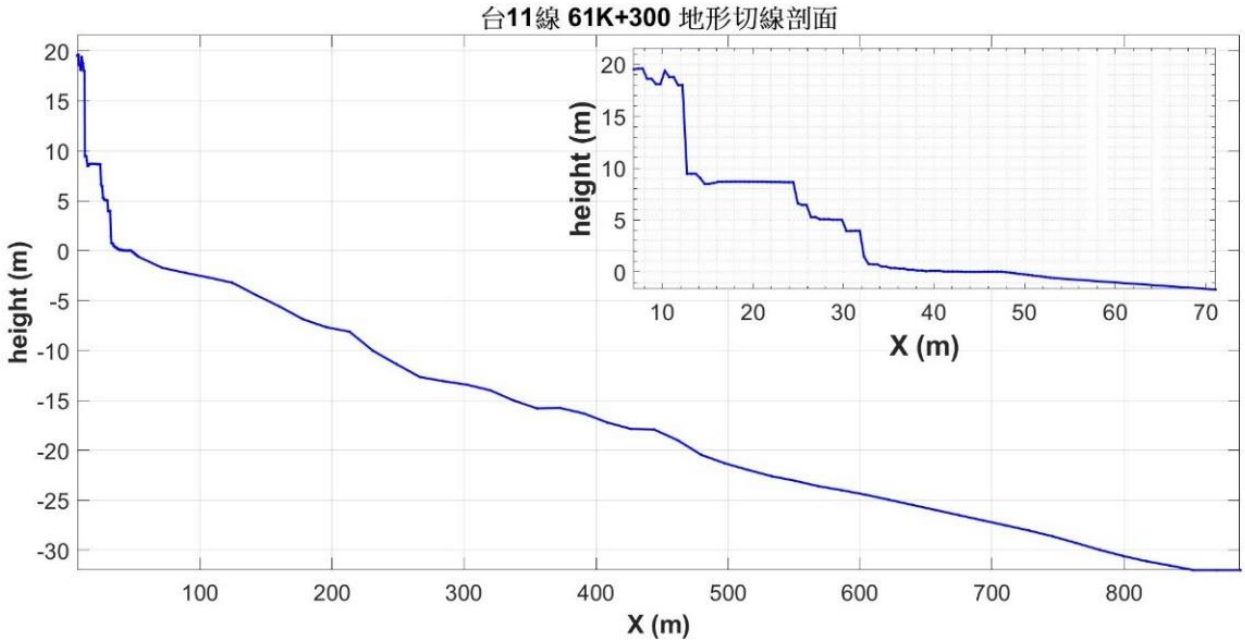


圖 2.12 61K+300 離岸方向的地形剖面

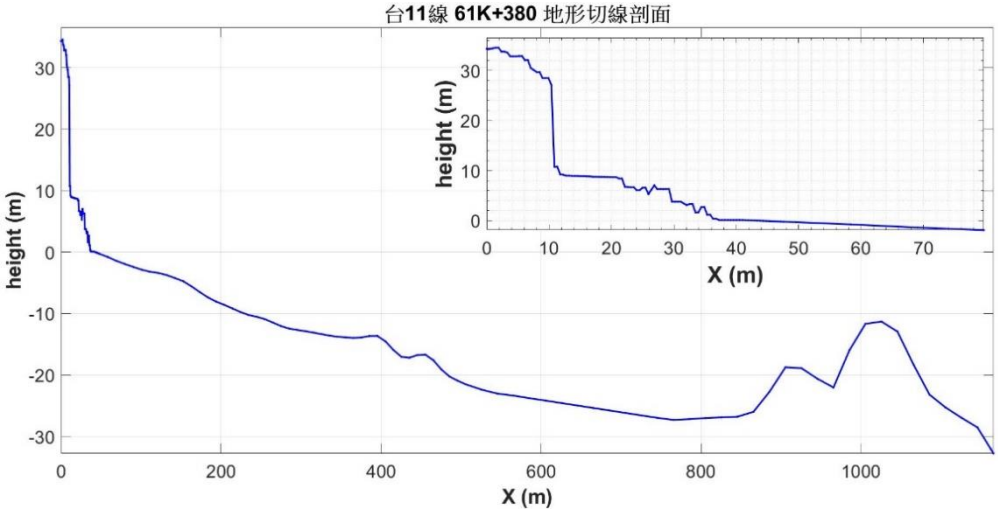


圖 2.13 61K+380 離岸方向的地形剖面

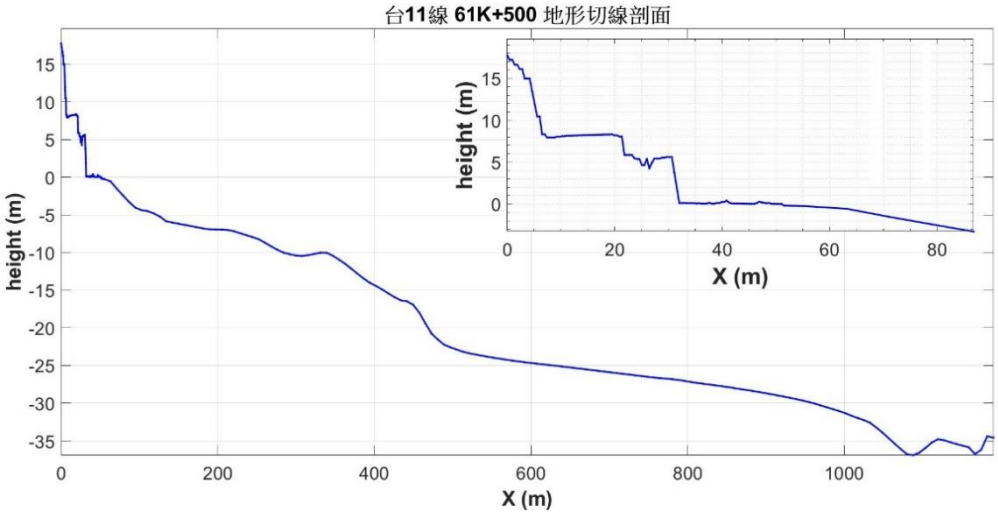


圖 2.14 61K+500 離岸方向的地形剖面

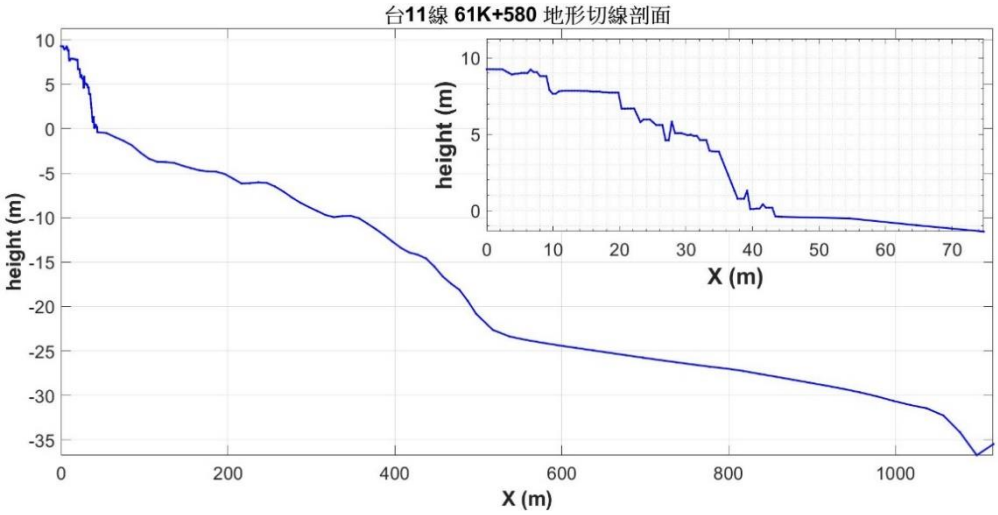


圖 2.15 61K+580 離岸方向的地形剖面

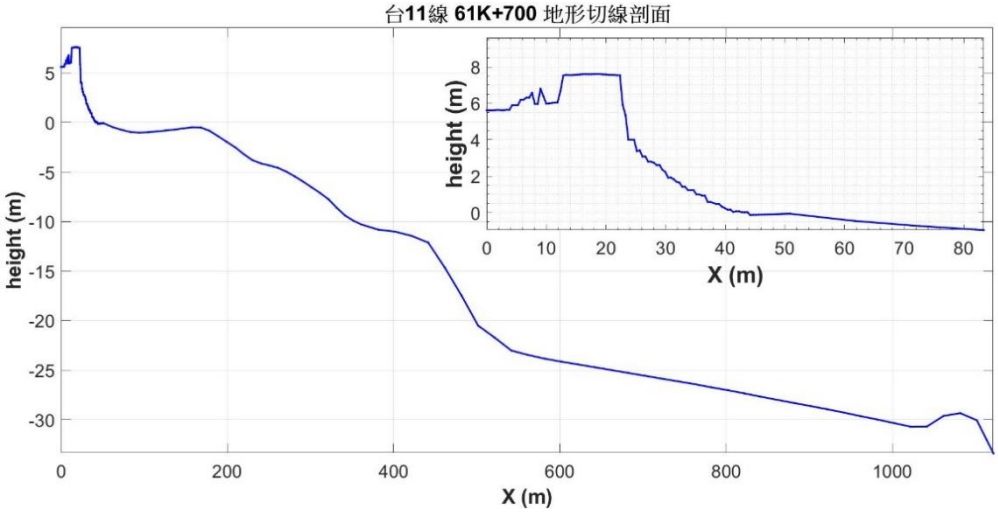


圖 2.16 61K+700 離岸方向的地形剖面

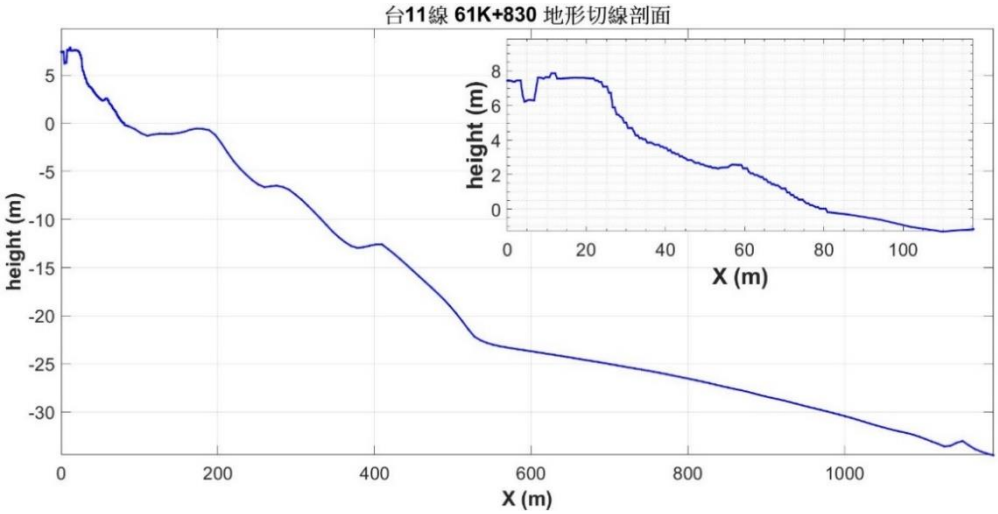


圖 2.17 61K+830 離岸方向的地形剖面

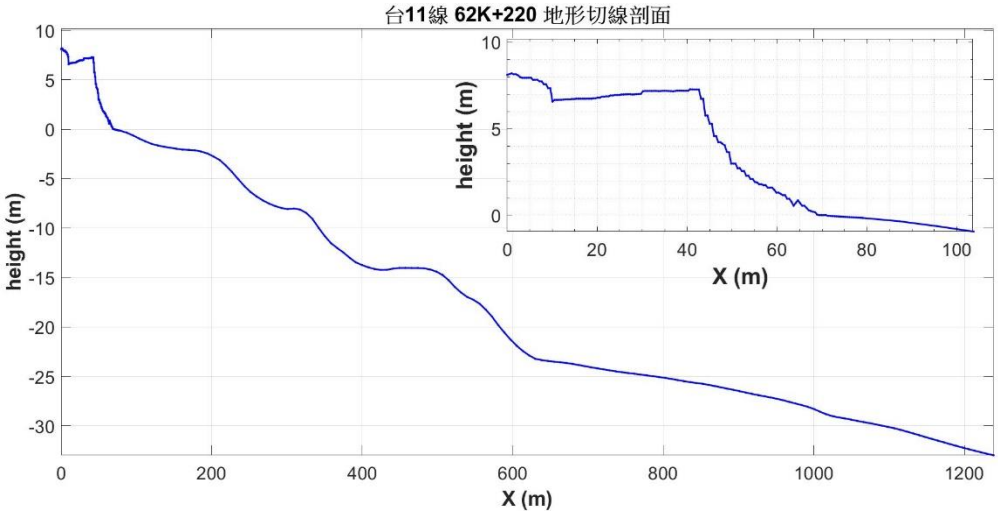


圖 2.18 62K+220 離岸方向的地形剖面

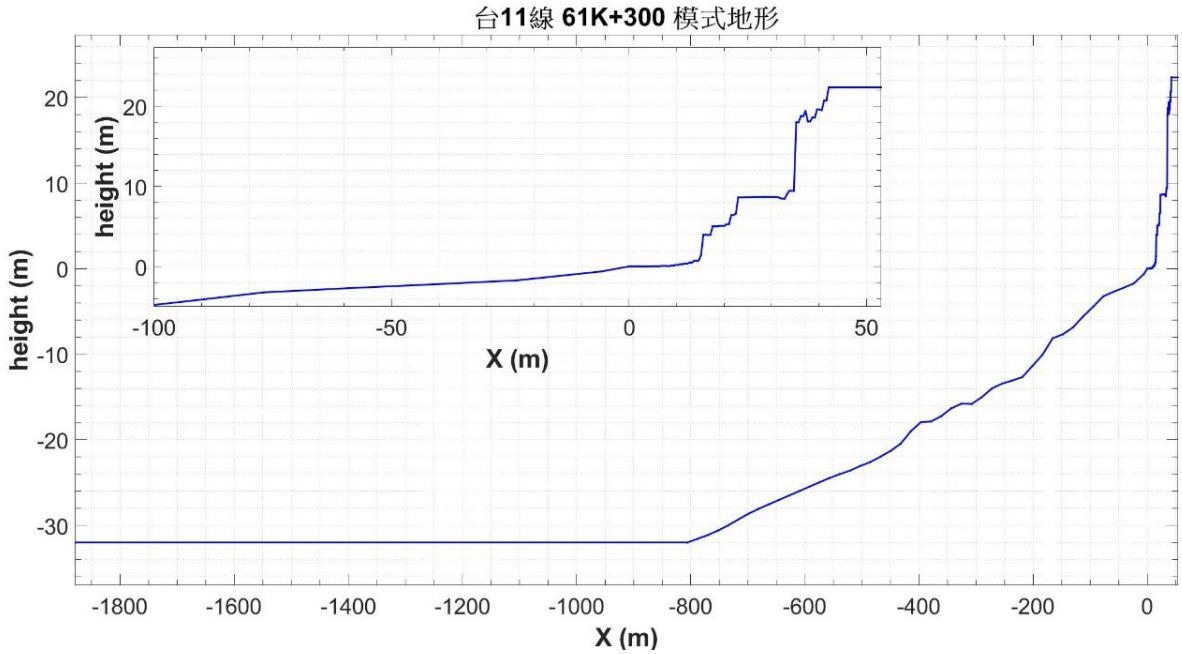


圖 2.19 模式使用的 61K+300 切線地形

2.4 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，如圖 2.19 的 X=-1870 到-800m 範圍，其解析度為 2m;右側區域近岸水平距離近岸 300 公尺往右的區域,如圖 2.19 的 X=-300 到 52m 範圍，解析度為 0.5m；介於左、右兩區的中間區域，如圖 2.19 的 X=-800 到-300m 範圍，解析度由左至右從 2m 線性變化到 0.5m。在垂直的 Y 方向解析度設定，上述三區皆為 0.5m。至於時間解析方面使用調整式的時間步長,每個時間步驟計算後都會調整一次步長。另外因為模式地形由圖 2.10 的切線取得，亦即假設 COBRAS 情境入射波沿著該切線前進。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。模擬時間設定為波浪第一波抵達陸地後，再加上 8 個入射波周期。

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 8 個正弦波入射。圖 2.20 為 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，港灣技術研究中心在花蓮港外海 AWCP 觀測的示性波高和尖峰周期觀測值。參考其尖峰週期大小，在此將入射波週期設定為較大的 16 秒。另外參考陳等人(2017)的花蓮港波高重現期(表 2-2)，將

邊界入射波高設定為 50 年重現期的 10m。

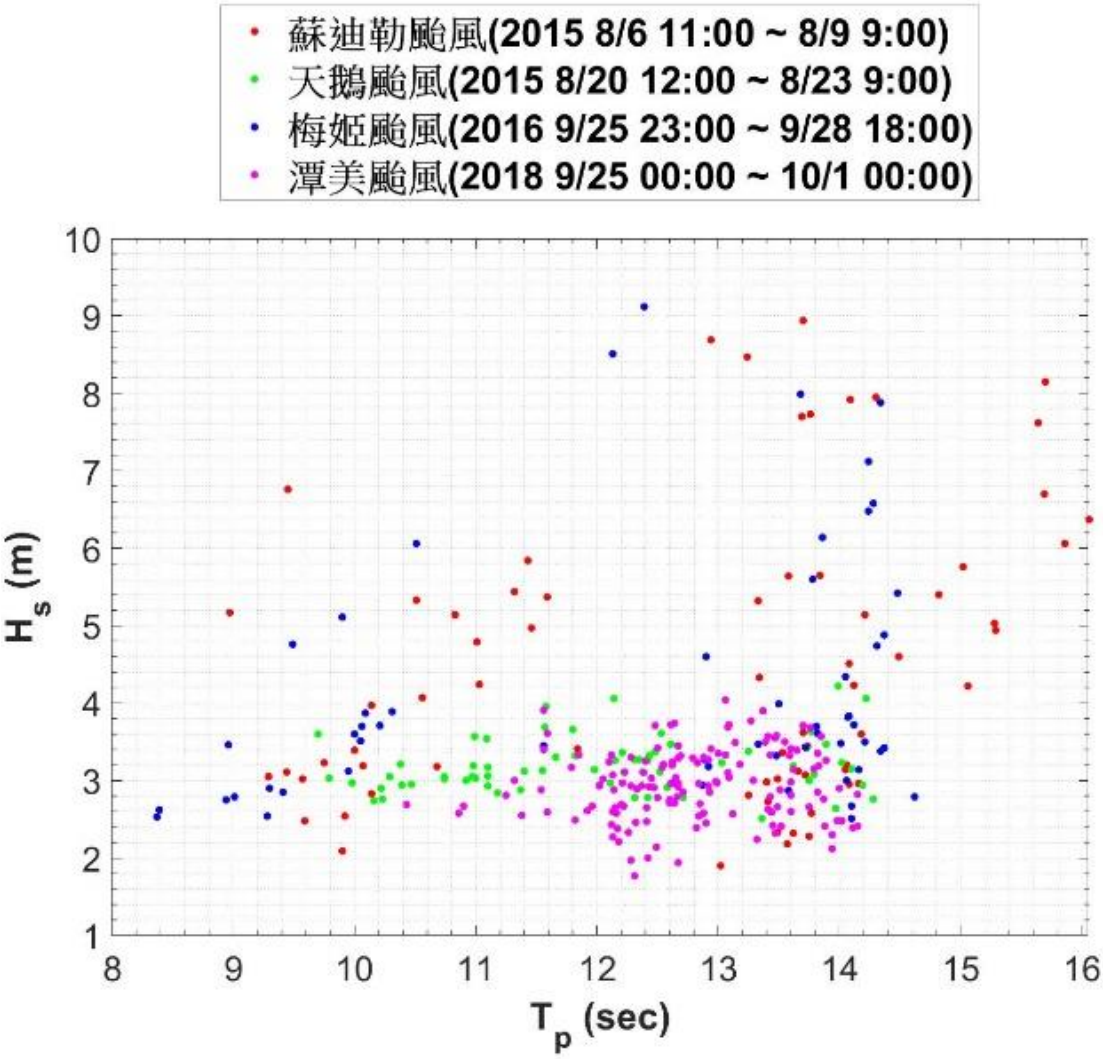


圖 2.20 四個颱風期間的花蓮港 AWAC 示性波高和週期

表 2-2 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

為了解台 11 線人定勝天路段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石梯漁港 2020 年的天文潮如圖 2.21，由圖可知石梯漁港的潮位範約在-1.1m 到 1.1m 之間。根據氣象局網頁資料(圖 2.22)可知石梯漁港所在的豐濱鄉其臺灣高程基準比當地平均海面

高 0.24m，則可概估石梯漁港天文潮高程在-0.9m 到 1.3m 之間。

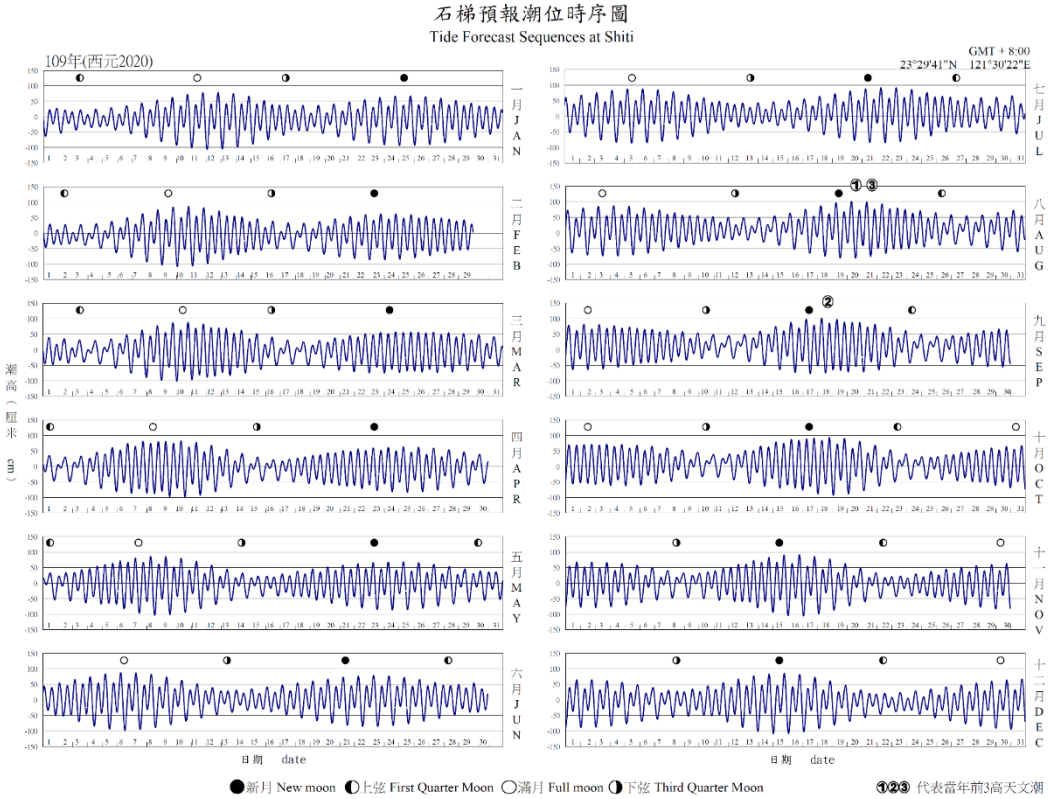


圖 2.21 石梯漁港 2020 年天文潮預報(來源：氣象局 2020 年潮汐表)

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 2.22 氣象局花蓮沿海潮汐預報網站(潮高單位 cm)

楊(2018)利用 2001 到 2017 年的石梯潮位站觀測資料分析出資料期間石梯站最大的暴潮偏差為 1.3m 且最大偏差發生時間在 2015 年的蘇迪勒颱風期間。以臺灣高程基準來看，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 COBRAS 分別使用平均潮位 0m，一般高潮位 1m 和較極端的高潮位 2.5m 等三種初始水位條件作為模擬的情境潮位。

在離岸潛堤設定方面，選擇將潛堤設置在 4 到 8m 共 5 種不同海床深度的位置進行模擬。以 61K+300 為例，潛堤配置如圖 2.23，其他 6 處的潛堤地形配置請參照附錄一，圖由上至下各為無潛堤以及潛堤深度 4m 到 8m。潛堤的尺度設定在參考表 2-1 後，在此選擇堤頂寬度為 10m，堤頂高度固定在平均水位高程-0.5m，潛堤兩側的坡度為 1:2。包含無潛堤的情境模擬，藉由 3 種潮位搭配 6 種海堤條件以及人定勝天路段 7 處斷面，情境模擬共有 126 種，如圖 2.24。

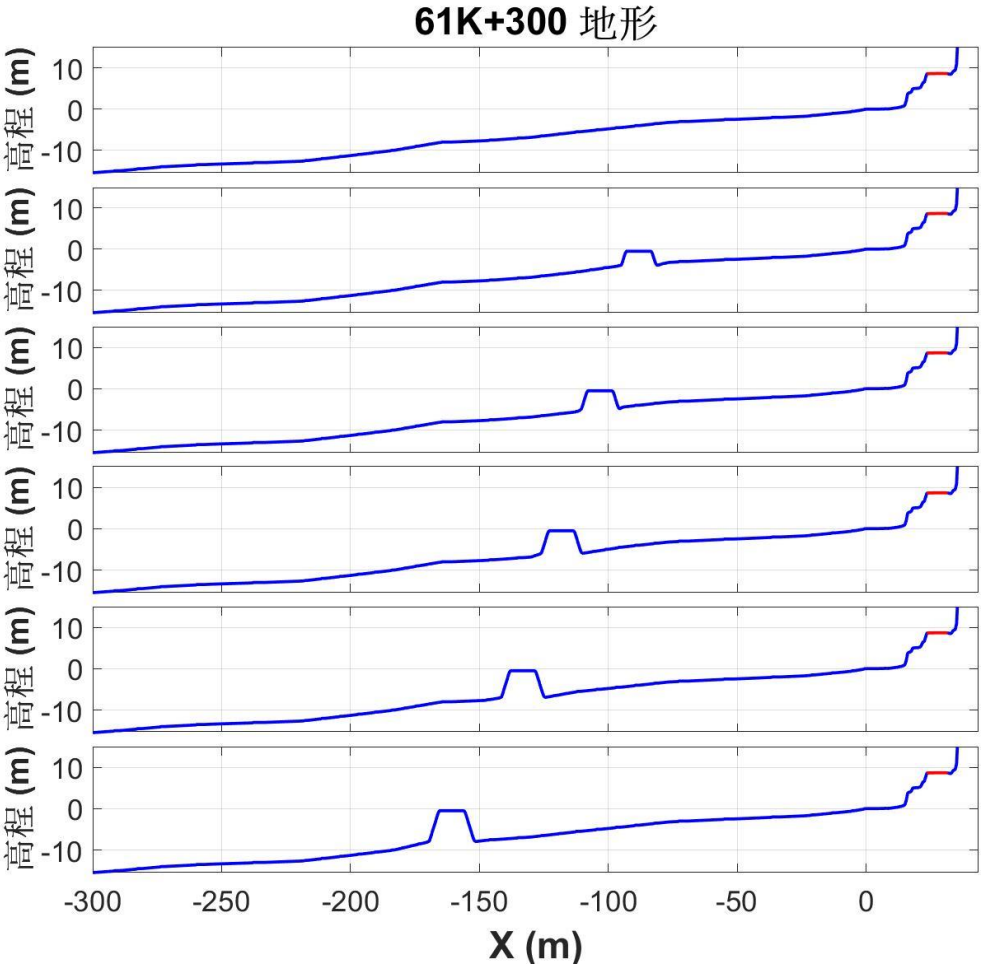


圖 2.23 61K+300 外海離岸潛堤地形配置

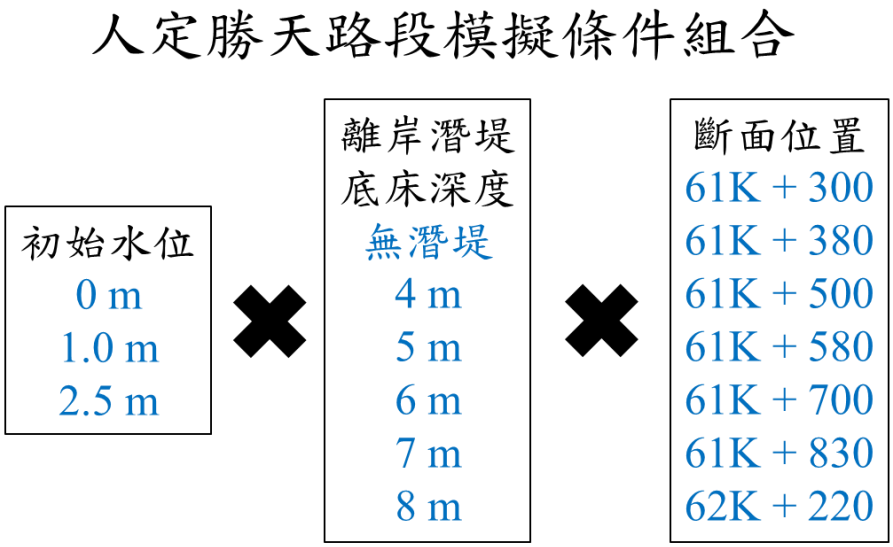


圖 2.24 不同模擬條件組合

2.5 模擬流程

COBRAS 模擬流程以 61K+300 初始水位 2.5m 且潛堤底床深度為 6m 的情境為例，首先建立模式地形後開始模擬。模擬結束後可得到模擬期間的流速、壓力及水位等相關資料，圖 2.25 為模擬第 90 到第 270 秒的空間壓力分佈，而圖 2.26 為模擬期間的最大壓力空間分布。由最大壓力空間分布除了可了解模擬期間的最大溢淹距離之外，亦可得知包含潛堤在內的地形表面所承受的最大壓力，如圖 2.27。

圖 2.28 為接近道路附近 15m 到道路之間的區域範圍內沿著 X 方向的地表最大壓力值，其中 X=23.5 到 31.5m 為道路範圍(紅線部分)由圖可知該情境的溢淹距離達 35m，已溢淹滿整個路面。另外靠近道路的 X=21.5m 處出現約 900kPa 的壓力值。而圖 2.29 為模擬期間潛堤處沿 X 方向的地表最大壓力值，最大值約 3700kPa，出現在潛堤前側區域(X=-124.5m)。本研究透過 126 種情境的最大壓力空間分布的分析，來了解將離岸潛堤設置在何種海床深度有利於台 11 線人定勝天路段的海岸防護措施。

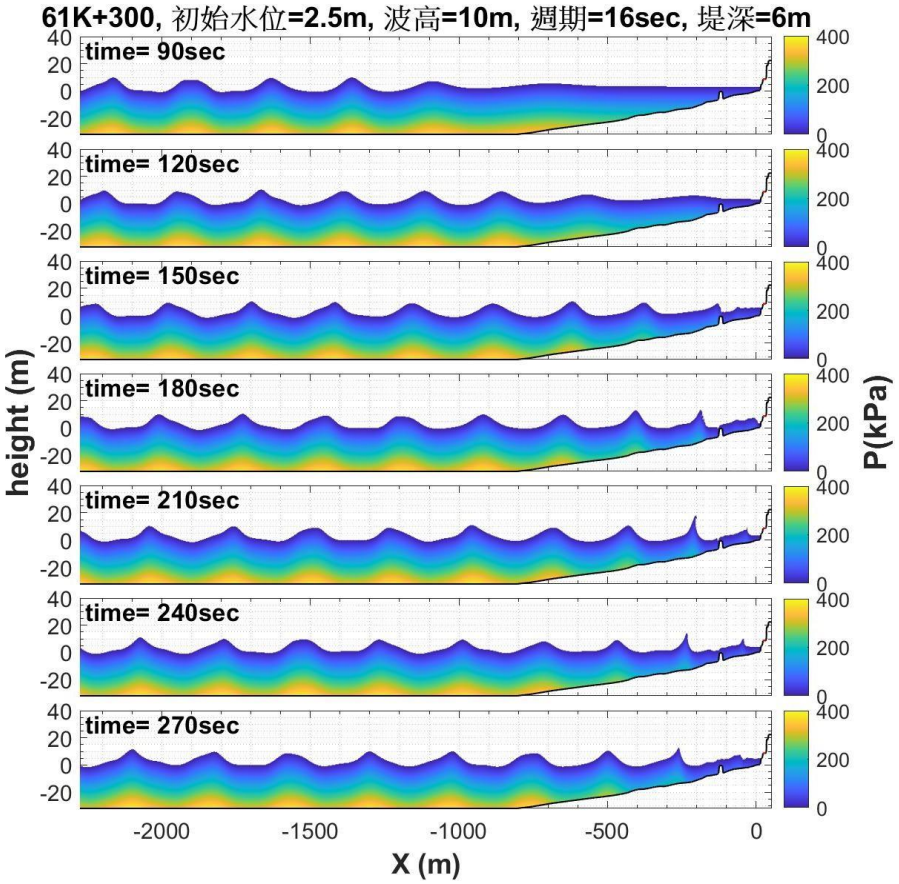


圖 2.25 61K+300 模擬的壓力空間分布

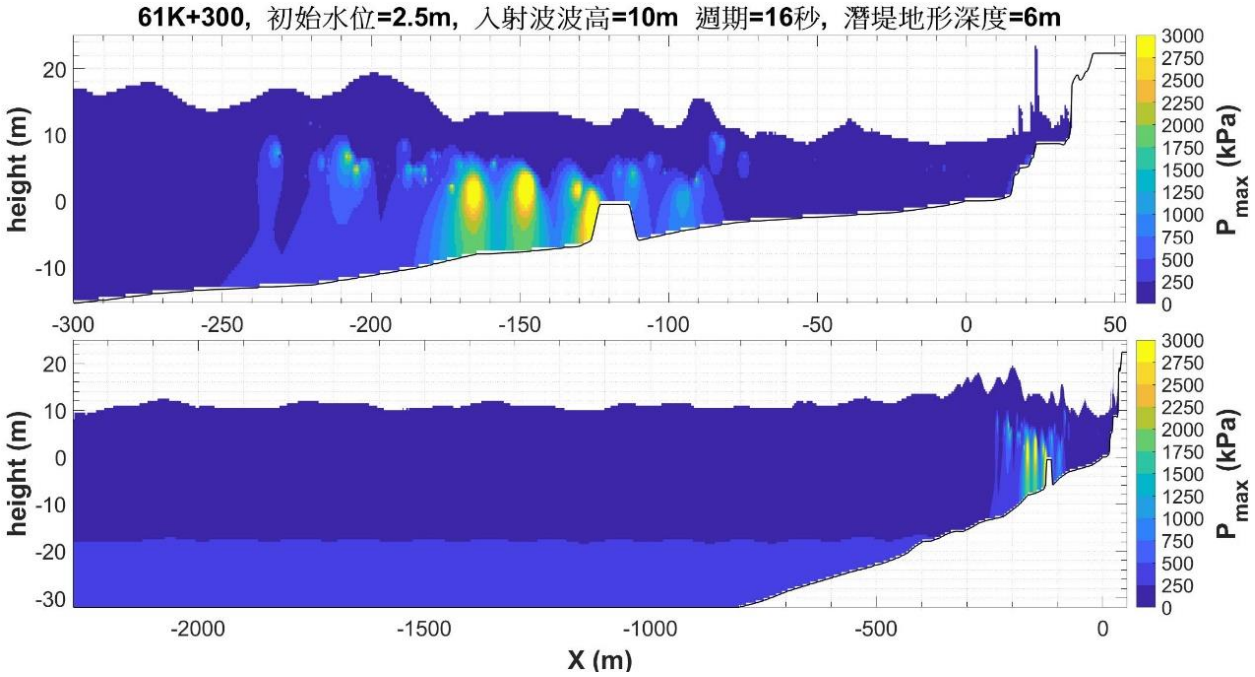


圖 2.26 61K+300 模擬期間的最大壓力空間分布

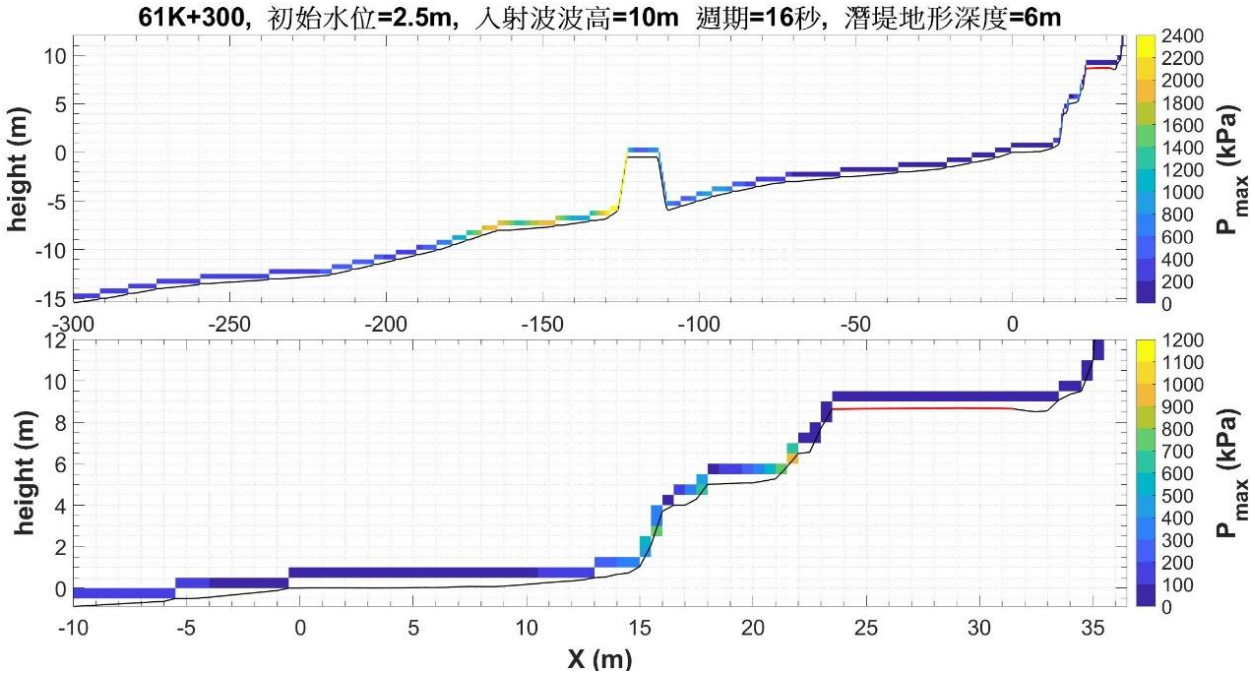


圖 2.27 61K+300 模擬期間的地表最大壓力分布

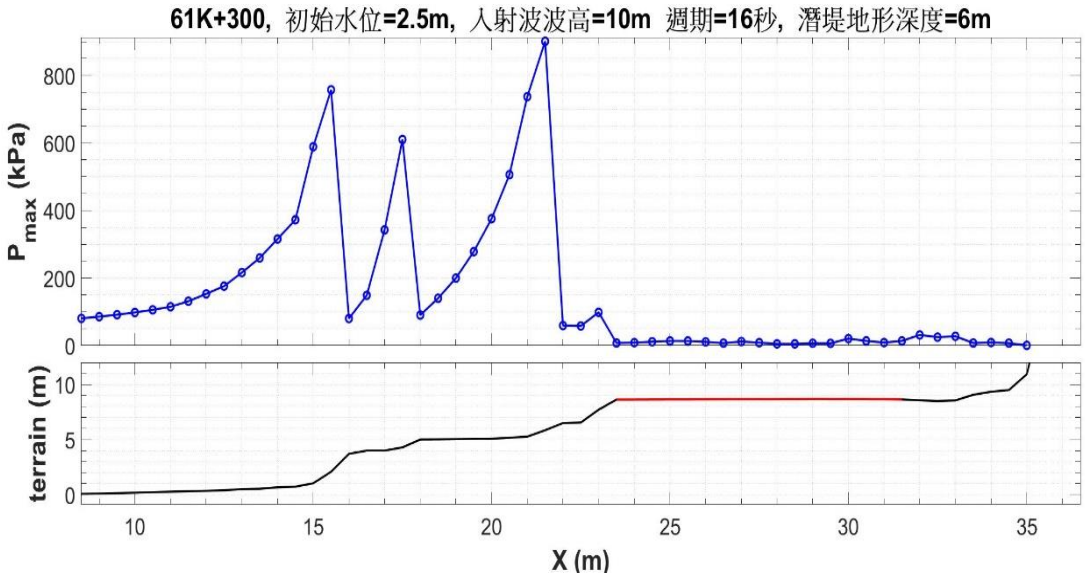


圖 2.28 61K+300 模擬期間的地表最大壓力分布

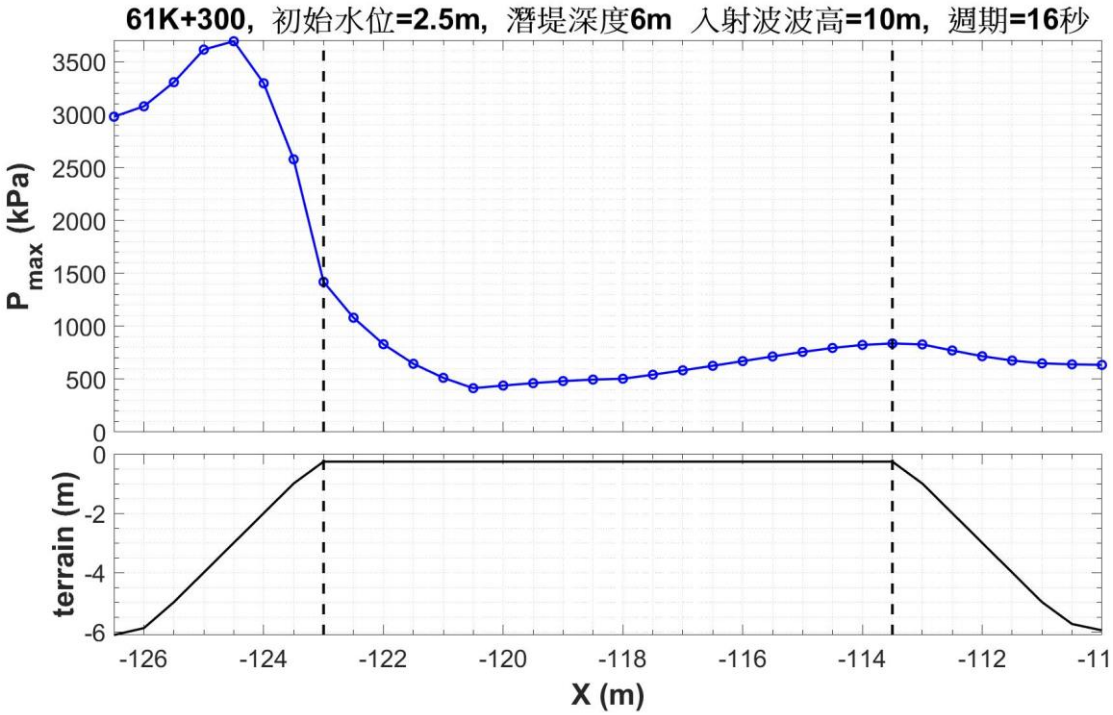


圖 2.29 61K+300 模擬期間的潛堤表面最大壓力分布

2.6 模擬結果

針對 COBRAS 模式使用不同情境條件的模擬結果，本研究根據模擬期間的長浪湖上作用力，對地形和人工建築物的表面所承受的最大壓力進行分析且針對近道路區以及潛堤區等 2 個區域進行探討。其中近道路區再細分成 4 個小區域；潛堤區則是將離岸潛堤分成堤前、堤頂和堤後等 3 個小區域。另外亦分析各個情境的長浪湖上距離來了解道路溢淹的情形。在此將海陸交界處且高程大於 0m 的第一點定義為陸地溢淹距離的起點，並將道路靠陸側的邊緣定義為溢淹距離的終點來計算溢淹距離，而發生溢淹的定義則是當模擬期間的陸地出現淹水或陸地上方出現浪花皆視為溢淹。對道路 8m 路寬另外再定義一個道路溢淹距離，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。

針對近道路區在潮位 0、1 和 2.5m 情境下，模擬期間包含無潛堤等 6 種潛堤條件下，陸地或建物表面所受的最大壓力圖除 61K+300 之外，皆列於附錄二。在此將近道路區劃分為 4 區來進行最大壓力的分析探討，依距離道路邊緣 15m 到 10m、10m 到 5m、5m 到 0m 的區

間劃分為第 1、2 和 3 區，而道路部分為第 4 區，如附錄二的黑虛線分區所示。對於 5 種不同海床深度條件所設置的潛堤，其在 3 種潮位下的潛堤區所模擬受到的最大壓力圖除 61K+300 之外，皆列於附錄三。在此將潛堤區分為堤前、堤頂以及堤後等 3 區來進行最大壓力分布的討論，各區劃分界線如附錄三的黑虛線。以下針對各情境的陸地溢淹距離、近道路區以及潛堤區的最大壓力分布進行討論。由於近道路區的第 3 區為緊鄰道路的區域，而第 4 區為道路路面，故在評估潛堤的深度設置時會優先考量陸地溢淹距離的減少幅度以及近道路區的第 3 和第 4 區最大壓力值的降幅。

2.6.1 台 11 線 61K+300

針對近道路區在潮位 0、1 和 2.5m 情境下，模擬期間包含無潛堤等 6 種潛堤條件所承受的最大壓力如圖 2.30 到 2.32 所示，在此將近道路區劃分為 4 區來進行最大壓力的分析探討，依距離道路 15 到 10m、10 到 5m、5 到 0m 劃分為第 1、2 和 3 區，而道路部分為第 4 區，如圖 2.31 黑虛線的分區。

對於 5 種不同海床深度條件所設置的潛堤，其在 3 種潮位下的潛堤區所模擬受到的最大壓力如圖 2.33 到 2.37。在此將潛堤區分為堤前、堤頂以及堤後等 3 區來進行最大壓力分布的討論，各區如圖 2.33 的黑虛線分界線所示。

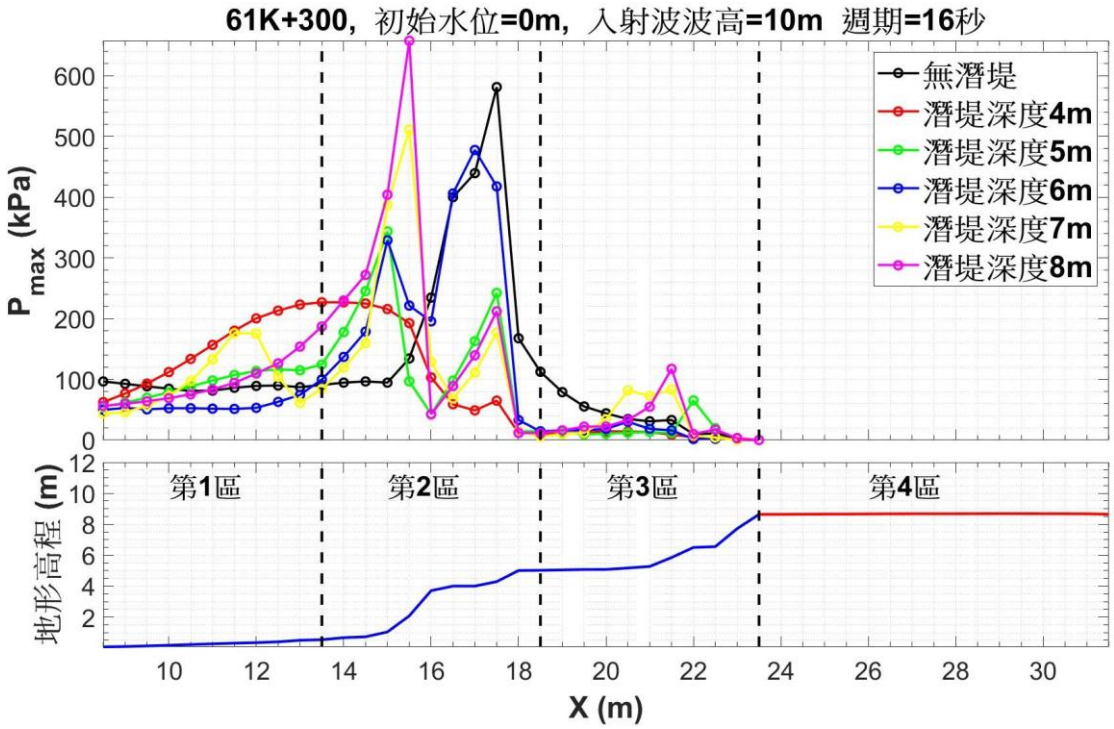


圖 2.30 潮位 0m 時，61K+300 近道路區的地表最大壓力

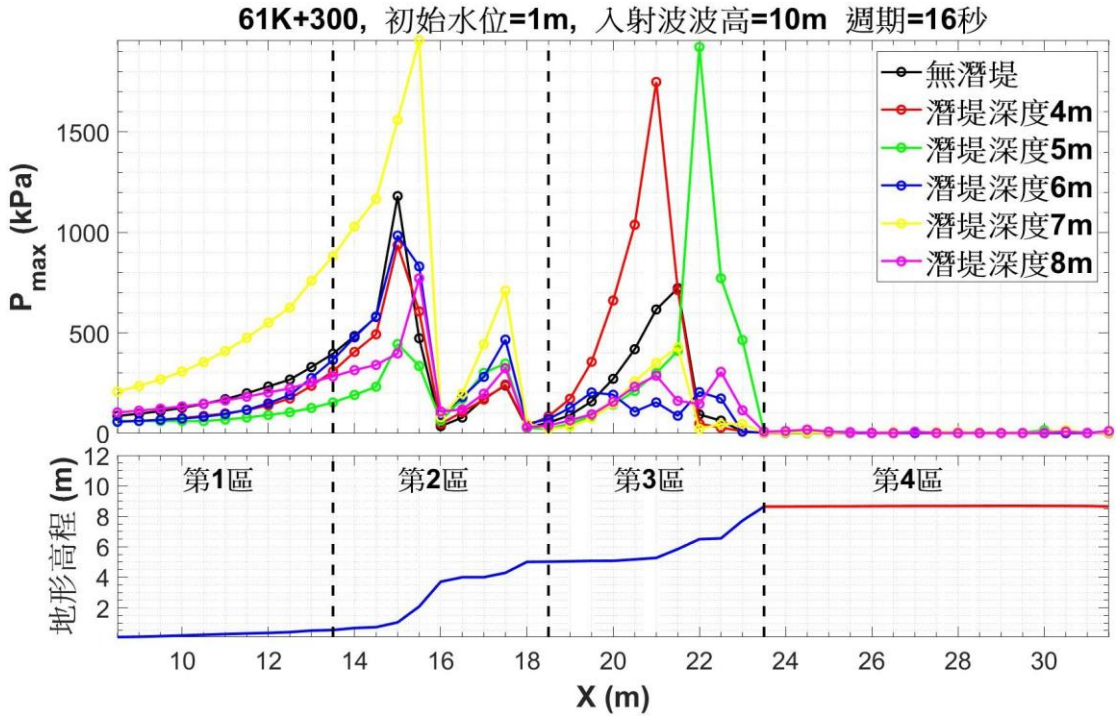


圖 2.31 潮位 1m 時，61K+300 近道路區的地表最大壓力

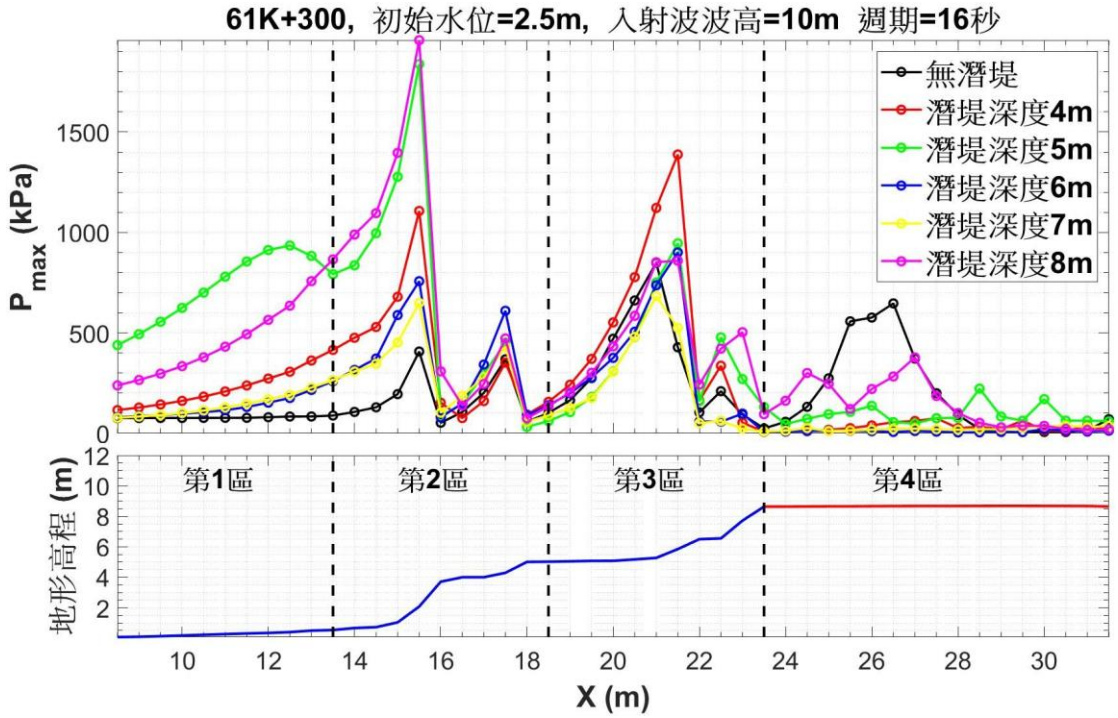


圖 2.32 潮位 2.5m 時，61K+300 近道路區的地形表面最大壓力

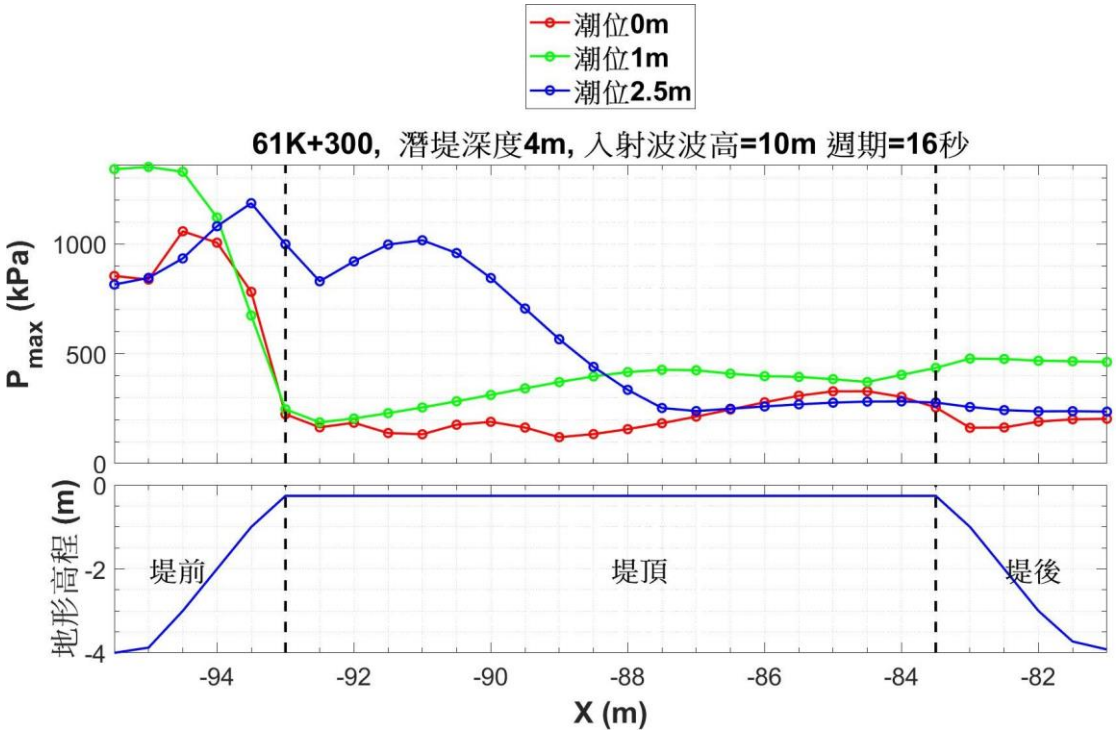


圖 2.33 61K+300 潛堤深度 4m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力

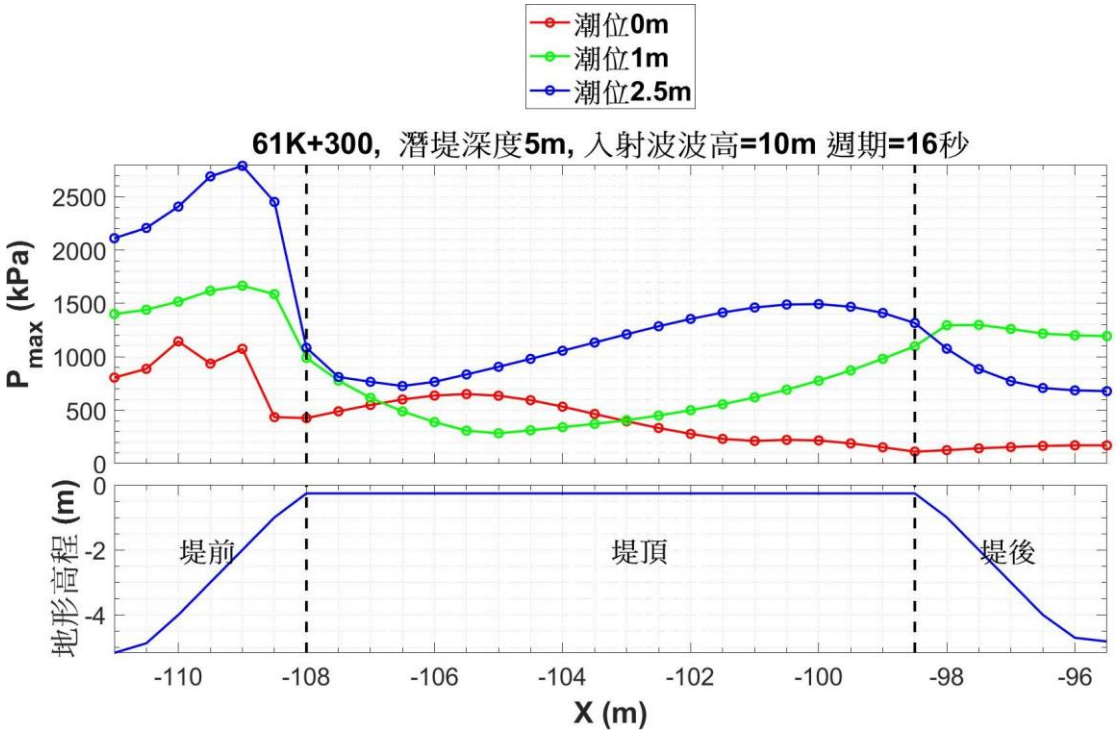


圖 2.34 61K+300 潛堤深度 5m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力

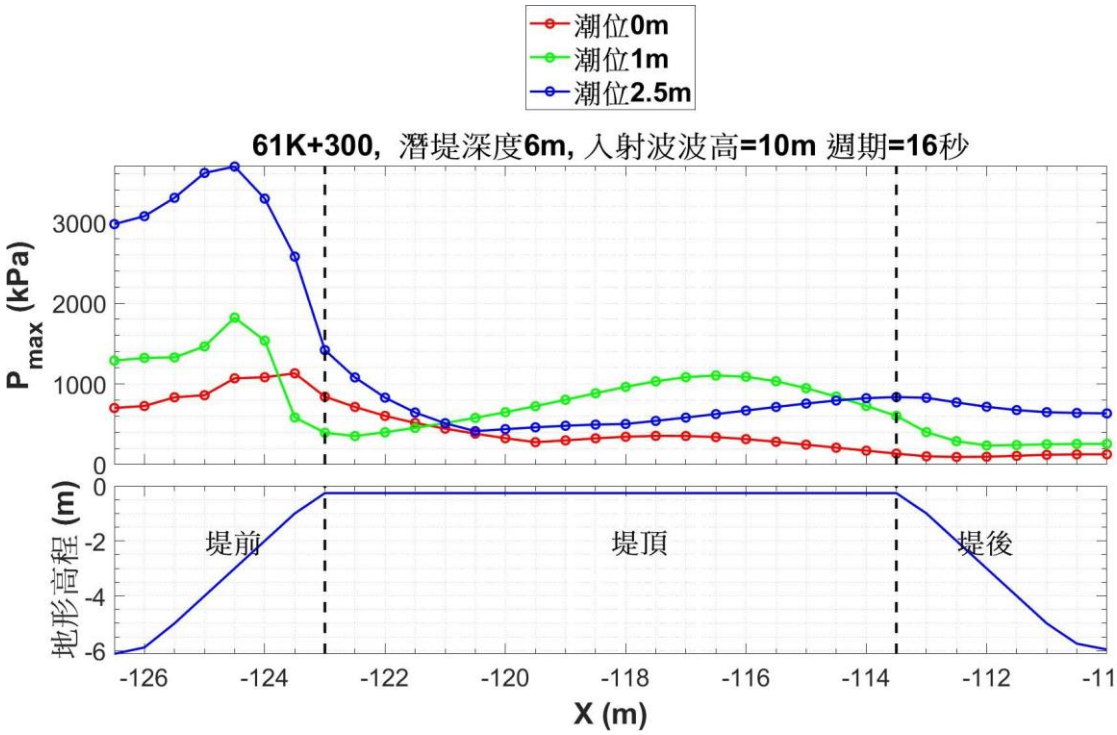


圖 2.35 61K+300 潛堤深度 6m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力

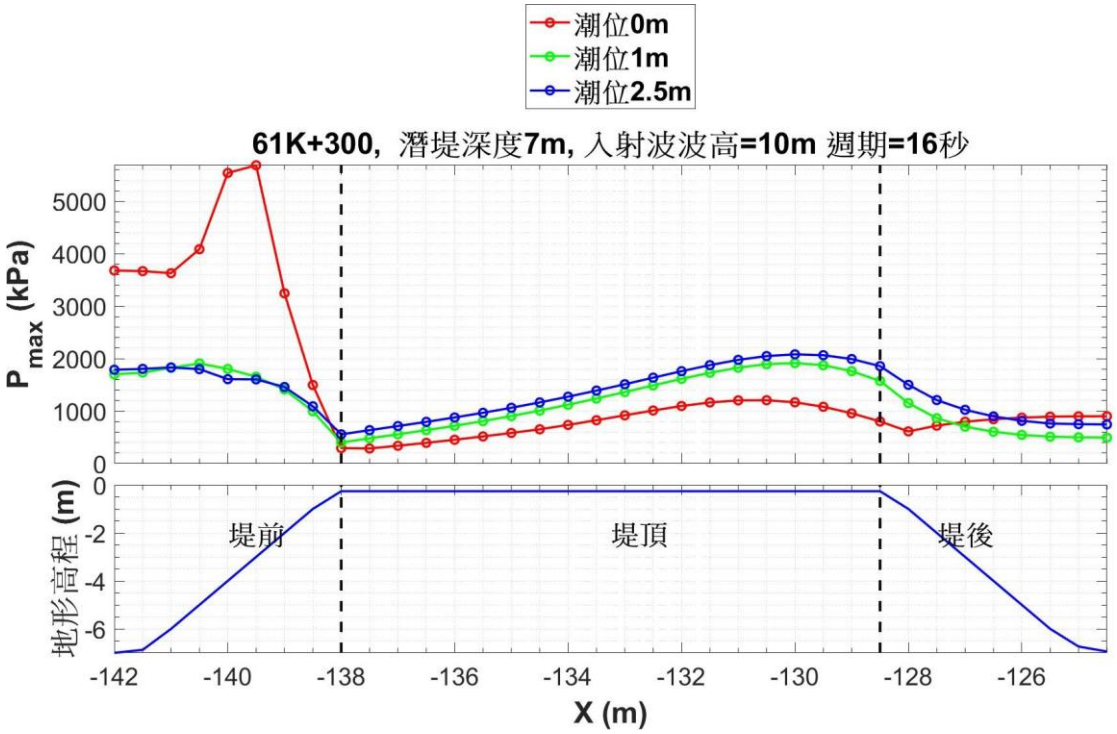


圖 2.36 61K+300 潛堤深度 7m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力

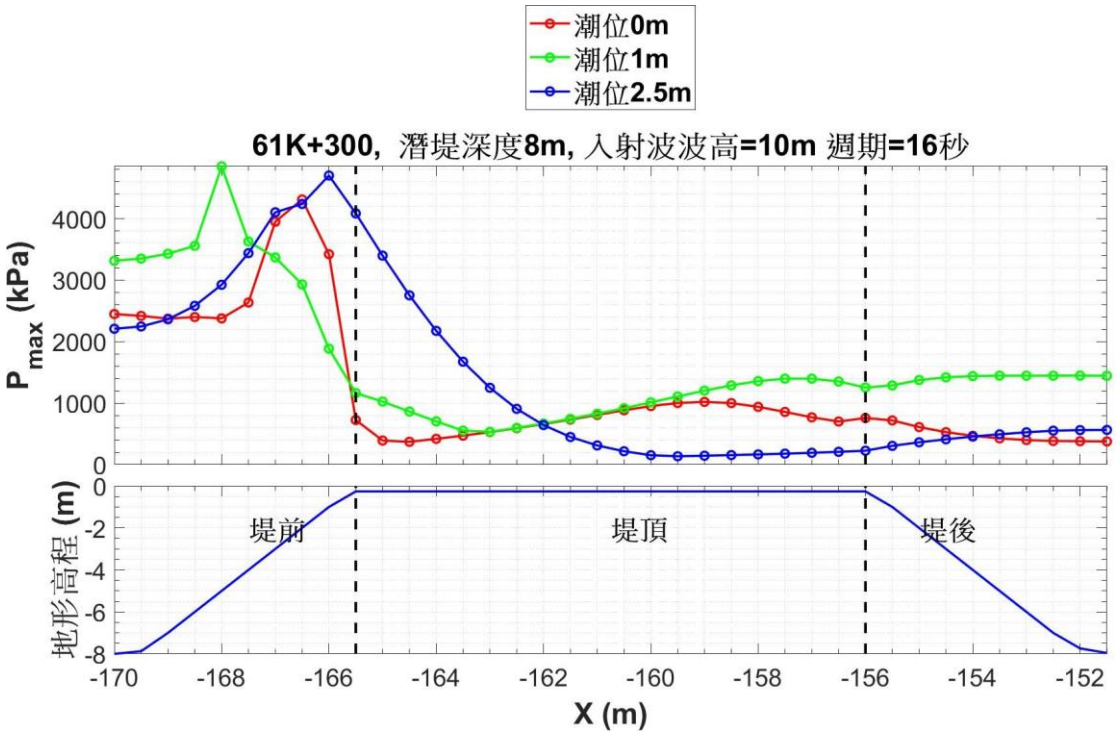


圖 2.37 61K+300 潛堤深度 8m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，長浪溯上溢淹距離及近道路區的 4 區、潛堤區的 3 區劃分所得的最大壓力值，整理後如表 2-3 所示。由表知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件的陸地溢淹距離皆相近，且皆無道路溢淹。而潮位為 1m 和 2.5m 時的陸地溢淹距離都

相同，且道路皆出現溢淹，表示該入射波條件在潮位 1m 以上時，可能發生的溢淹距離一致。從表亦可知，在 3 種潮位條件下，當潛堤深度設置在 4m 時，相較於其他設置深度，在潛堤區的堤前、堤頂和堤後區所受到最大壓力皆為最小。以近道路區的最大壓力相對於無潛堤情況，在潮位 0m 時，潛堤深度在 4m 時，在第 2 和第 3 區有較大的壓力降幅(圖 2.38)。當潮位 1m 時，將潛堤深度在 6 和 8m 時，在第 1 和 3 區皆有較大的降幅(圖 2.39)。當潮位為 2.5m 時，將潛堤深度在 6 和 7m 時，在道路本身的第 4 區皆有較大的降幅(圖 2.40)。由於 3 種潮位下，潛堤設置深度皆對陸地溢淹距離影響不大，故僅考慮第 3 和 4 區的最大壓力值時，在潮位 0m 的情況，建議潛堤深度設為 4m，而考量潮位 1m 以上的情況在第 3 區的最大壓力降幅，可以 6 到 8m 作為潛堤設置深度的範圍。

表 2-3 61K+300 情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位(m)	潛堤深度(m)	陸地溢淹距離(m)	道路溢淹距離(m)	區域最大壓力 (kPa)						
				距離道路 10 到 5m (第 1 區)	距離道路 10 到 5m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		23	0	96	581	112	0			
	4	23.5	0	223	227	14	0	1058	330	256
	5	22.5	0	116	344	65	0	1145	651	171
	6	22.5	0	74	478	30	0	1131	714	136
	7	23	0	176	511	83	0	5687	1208	901
	8	23.5	0	154	658	117	0	4312	1020	757
1		31.5	8	330	1181	723	2			
	4	31.5	8	237	937	1749	1	1351	427	478
	5	31.5	8	126	445	1923	16	1666	981	1299
	6	31.5	8	276	984	205	5	1820	1104	604
	7	31.5	8	759	1957	428	17	1909	1916	1575
	8	31.5	8	254	772	306	19	4850	1397	1447
2.5		31.5	8	84	407	849	647			
	4	31.5	8	362	1107	1388	75	1186	1017	278
	5	31.5	8	935	1838	946	223	2789	1494	1317
	6	31.5	8	216	757	901	21	3693	1080	837
	7	31.5	8	228	649	683	39	1833	2082	1858
	8	31.5	8	758	1957	859	378	4701	3398	561

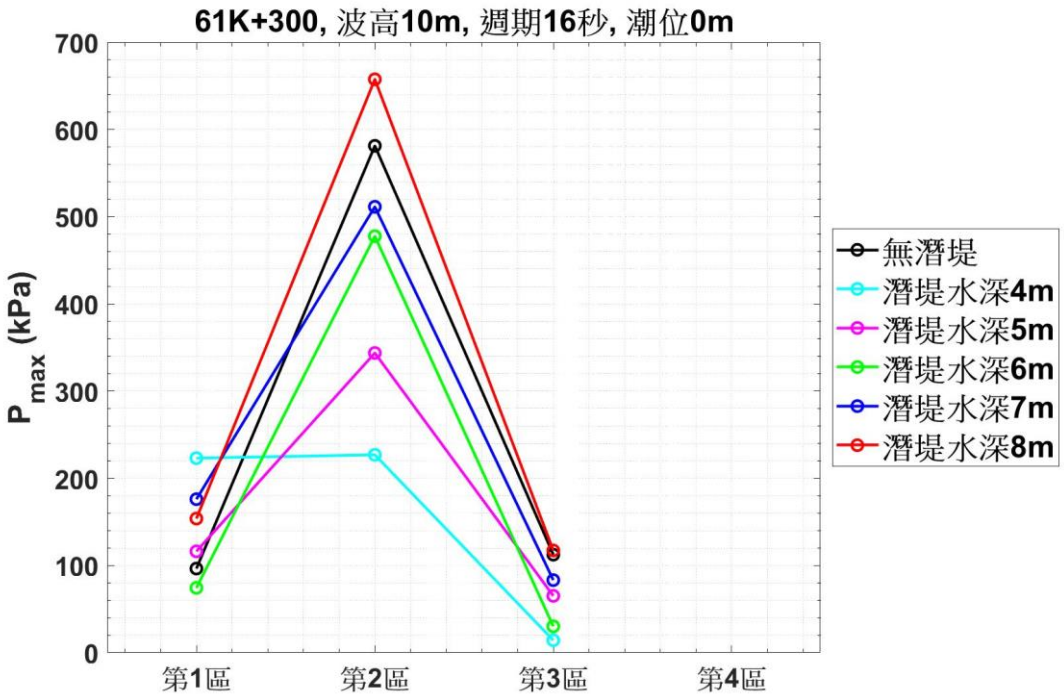


圖 2.38 61K+300 在潮位 0m 時，近道路區 4 域區的最大壓力

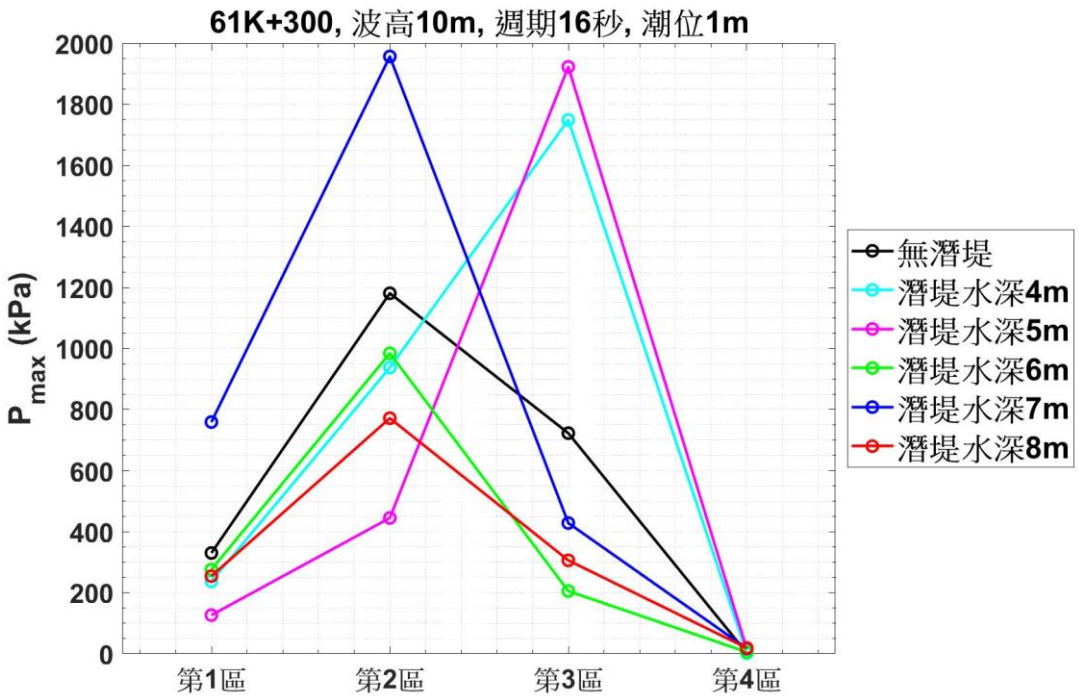


圖 2.39 61K+300 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

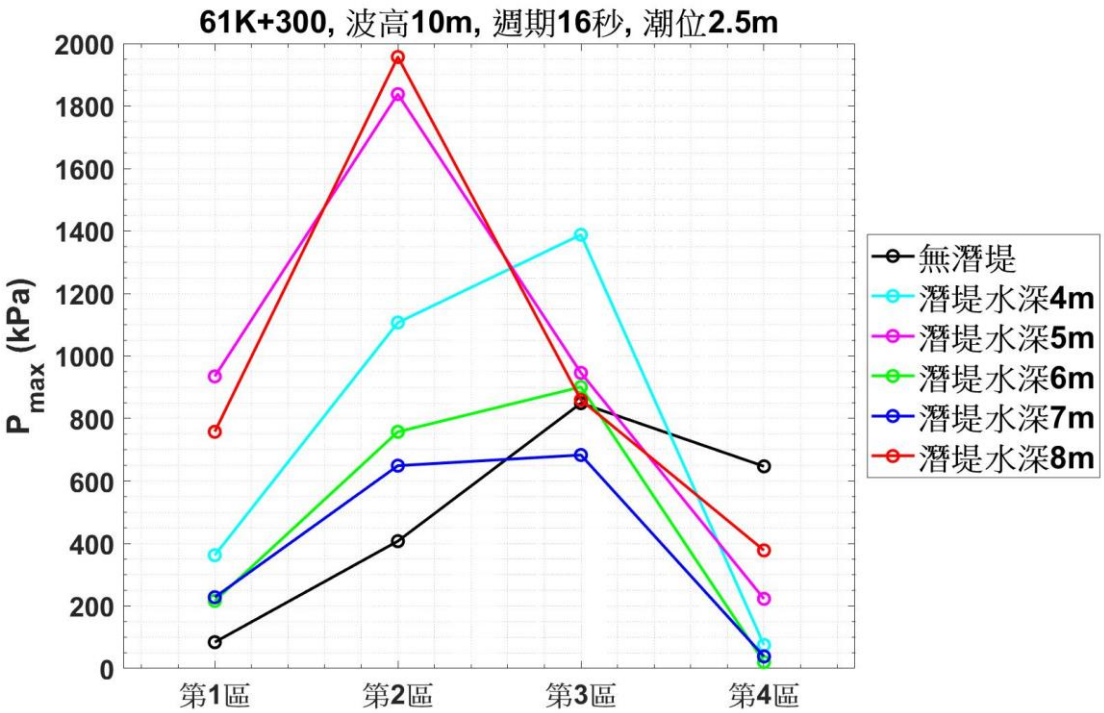


圖 2.40 61K+300 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

2.6.2 台 11 線 61K+380

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值(附錄二和三)，經整理後如表 2-4 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤情境皆不會出現道路溢淹，而潛堤深度為 4、6、7 和 8m 的情境相較於無潛堤少了 3.5m。當潮位 1m 時，6 種情境的溯上距離已鄰近道路邊緣。當潮位 2.5m 時，所有條件下皆出現道路溢淹的情形。

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時(圖 2.41)，有設置潛堤的情況下，皆能讓第 3 區的壓力降為 0，而再考慮第 2 區的最大壓力值，可將潛堤設置為深度 5 或 8m。當潮位 1m 時(圖 2.42)，潛堤深度 7 和 8m 的條件對第 3 區最大壓力值有較佳的降幅。當潮位 2.5m 時(圖 2.43)，潛堤深度設置 5m 對第 2 到 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅。綜合上述的情況，故以潮位 0、1m 情境而言，潛堤建議深度為 8m。對潮位 2.5m 來說，潛堤建議深度為 5m。

表 2-4 61K+380 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kPa)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		19.5	0	250	266	297	0			
	4	16	0	938	737	0	0	4847	2594	1536
	5	20	0	730	68	0	0	735	1388	819
	6	16	0	805	412	0	0	567	931	204
	7	16	0	455	463	0	0	880	1077	457
	8	16	0	465	137	0	0	280	508	398
1		21.5	0	392	360	750	0			
	4	21	0	573	658	548	0	713	1479	1597
	5	20.5	0	565	1027	379	0	457	660	740
	6	21	0	1244	251	789	0	666	283	255
	7	21.5	0	689	400	348	0	1149	179	406
	8	22	0.5	997	279	245	0	1437	921	704
2.5		29.5	8	2493	576	948	82			
	4	29.5	8	1025	660	829	13	345	1394	2141
	5	29.5	8	1543	373	337	16	253	263	442
	6	29.5	8	489	690	497	12	289	229	185
	7	29.5	8	269	357	540	10	162	215	219
	8	29.5	8	565	379	562	28	426	82	154

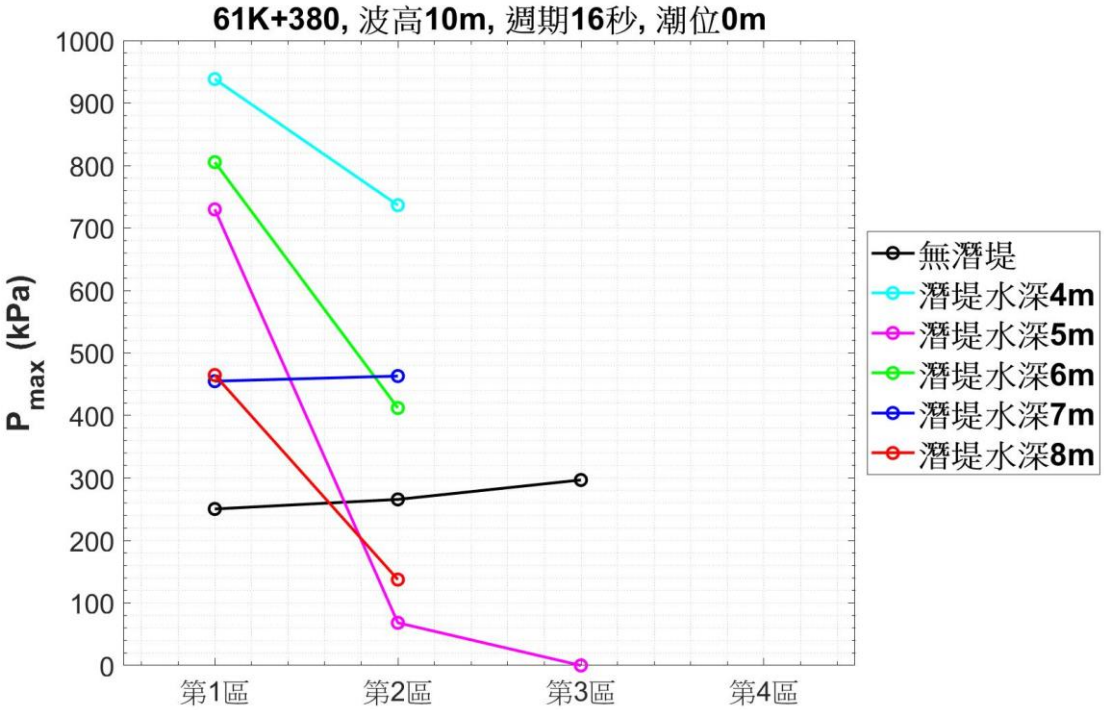


圖 2.41 61K+380 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

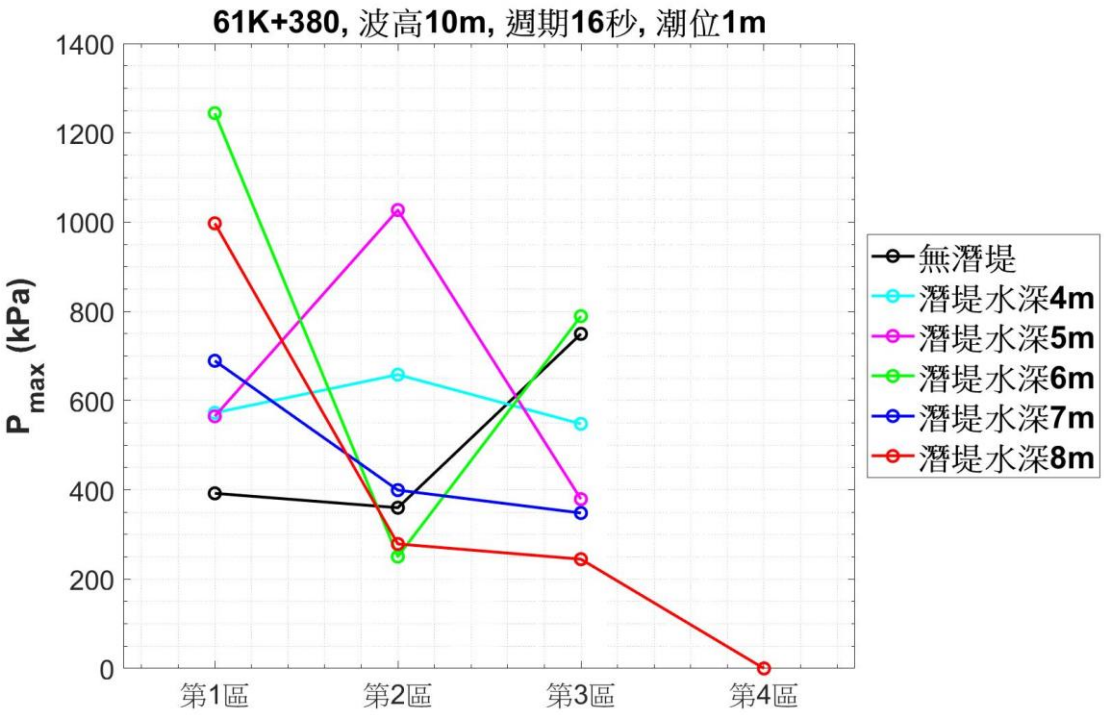


圖 2.42 61K+380 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

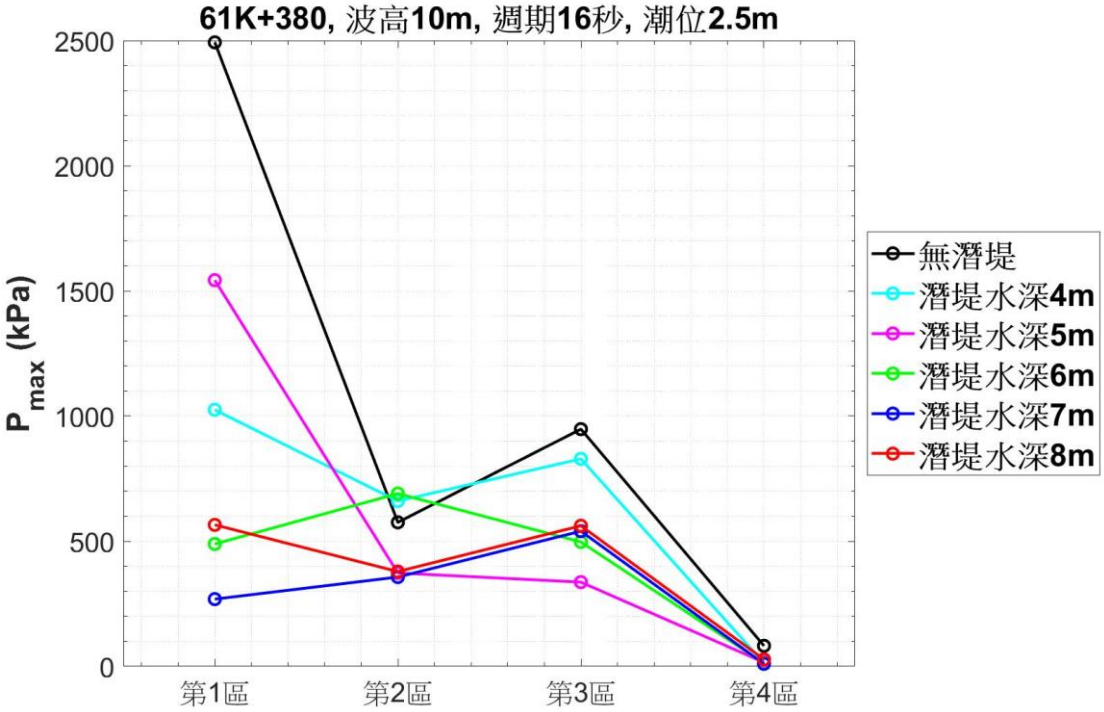


圖 2.43 61K+380 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

2.6.3 台 11 線 61K+500

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的

最大壓力值(附錄二和三)，經整理後如表 2-5 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件皆未出現道路溢淹，且潛堤深度在 5 到 7m 時，比無潛堤的陸地溢淹距離少 3 到 5m。當潮位 1m 時則是在無潛堤、潛堤深度 4 和 8m 三種情境發生道路溢淹滿 8m 路寬，而潛堤深度 5、6 和 7m 的情境溢淹距離僅限於道路邊緣。當潮位 2.5m 時，6 種情境皆溢淹滿整個道路。

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時(圖 2.44)，有設置潛堤的情況下，皆能使第 2、3 區的最大壓力值下降，以深度 5m 最佳，且潛堤區的最大壓力值亦較小。當潮位 1m 時(圖 2.45)，潛堤深度 6 和 7m 的條件對第 3 和 4 區最大壓力值有較佳的降幅。當潮位 2.5m 時(圖 2.46)，潛堤深度設置 5m 對第 1 到 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅，且潛堤區的壓力受力亦較小。綜合上述的情況，對潮位 0m 情境而言，潛堤建議深度 5 到 7m。對潮位 1m 的選擇上，建議深度為 6 到 7m。而對潮位 2.5m 來說，建議深度為 5m。

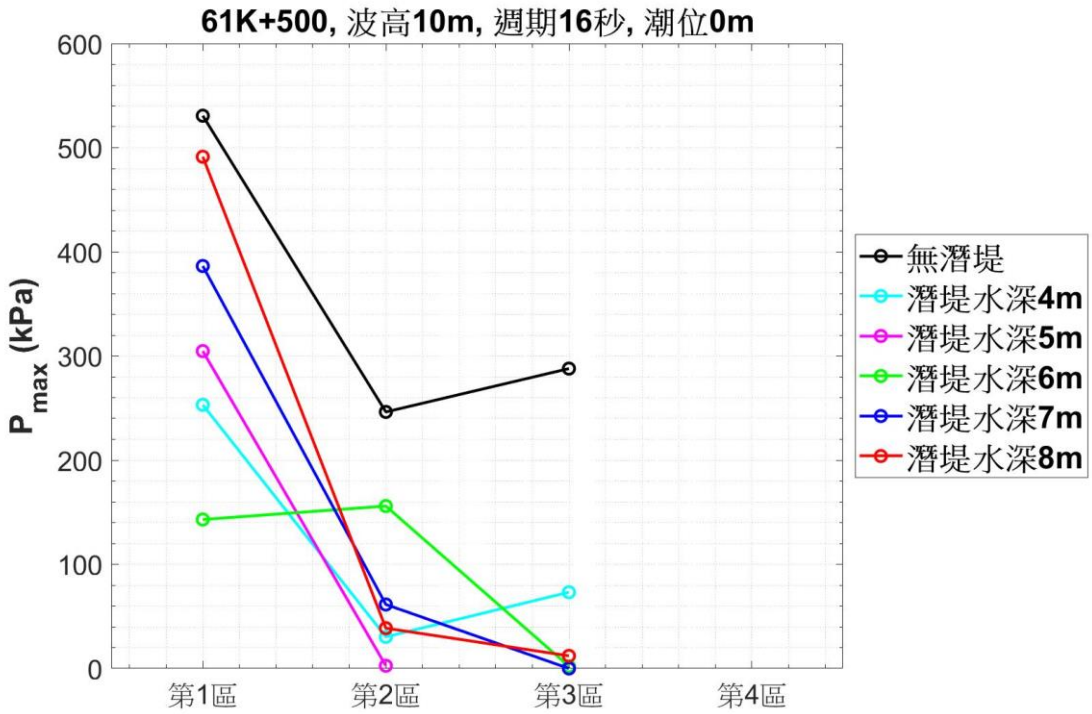


圖 2.44 61K+500 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

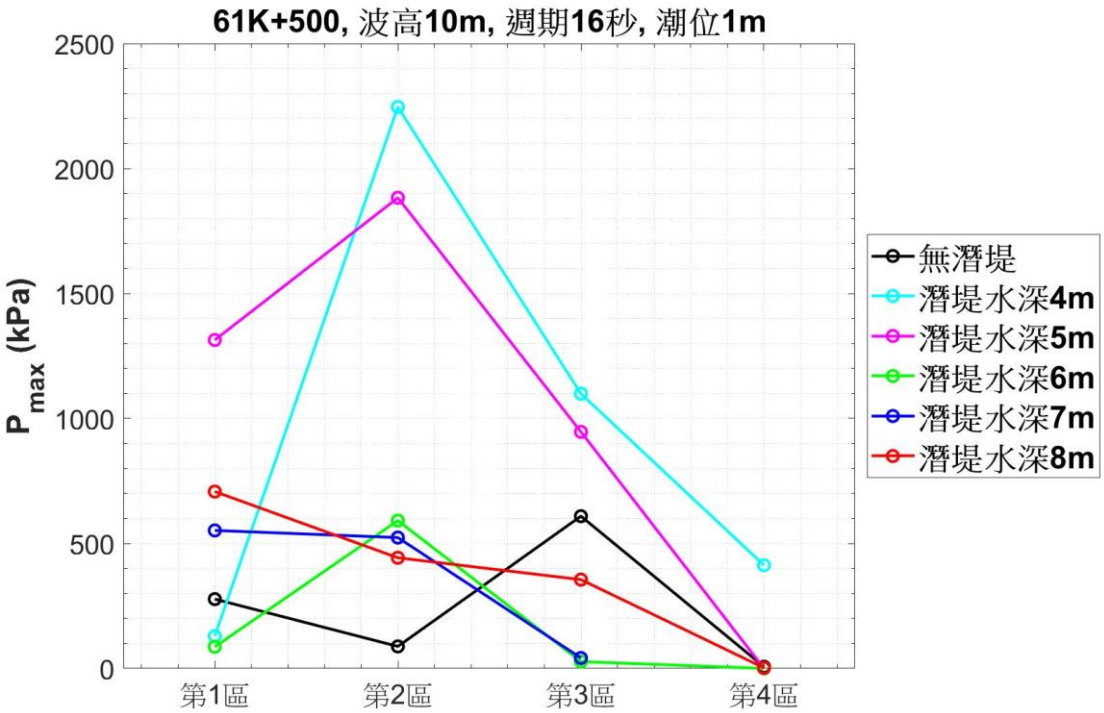


圖 2.45 61K+500 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

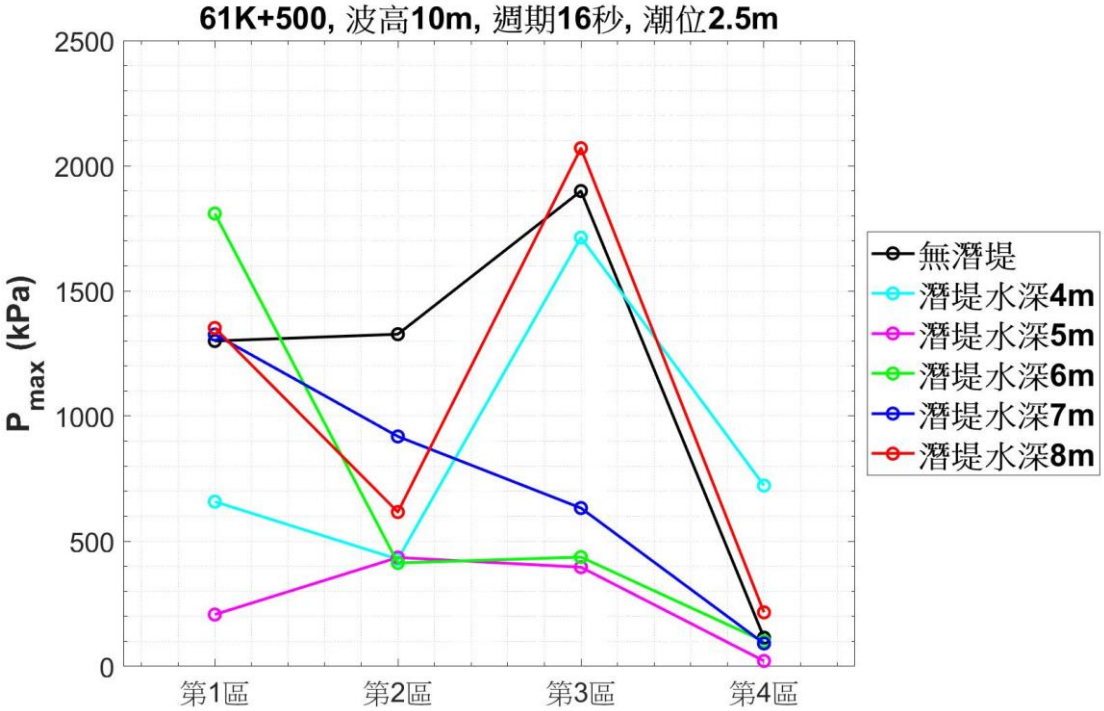


圖 2.46 61K+500 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

表 2-5 61K+500 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kPa)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		29	0	531	246	288	0			
	4	29.5	0	253	30	73	0	197	91	74
	5	24	0	305	3	0	0	273	130	155
	6	26	0	143	156	2	0	782	225	97
	7	25.5	0	386	61	0	0	1198	515	321
	8	27.5	0	491	39	12	0	3244	971	465
1		38	8	277	88	609	7			
	4	38	8	130	2246	1099	413	179	300	89
	5	30.5	0.5	1314	1883	947	0	147	348	306
	6	30.5	0.5	87	592	27	0	301	364	307
	7	30	0	552	524	42	0	2663	894	361
	8	38	8	708	443	355	2	1178	913	498
2.5		38	8	1300	1327	1899	115			
	4	38	8	658	428	1713	723	134	162	146
	5	38	8	207	435	396	22	156	251	178
	6	38	8	1809	413	437	100	233	343	250
	7	38	8	1326	919	633	92	2663	2485	436
	8	38	8	1352	617	2070	216	1814	622	537

2.6.4 台 11 線 61K+580

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值(附錄二和三)，經整理後如表 2-6 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件皆未出現道路溢淹，且潛堤深度在 4 到 6m 時，比無潛堤的陸地溢淹距離少 7.5m。而當潮位 1m 和 2.5m 時，6 種潛堤條件的陸地溢淹距離都相同，且道路皆出現溢淹，表示該入射波條件在潮位 1m 以上時，可能發生的溢淹距離皆相同。

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時(圖 2.47)，以潛堤深度 4、5 和 6m 的情況下，皆能使第 2、3 區的最大壓力值下降較多。當潮位 1m 時(圖 2.48)，潛堤深度 5 和 6m 的條

件對第 3 和 4 區最大壓力值有較佳的降幅。當潮位 2.5m 時(圖 2.49)，潛堤深度設置 4m 對第 2 到 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅，且潛堤區的壓力受力亦較小。綜合上述的情況，對潮位 0 和 1m 情境而言，潛堤建議深度 4 到 6m。而對潮位 2.5m 來說，建議深度為 4m。

表 2-6 61K+580 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kPa)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		23	0	22	194	246	0			
	4	15.5	0	118	6	0	0	193	384	138
	5	15.5	0	30	6	0	0	657	538	235
	6	15.5	0	50	37	0	0	405	489	401
	7	21	0	325	199	3	0	1285	740	363
	8	22.5	0	232	196	6	0	3224	666	534
1		31.5	8	164	338	77	11			
	4	31.5	8	226	225	42	7	167	494	126
	5	31.5	8	258	367	33	1	360	736	782
	6	31.5	8	207	971	27	4	692	288	258
	7	31.5	8	360	158	62	21	2808	761	1005
	8	31.5	8	227	499	132	14	1893	1422	1346
2.5		31.5	8	243	628	423	41			
	4	31.5	8	439	352	161	30	171	313	293
	5	31.5	8	305	1262	1988	51	334	373	309
	6	31.5	8	653	1344	611	38	204	225	147
	7	31.5	8	602	1237	424	396	1225	1202	1905
	8	31.5	8	1100	583	632	297	2406	2188	1794

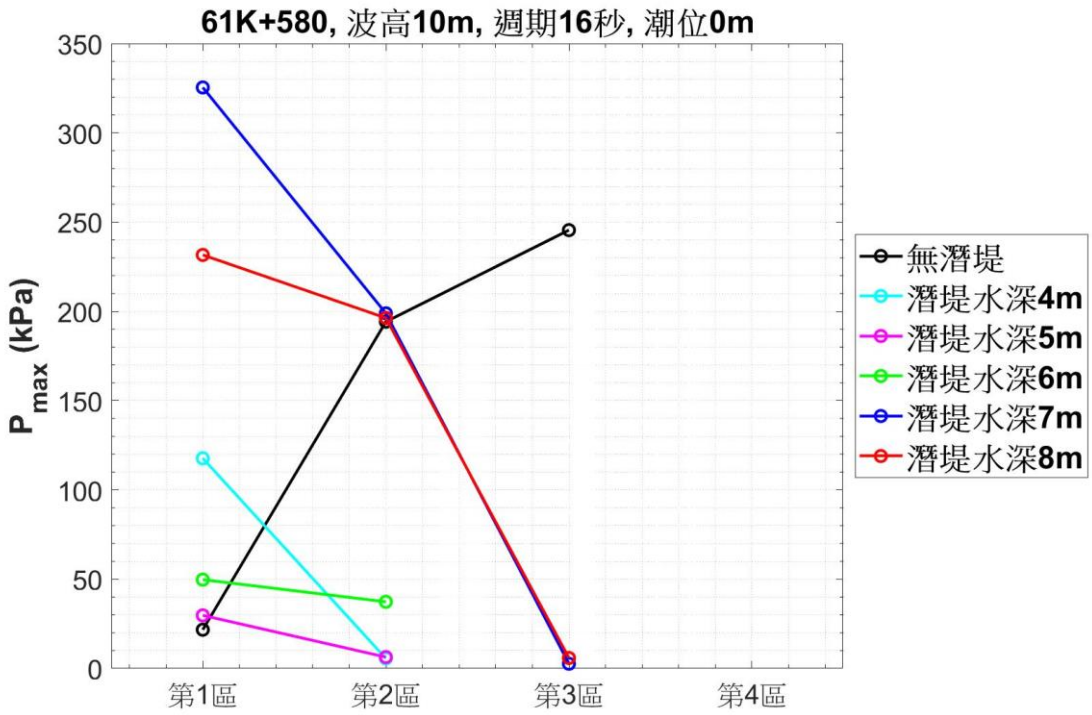


圖 2.47 61K+580 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

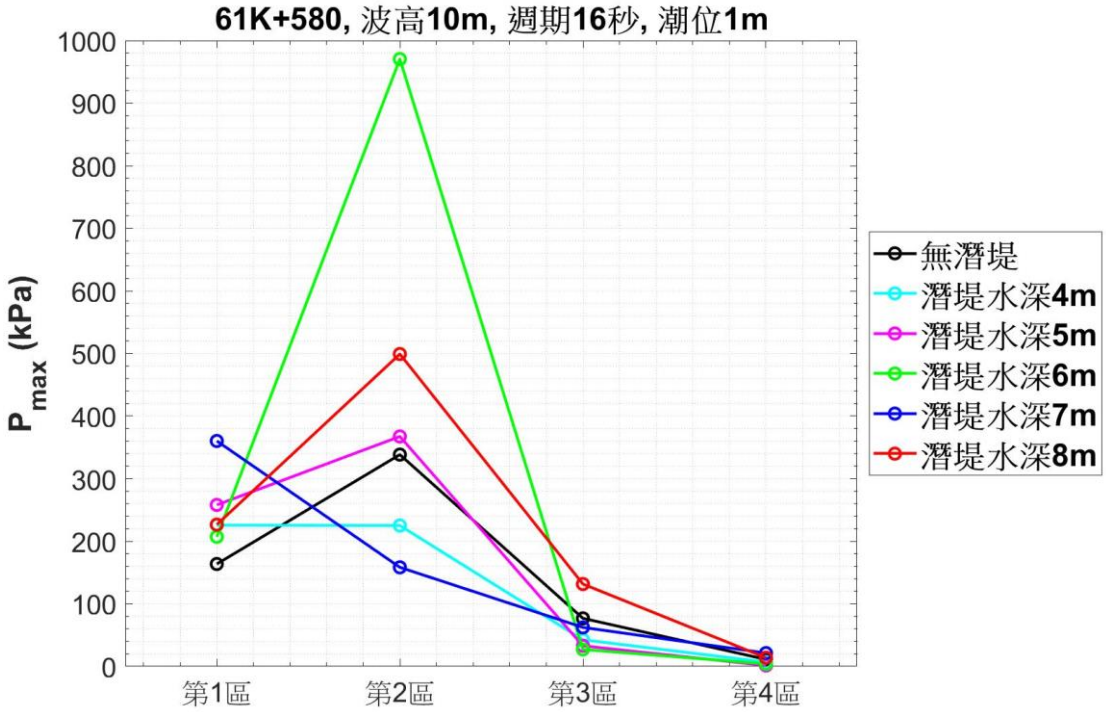


圖 2.48 61K+580 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

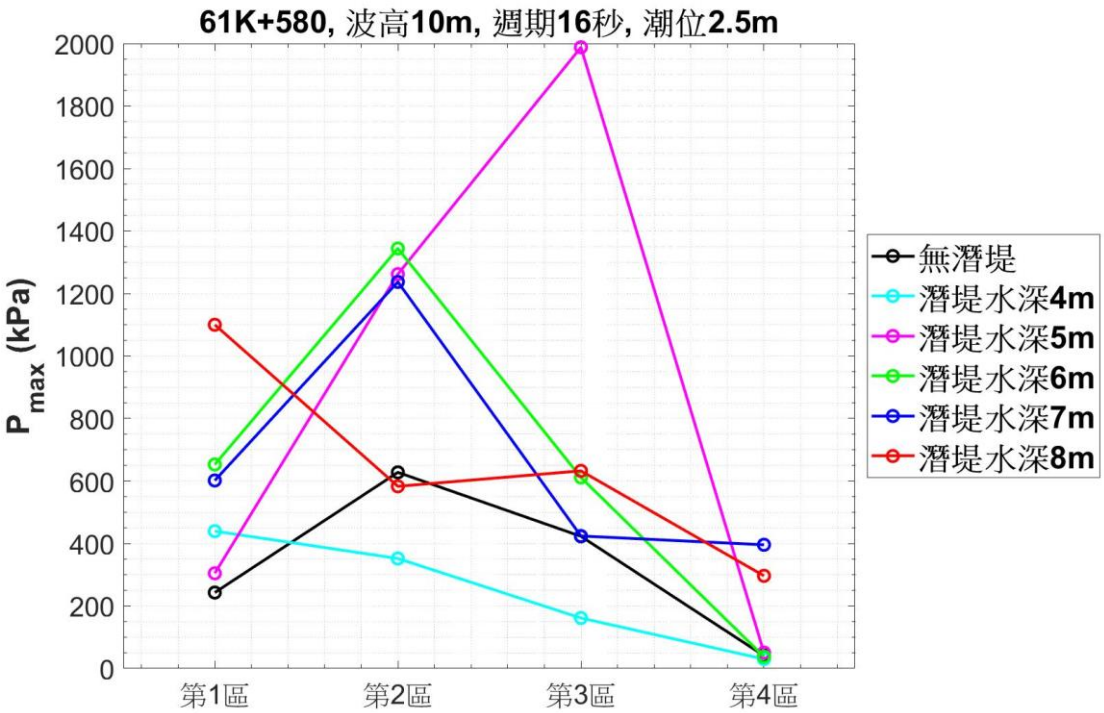


圖 2.49 61K+580 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

2.6.5 台 11 線 61K+700

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值(附錄二和三)，經整理後如表 2-7 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件皆未出現道路溢淹，且溢淹距離皆差不多。而潮位在 1m 和 2.5m 情況下，6 種條件的陸地溢淹距離都相同，且道路皆出現溢淹，表示該入射波條件在潮位 1m 以上時，可能發生的溢淹距離皆相同。

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時(圖 2.50)，以潛堤深度 4、5m 的情況下，皆能使第 3 區的最大壓力值下降較多。當潮位 1m 時(圖 2.51)，潛堤深度 4 和 6m 的條件對第 2 和 3 區最大壓力值有較佳的降幅。當潮位 2.5m 時(圖 2.52)，潛堤深度 4m 對第 3 和 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅。綜合上述的情況，對潮位 0、1 和 2.5m 情境而言，潛堤建議深度為 4m。

表 2-7 61K+700 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kPa)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		21	0	152	414	74	0			
	4	21	0	142	72	19	0	477	389	231
	5	20.5	0	41	205	19	0	1499	966	528
	6	21	0	61	483	37	0	1414	857	379
	7	21.5	0	31	172	44	0	2836	991	722
	8	21.5	0	34	110	121	0	4916	1026	358
1		30	8	90	361	145	1			
	4	30	8	48	83	48	1	708	581	184
	5	30	8	92	153	395	1	2062	606	377
	6	30	8	205	119	39	1	3548	983	591
	7	30	8	45	155	113	2	2779	1211	1018
	8	30	8	46	230	99	4	3661	849	717
2.5		30	8	67	206	165	103			
	4	30	8	65	251	87	26	519	463	365
	5	30	8	64	541	233	17	1059	662	1696
	6	30	8	63	216	344	33	1362	841	1119
	7	30	8	62	260	161	70	1899	514	753
	8	30	8	62	252	151	43	2829	1766	1124

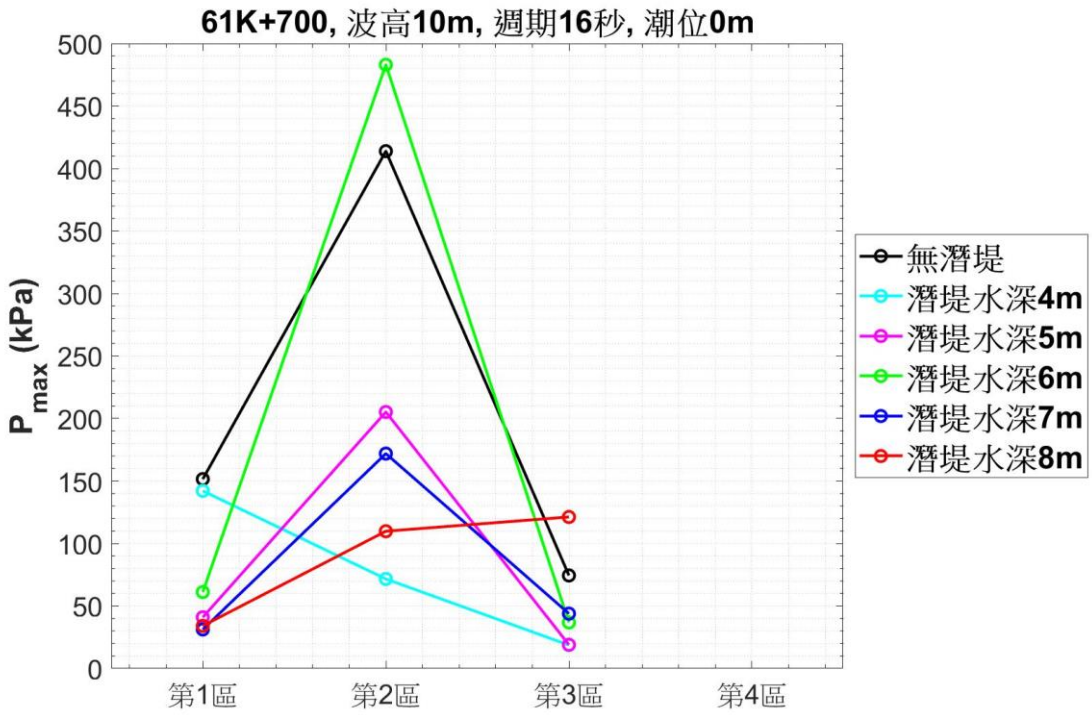


圖 2.50 61K+700 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

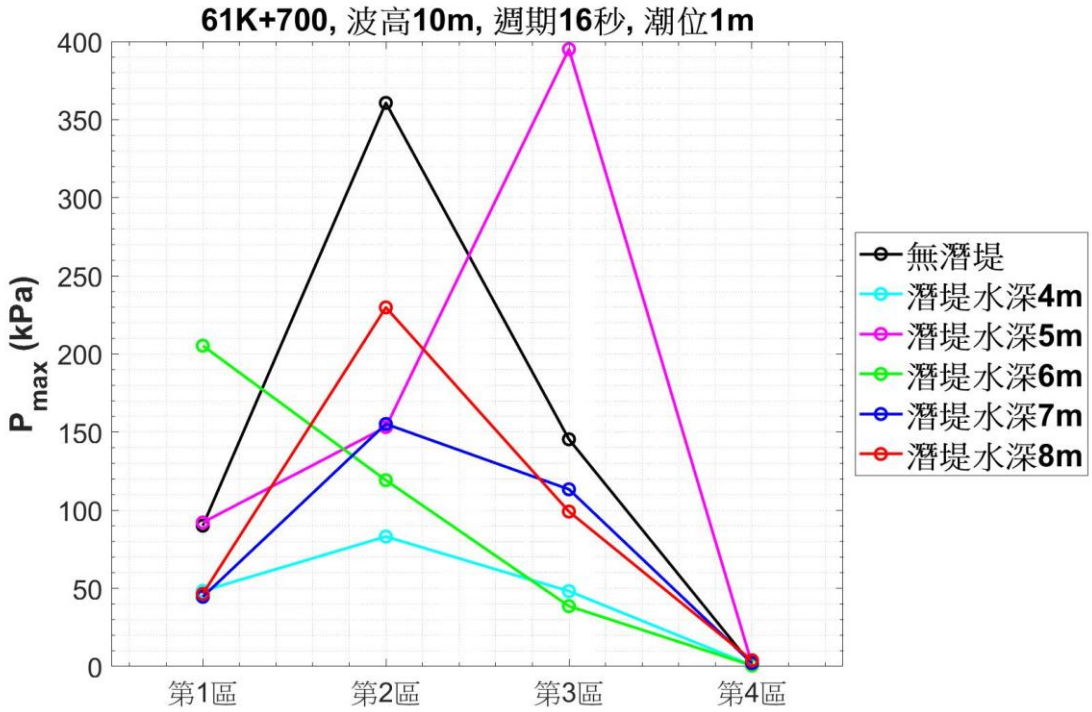


圖 2.51 61K+700 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

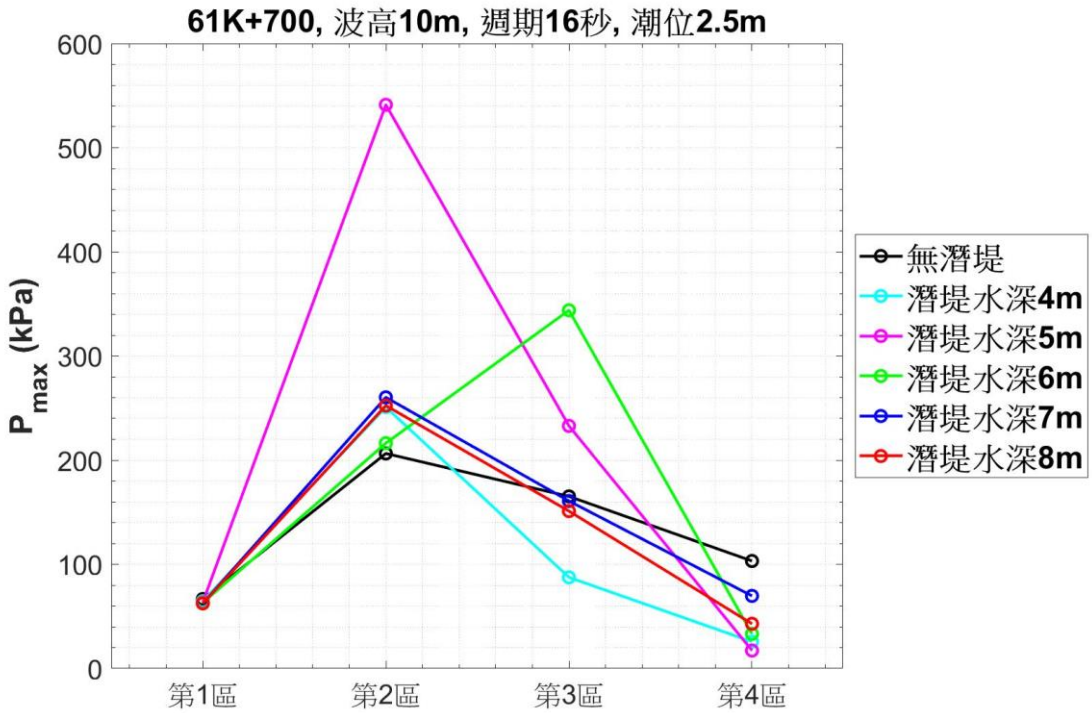


圖 2.52 61K+700 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

2.6.6 台 11 線 61K+830

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值(附錄二和三)，經整理後如表 2-8 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件皆未出現道路溢淹，且潛堤深度 6 和 7m 比無潛堤的溢淹距離少 6.5m。而當潮位為 1m 和 2.5m 時，6 種條件的陸地溢淹距離相同，且皆溢淹滿整個道路，表示該入射波條件在潮位 1m 以上時，可能發生的溢淹距離皆相同。

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時(圖 2.53)，6 種前提條件對近岸道路壓力最大值而言，並無明顯差異。當潮位 1m 時(圖 2.54)，潛堤深度 6、7 和 8m 第 2 區最大壓力值有較佳的降幅，但在其他區無明顯差異。當潮位 2.5m 時(圖 2.55)，潛堤深度 4 和 7m 對第 1 和 2 區的最大壓力皆有較佳的降幅，但在第 3 和 4 區與其他條件相差不多。綜合上述的情況，對潮位 0 而言、1 和 2.5m 三種情境而言，潛堤建議深度為 7m。

表 2-8 61K+830 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kPa)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		55.5	0	19	16	8	0			
	4	53.5	0	13	10	0	0	1338	637	268
	5	52	0	11	8	0	0	2094	947	633
	6	49	0	24	9	0	0	1220	988	509
	7	49	0	161	4	0	0	1717	887	422
	8	50.5	0	12	6	0	0	5863	909	1675
1		66	8	33	204	19	2			
	4	66	8	31	52	15	1	891	637	1081
	5	58.5	0.5	51	129	14	0	671	521	105
	6	58.5	0.5	26	22	13	0	1858	778	194
	7	56	0	80	18	9	0	3950	524	495
	8	55	0	110	17	8	0	3385	1293	1746
2.5		66	8	330	298	27	11			
	4	66	8	109	44	33	9	398	353	218
	5	66	8	369	45	256	14	971	880	255
	6	66	8	187	67	33	8	1000	305	742
	7	66	8	54	36	26	8	2169	2187	2246
	8	66	8	301	74	33	6	2886	551	297

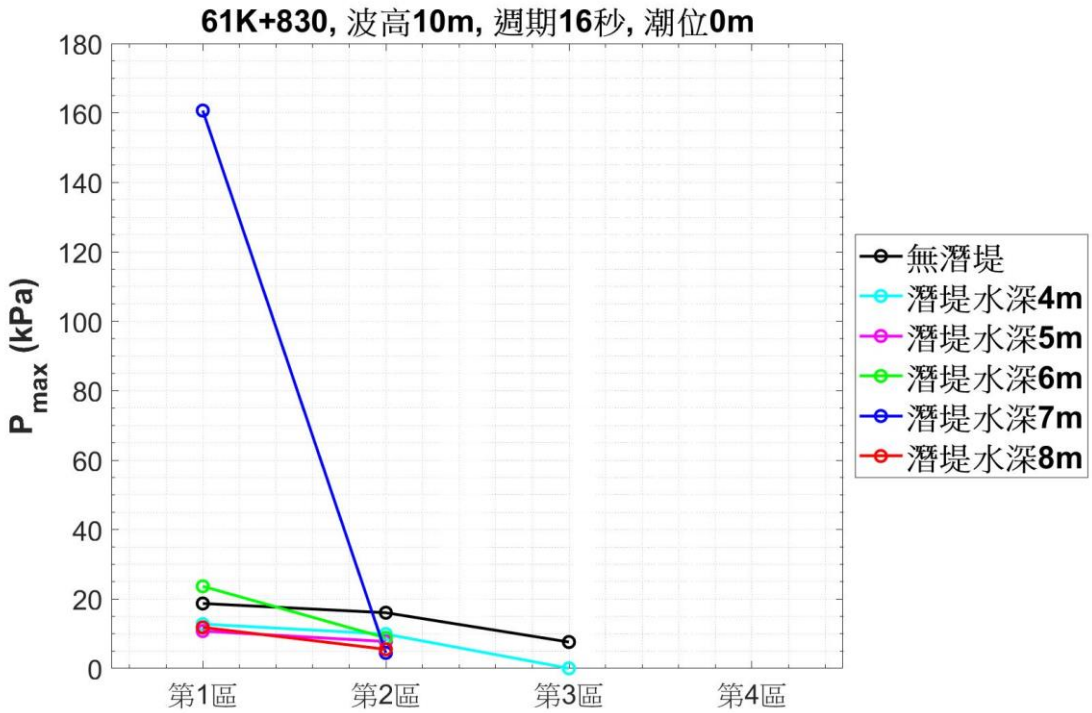


圖 2.53 61K+830 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

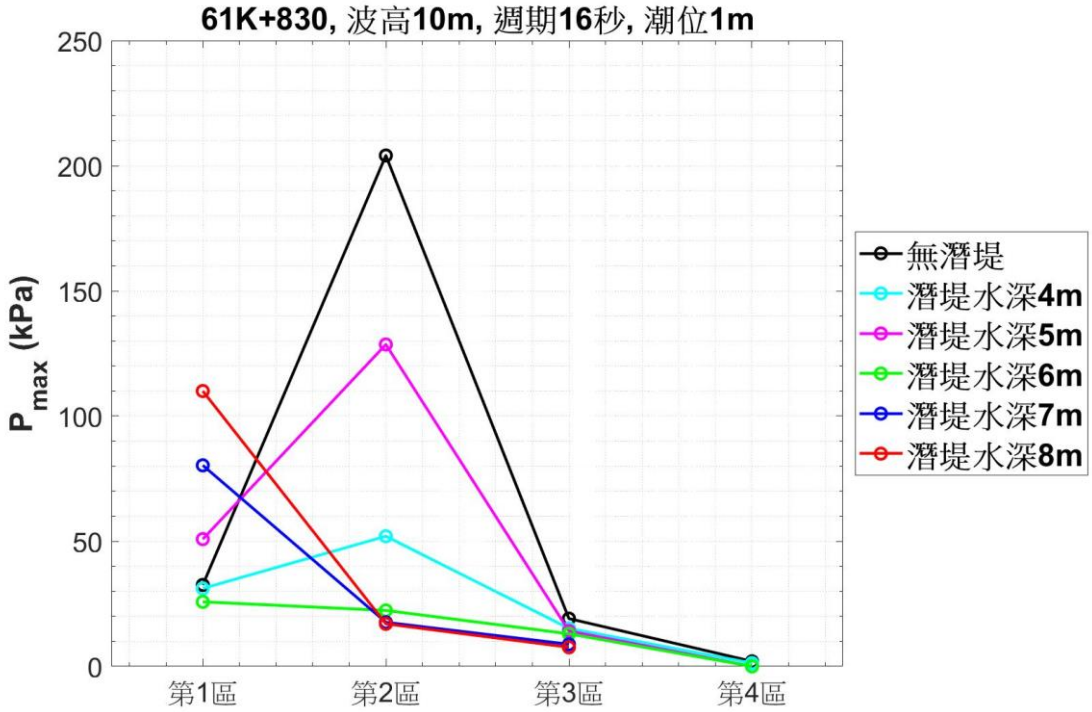


圖 2.54 61K+830 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

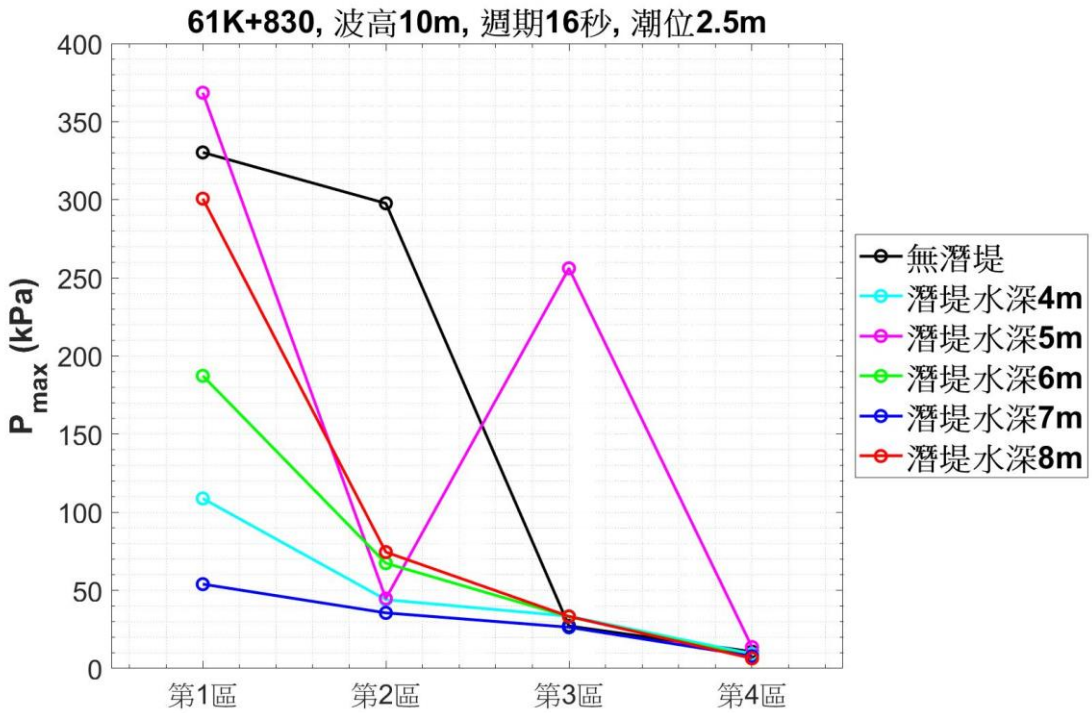


圖 2.55 61K+830 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

2.6.7 台 11 線 62K+220

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值(附錄二和三)，經整理後如表 2-9 所示。由表可知在潮位 0m 時，除了無潛堤的情況出現道路溢淹之外，其他潛堤深度的情境皆未出現道路溢淹。而當潮位 1m 時，除了潛堤深度 8m 的陸地溢淹距離到達道路邊緣以外，其他情境下皆出現道路溢淹的情況。而在潮位 2.5m 時則是 6 種條件皆發生道路溢淹。

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時(圖 2.56)，除了潛堤 8m 在第 1 和 2 區稍大之外，6 種潛堤條件的最大壓力值在各區並無明顯差異。當潮位 1m 時(圖 2.57)，潛堤深度 5、6m 在第 2、3 區有較佳的最大壓力值降幅。當潮位 2.5m 時(圖 2.58)，各潛堤深度在第 4 區皆能使最大壓力大幅下降，而在第 3 區則是深度 7m 有最大降幅、而深度 8m 次之。

綜合上述的情況，對潮位 0m 情境而言，潛堤建議深度 4 到 8m。對潮位 1m 的選擇上，建議深度為 8m。而對潮位 2.5m 來說，建議深

度為 7 和 8m。

表 2-9 61K+220 情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kPa)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		61	32	41	34	23	1			
	4	27	0	30	23	12	0	364	738	514
	5	27	0	55	22	12	0	1372	757	280
	6	26	0	50	20	7	0	546	1309	211
	7	26	0	24	18	6	0	3001	464	470
	8	26	0	177	105	5	0	3468	748	682
1		61	32	229	139	31	4			
	4	61	32	206	230	107	3	1882	779	757
	5	61	32	155	38	29	2	742	1281	735
	6	61	32	125	70	25	1	1042	837	326
	7	61	32	220	158	82	2	2744	590	554
	8	29	0	255	271	20	0	1717	670	671
2.5		61	32	501	636	211	414			
	4	61	32	268	582	120	22	437	726	682
	5	61	32	342	493	103	15	256	468	359
	6	61	32	67	373	268	21	276	505	500
	7	61	32	196	290	51	27	627	549	995
	8	61	32	135	384	91	20	1421	914	322

註：62K+22 的道路溢淹距離最多 32m，其中 0 到 24m 範圍為停車場以及 24 到 32m 範圍為道路。

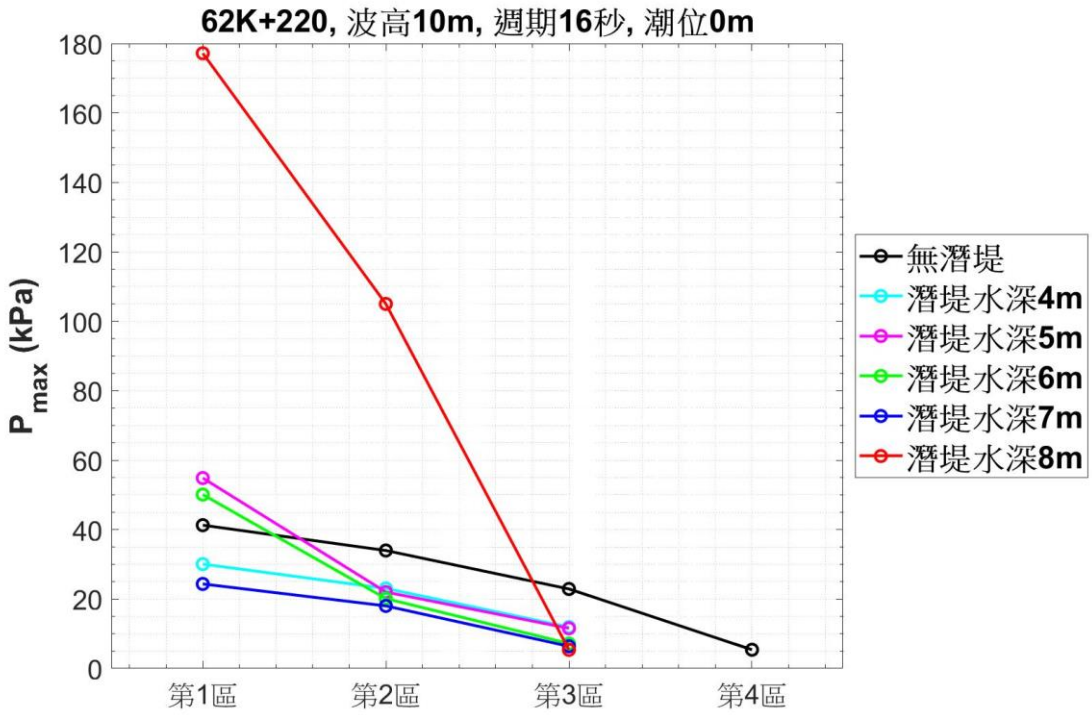


圖 2.56 62K+220 在潮位 0m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

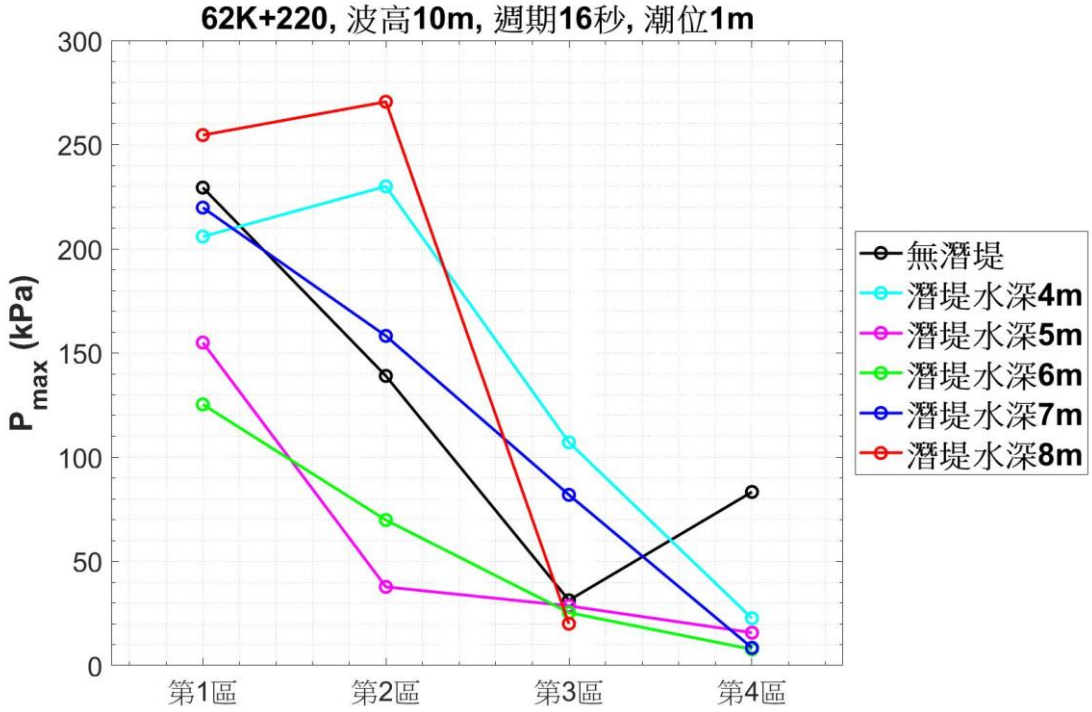


圖 2.57 62K+220 在潮位 1m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

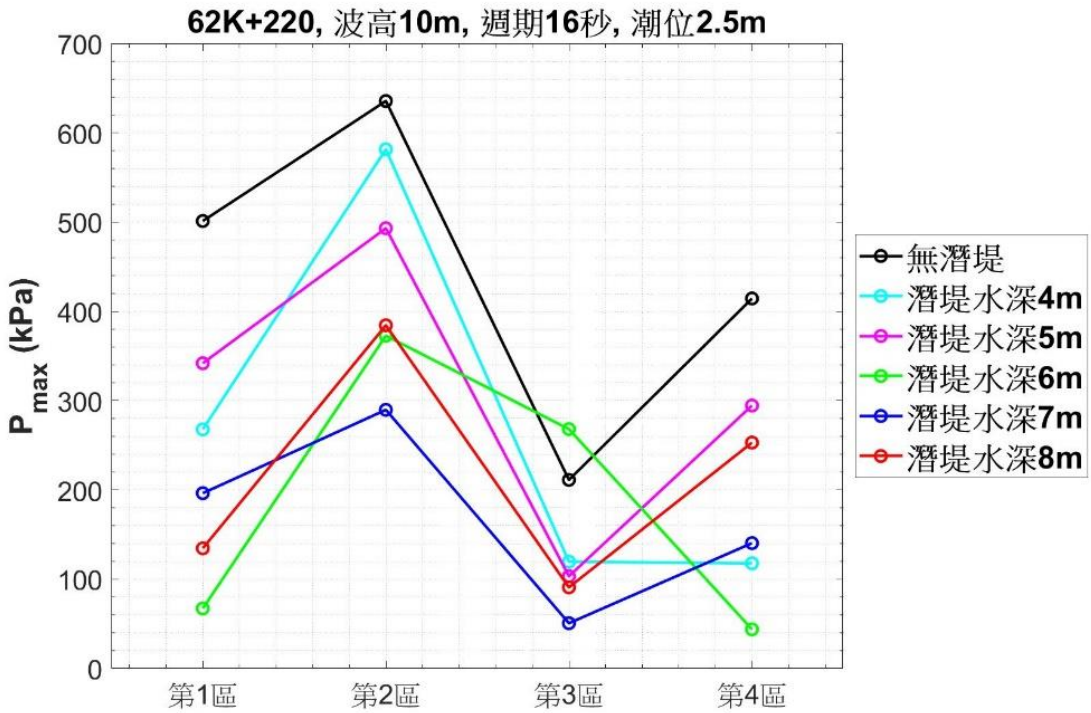


圖 2.58 62K+220 在潮位 2.5m 時，近道路區 4 區域的最大壓力

2.7 台 11 線人定勝天路段花蓮海岸二級防護計畫評估

陳等人(2020)蒐集新聞分析的結果顯示近年來台 11 線花蓮海岸公路的人定勝天碑路段(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 2.59)；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 2.60)；2018 年 9 月潭美颱風期間公路局於台 11 線 61k+400 附近拍攝到浪襲道路的情況(圖 2.61)。以上颱風所造成道路地基流失說明道路邊坡的堤趾保護有其必要性，另外浪襲道路亦威脅著用路人的通行安全，以上兩者情形已符合內政部「整體海岸管理計畫」的海岸防護目的。整體海岸管理計畫的海岸防護區位劃設與分級原則的災害類型並無颱風長浪的選項，但由於颱風暴潮的高水位有助於長浪侵襲路面以及破壞道路邊坡結構，根據楊等人(2018)研究指出人定勝天路段鄰近的石梯漁港 50 年重現期暴潮位為 1.46m，故在此將災害類型歸類為暴潮溢淹。本章模擬多種離岸潛堤的設置條件，藉以探討何種條件有助於減少颱風暴潮期間長浪對道路邊坡的破壞以及降低浪襲路面的情況，進而達到海岸防護的目的。

參考花蓮縣二級海岸防護計畫，本研究建議的二級海岸防護區劃設範圍說明如表 2-10，防護措施及方法如表 2-11。


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」。（記者花孟璟攝）

2015-08-08 11:55:02

〔記者花孟璟／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！

圖 2.59 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

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

2016-09-27 15:15:00

〔記者花孟璟／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 2.60 相關浪襲公路新聞資料

圖 2.61 61K+400 附近的浪襲影像(公路總局第四區養護工程處提供)

表 2-10 花蓮縣二級海岸防護區劃設範圍說明

海岸段	災害類型	災害潛勢與受災情形	防護標的	是否符合「整體海岸管理計畫」劃設原則	是否劃設海岸防護區
豐濱鄉港口村(台 11 線人定勝天路段 61K 至 63K)	高潛勢暴潮溢淹	1. 暴潮溢淹水位已道路邊坡的防護工程設施。 2. 發生颱風長浪浪襲道路的情形	台 11 線公路	是	是

表 2-11 花蓮縣二級海岸防護區防護措施及方法

區段	災害類型	災害防治區/陸域緩衝區	調適策略	因應對策	措施及方法	法定區位
豐濱鄉港口村(台 11 線人定勝天路段 61K 至 63K)	暴潮溢淹	災害防治區	保護	工程	修建離岸潛堤	無

2.7.1 離岸潛堤混凝土等級建議

根據表 2-3 到 2-9 可知在人定勝天路段 7 處斷面所有 COBRAS 模擬最大壓力值在近道路區和潛堤區皆未大於 10000 kPa，亦即壓力未超過 102 kgf/cm^2。為方便公路單位施工參考另外於附錄四提供表 2-3 到 2-9 以 kgf/cm^2 單位表示的結果。由行政院農委會發布的水泥混凝土之一般要求將混凝土強度分為 6 級(如表 2-12)，文中提到(1)140kgf/cm^2 級混凝土用於次要排水路、護岸、回填混凝土或基礎墊層混凝土。(2)175kgf/cm^2 級混凝土用於河海堤、排水路、護岸、灌溉渠道、鋼筋混凝土構造物，混凝土砌卵石溝或用於無筋混凝土構造物。依模擬的最大壓力強度而言，使用抗壓強度 140kgf/cm^2 等級的混凝土應足夠避免被波壓破壞潛堤的結構。另外在臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司「布袋港 N3 碼頭及 N4～N6 臨時護岸興建工程」規劃及初步設計成果報告書」中提到其碼頭和管溝結構選擇使用的抗壓強度為 280kgf/cm^2，而打底混凝土的抗壓強度為 140kgf/cm^2。

表 2-12 行政院農業委員會農第 03053 章混凝土分級表

分級項目	水灰比	參考使用水泥量
(kgf/cm^2)		(kg/m^3)
fc'=140	0.708	215~235
fc'=175	0.620	250~275
fc'=210	0.532	300~325
fc'=245	0.440	375~400(水中 375~400)
fc'=280	0.400	360~400(水中 400~425)
fc'=350	0.384	440~470
註：1.參考使用水泥量得在 10%範圍內調整之。 2.剛性路面系依抗彎強度 R 值分級。		

2.7.2 離岸潛堤設置的深度建議

根據 2.6 節的模擬結果，人定勝天路段 7 處斷面無潛堤情況下近道路區的 4 區最大壓力在潮位 0m 的情況如圖 2.62。由圖可知最大壓力值皆在 600kPa 以下，而在離道路最近的第 3 區以 61K+380 和 61K+500 的最大壓力值最大，其值各為 297 和 288kPa。在第 2 區則是 61K+300 的壓力值 581kPa 最大。而在潮位 1m 的情況下(圖 2.63)，

相對於其他位置，61K+300 在第 2 到 3 區有較高的最大壓力值，各為 1181 和 723kPa，而 61K+380 在第 3 區壓力值亦有 750kPa。當潮位 2.5m 時，以 61K+500 的壓力值最高，在第 1 到 3 區各約為 1300、1327 和 1899kPa，如圖 2.64。鄰近道路的第 3 區在 61K+300 和 61K+380 亦有 849 和 948kPa 的高值。

由上述無潛堤的最大壓力分布可知，在潮位 0 到 1m 的情況下，可考慮優先對 61K+300 到 61K+500 區段設置潛堤來降低道路邊坡所承受的壓力。根據 2.6.1 到 2.6.7 節的模擬，考慮三種潮位下，何種潛堤深度位置使陸地溢淹距離以及道路鄰近區的壓力值減少較多的情況，在此將三種潮位的潛堤設置深度建議值整理如表 2-13。

表 2-13 潛堤設置的海床深度建議值(m)

台 11 線里程	潮位 0m	潮位 1m	潮位 2.5m
61K+300	4	6、8	6、7
61K+380	5 和 8	7 和 8	5
61K+500	5 到 7	6 到 7	5
61K+580	4 到 6	4 到 6	4
61K+700	4、5	4、6	4
61K+830	6 到 7	6 到 8	4、7
62K+220	4 到 8	5 和 6	7

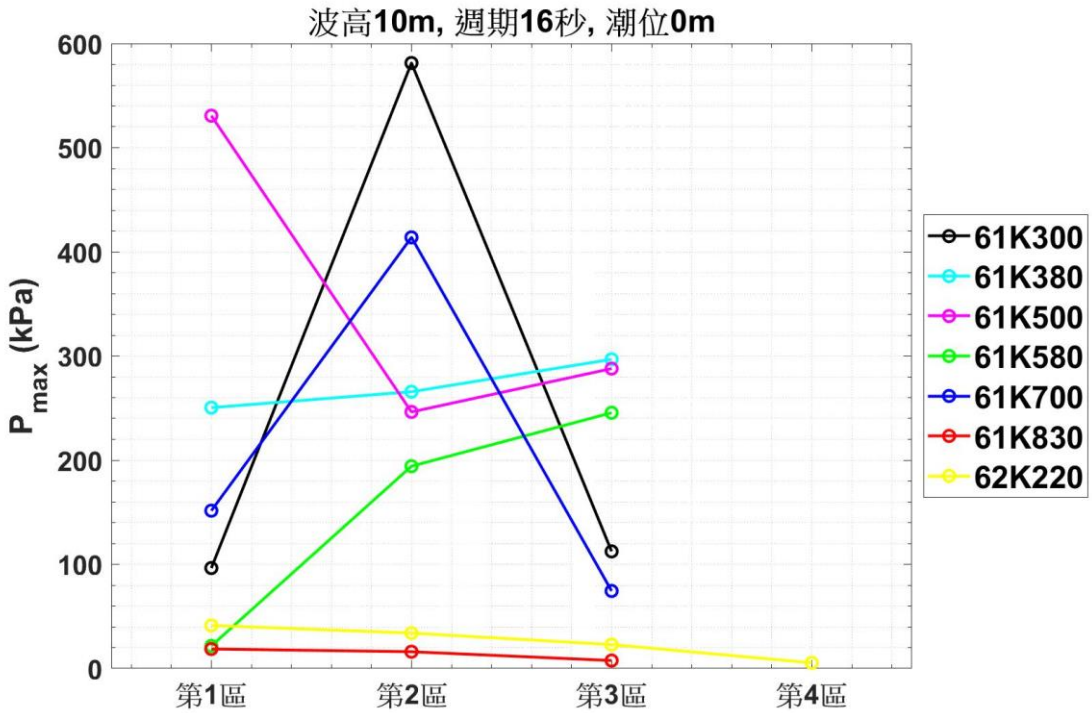


圖 2.62 7 處斷面無潛堤且潮位 0m 的情境在近道路區的 4 區最大壓力

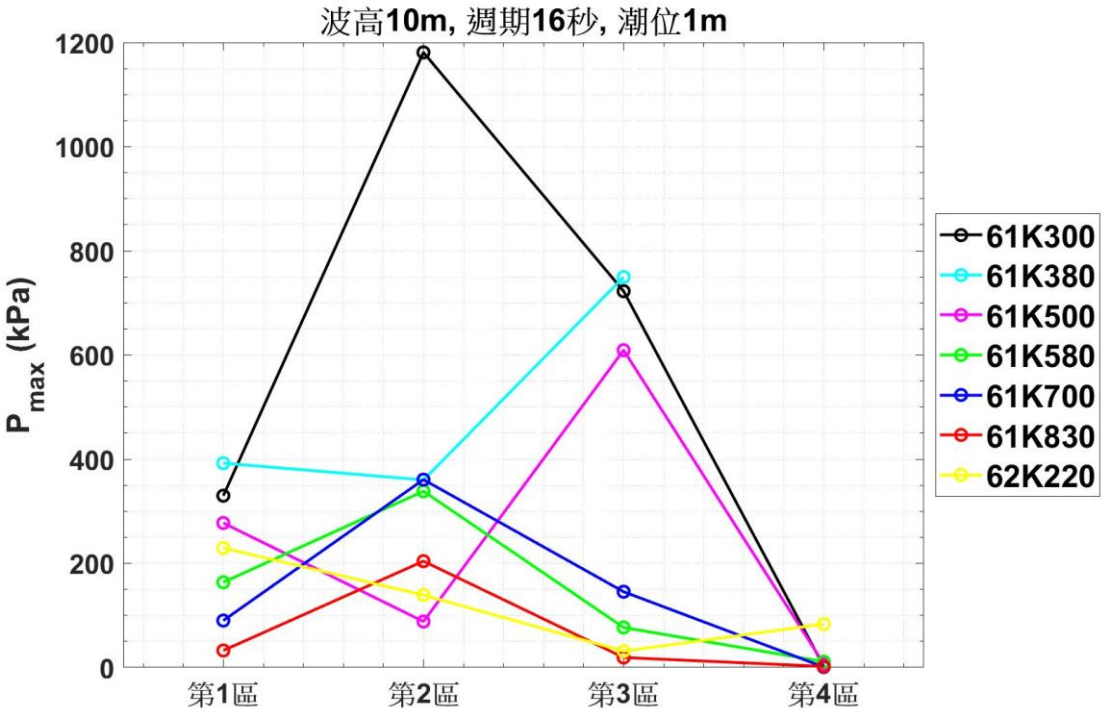


圖 2.63 7 處斷面無潛堤且潮位 1m 的情境在近道路區的 4 區最大壓力

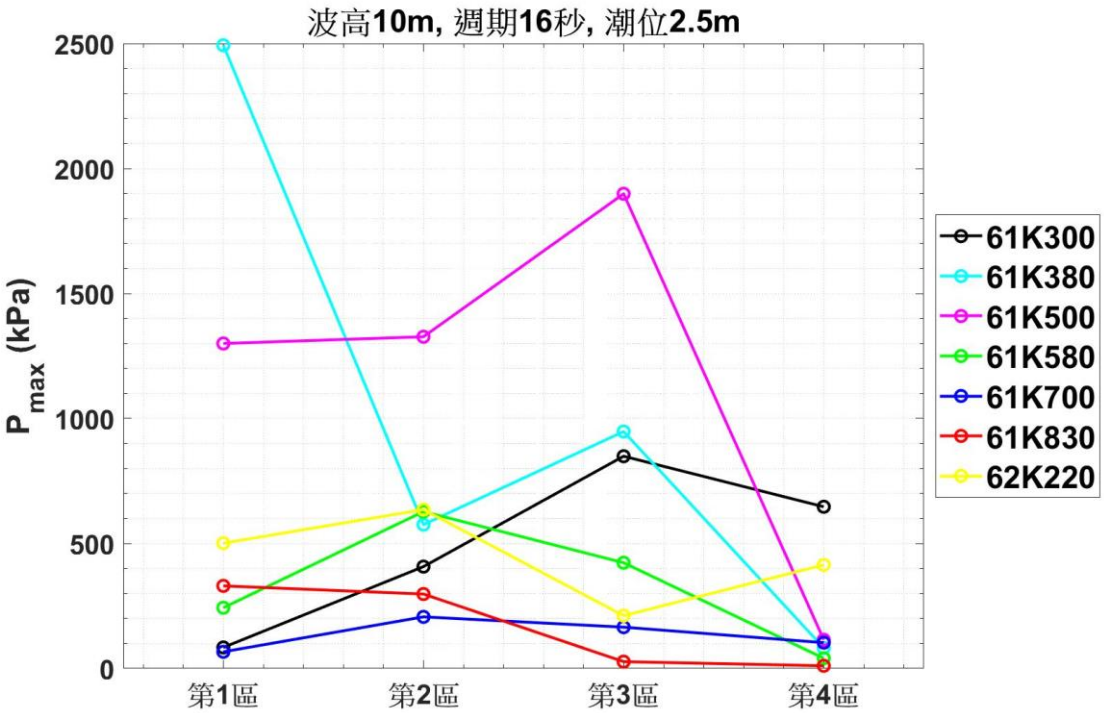


圖 2.64 7 處斷面無潛堤且潮位 2.5m 的情境在近道路區的 4 區最大壓力

2.7.3 離岸潛堤設置的寬度建議

為了解在不同堤頂寬度的離岸潛堤設置下，波浪對近道路區所造成的最大壓力差異，本節基於 2.4 節的 COBRAS 模式設定，同樣使用邊界連續入射 8 個波高 10m、週期 16 秒的正弦波。由於 2.6.1 節已有 61K+300 在潮位 1m 且堤頂寬度 10m，潛堤水深為 6m，潮位為 1m 的情境結果，並以此情境設定為基礎，僅將 10m 的堤頂寬度更動為 5m 和 20m 再重新進行模擬。透過分析比較堤頂寬度 5、10、20m 以及無潛堤等 4 種情境下，近道路區所承受的最大壓力有多少差異，藉以提供設計堤頂寬度的初步評估。圖 2.65 為三種堤頂寬度的地形配置。

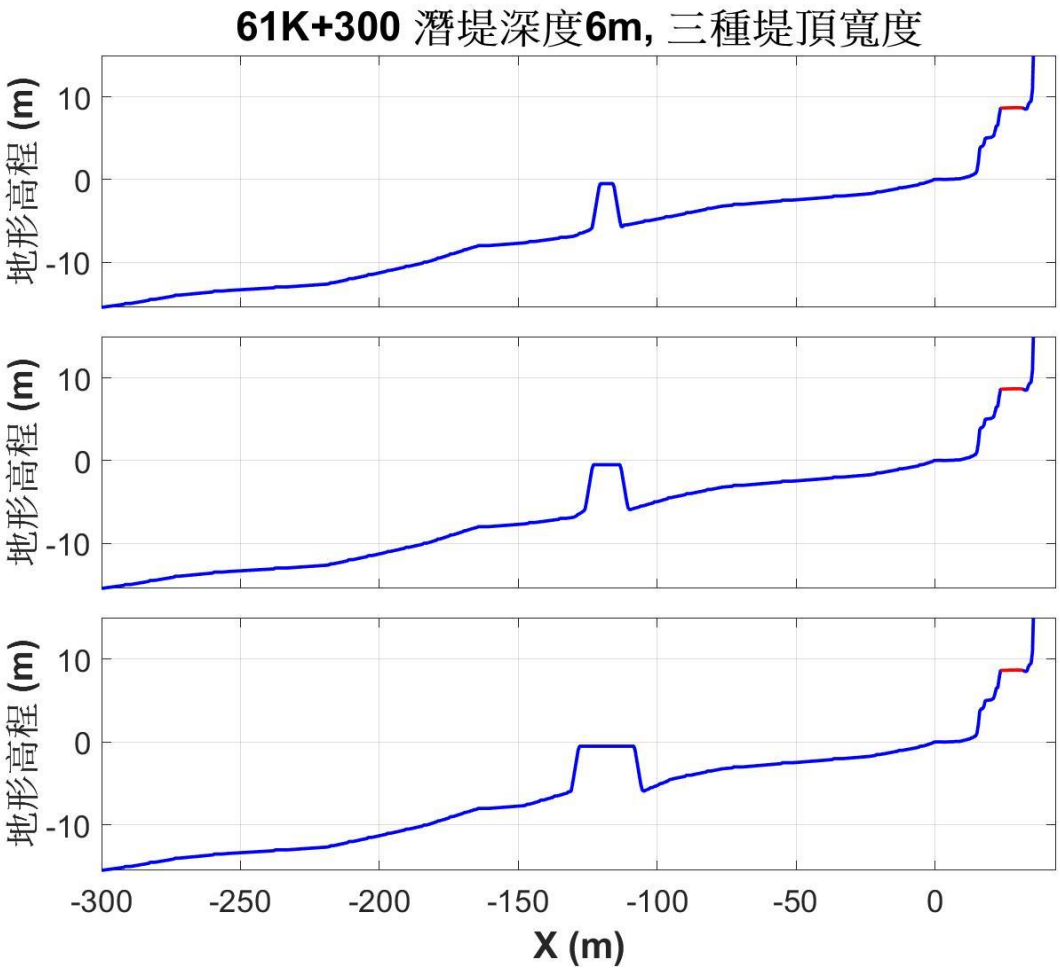


圖 2.65 堤頂寬度寬 5(上)、10(中)和 20m(下)的地形配置

模擬期間包含無潛堤等 4 種堤寬條件所承受的最大壓力如圖 2.66 所示。同 2.6 節的分區方式，根據 4 種不同情境結果將長浪溯上溢淹距離、近道路區 4 個分區以及潛堤區 3 個分區內所得的最大壓力值，經整理後如表 2-14。由表可知在潮位 1m 下，4 個堤寬條件皆出現道路溢淹，且皆淹滿 8m 路寬。在離道路較遠的第 1、2 區，寬度 5 和 20m 的最大壓力皆高於無潛堤的情境，而寬度 10m 則是略小於無潛堤的情境；在鄰近道路的第 3 區，三種寬度的最大壓力比起無潛堤條件約有 280 到 620 kPa 的降幅，並以寬度 5 和 10m 的壓力降幅較大。在第 4 區的路面則是最大壓力值皆在 55kPa 以下。潛堤區的前側區域以寬度 20m 的最大壓力 1637 kPa 為最小，約比最大壓力最大的寬度 10m 低 180 kPa。潛堤頂部以及後側區域在寬度 5m 的條件下，最大壓力明顯低於寬度 10 和 20m。基於以上結果，如果僅考慮道路附近的最大壓力降幅，建議選擇堤頂寬度 5 和 10m 的設計。

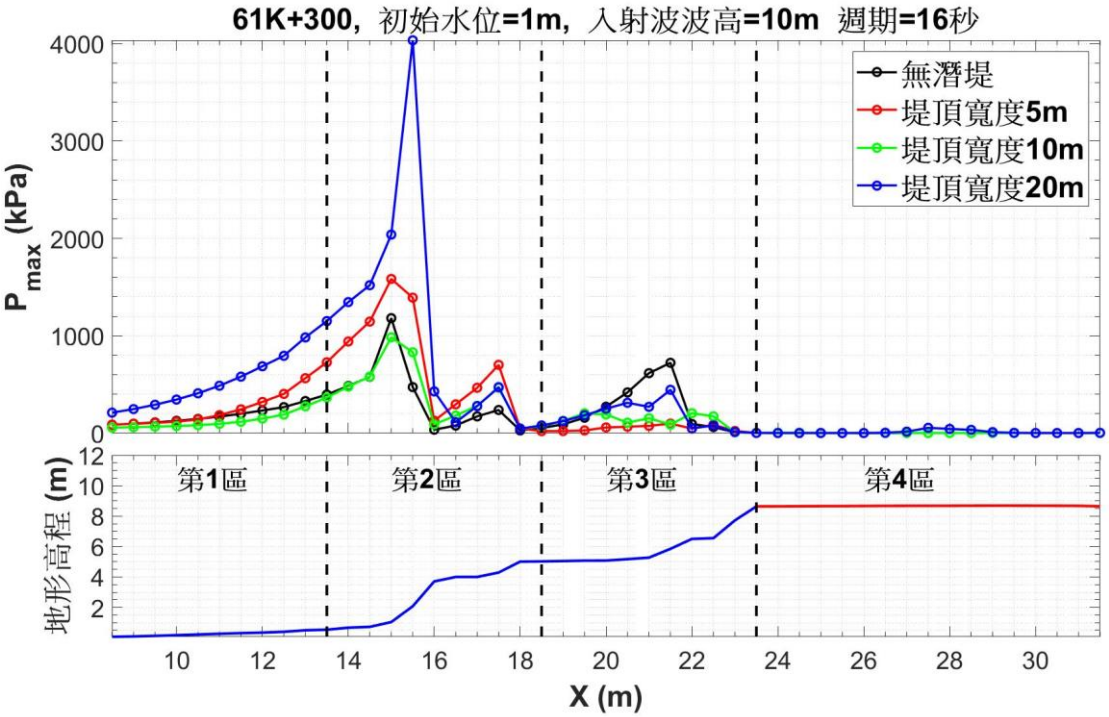


圖 2.66 4 種堤頂寬度情境在近道路區的地形表面最大壓力

表 2-14 不同堤頂寬度的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

潛堤寬度(m)	陸地溢淹距離(m)	道路溢淹距離(m)	區域最大壓力 (kPa)						
			距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
	31.5	8	330	1181	723	2			
5	31.5	8	565	1584	99	2	1742	255	487
10	31.5	8	276	984	205	5	1820	1104	604
20	31.5	8	983	4033	445	55	1637	1667	803

2.7.4 離岸潛堤設置的長度建議

2.6 節的 COBRAS 垂直 2 維模式主要探討波浪沿切線方向前進對近岸結構物的壓力衝擊，在近岸有較佳的 0.5m 解析度，但未考慮繞射等水平 2 維作用。本節使用 XBeach 水平 2 維模擬包含了繞射作用，目的探討特定點僅設置單座潛堤進行防護時，不同潛堤長度或是離岸位置配置所造成的壓力差異提供定性的相對概念。由於兩模式的模擬維度、解析度與應用目的不同，且考量的波浪和潮位條件亦不同，故兩個模式的結果不適合直接比較。由於網格解析度為 5m，難以如 COBRAS 模式的高解析度網格從地形辨識出道路區域，故於後續的水平壓力分佈圖僅標示 7 處斷面的所在位置。

本研究以 61K+300 為例，利用 XBeach 波浪模式中的水平 2 維 surf-beat 模式進行模擬，透過向岸方向的壓力分析來探討潛堤長度對單點位置的壓力降低效果，模式相關介紹可參照附錄五。使用的地形資料參照第 2.3 節，模式地形如圖 2.67，水平網格解析度為 5m，而模擬的時間步長則隨著時間調整變動，整個模擬時間為 20 分鐘。東邊界入射波條件為示性波高 5m，尖峰週期 15 秒。包括 0 和 1m 等 2 種潮位以及無潛堤、長度 50m 和 80m 等 3 種潛堤條件，總共模擬 6 種情境如表 2-15。其中潛堤堤寬為 10m 且堤頂高程為平均潮位-0.5m，兩種堤長配置位置如圖 2.68 的黑點，綠三角為 61K+300。圖 2.69 為情境 3 在模擬時間 2、10 和 20 分鐘的水位和流速空間分布。圖 2.70 則為第 2、10 和 20 分鐘 X 和 Y 方向的壓力空間分布。

表 2-15 XBeach 情境模擬條件

情境編號	潮位(m)	潛堤長度(m)
1	0	無
2	0	50
3	0	80
4	1	無
5	1	50
6	1	80

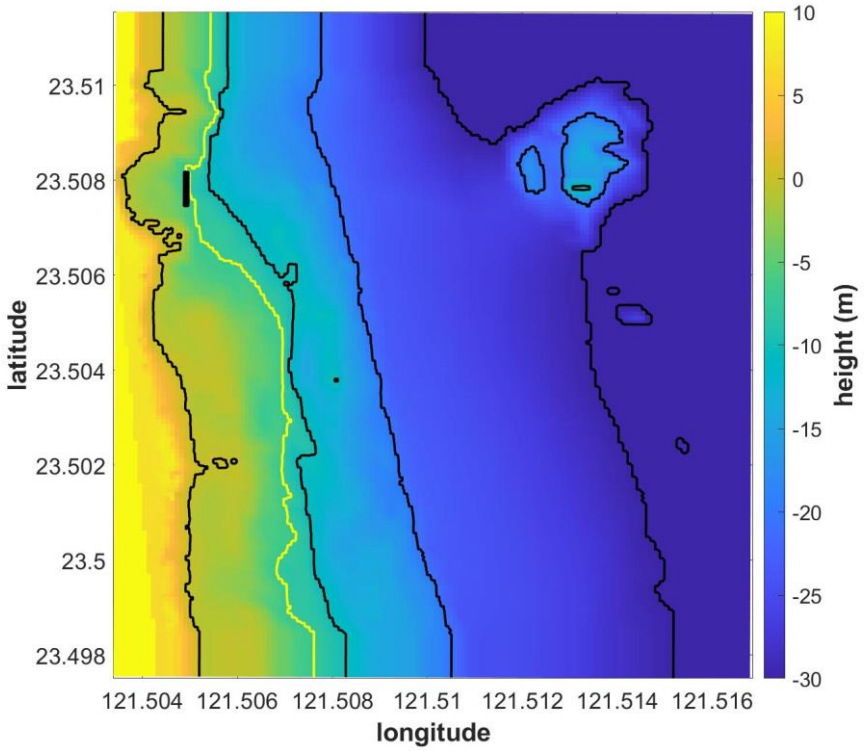


圖 2.67 XBeach 模式地形

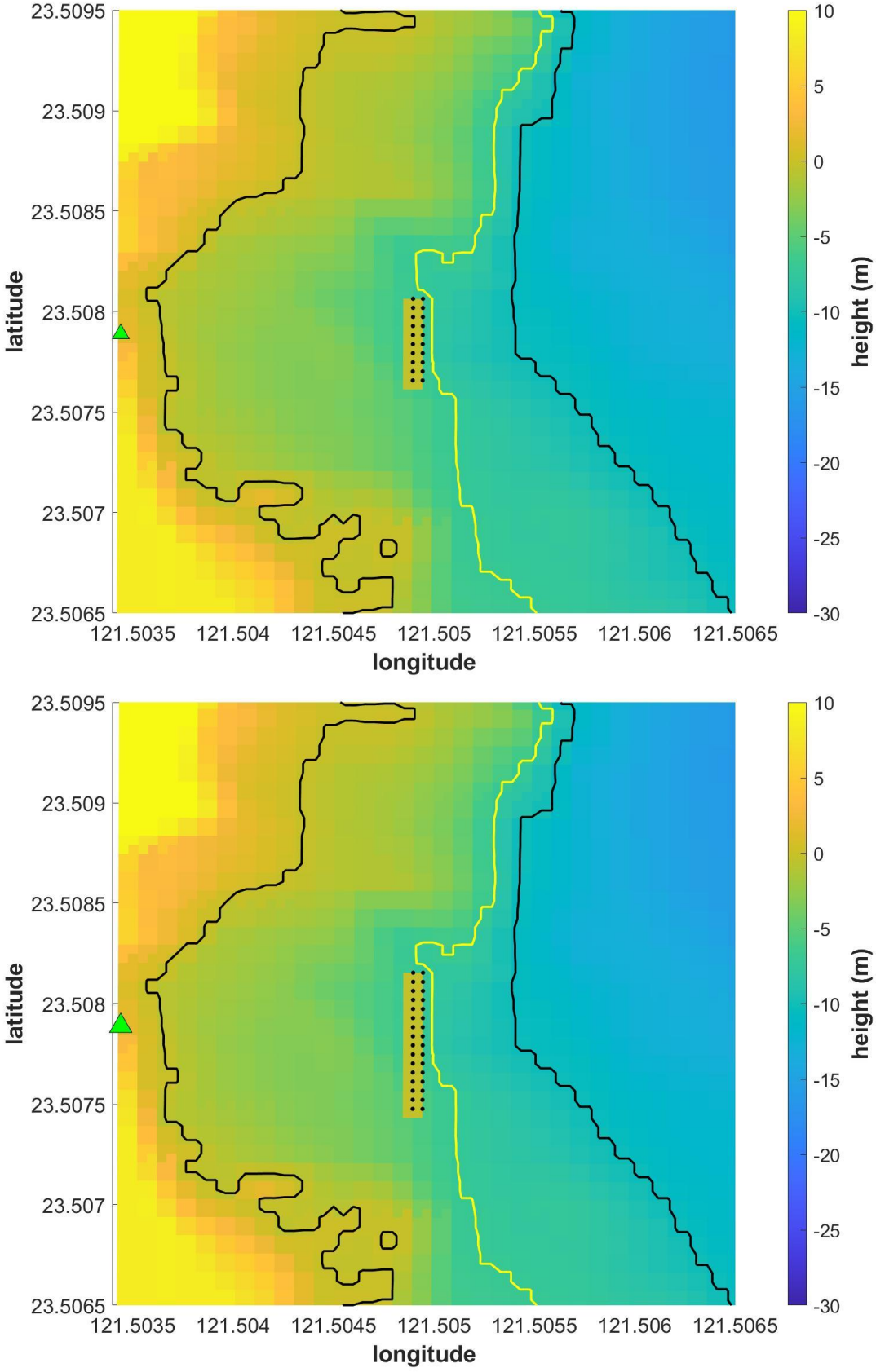


圖 2.68 模式潛堤地形配置，上圖堤長 50m，下圖堤長 80m

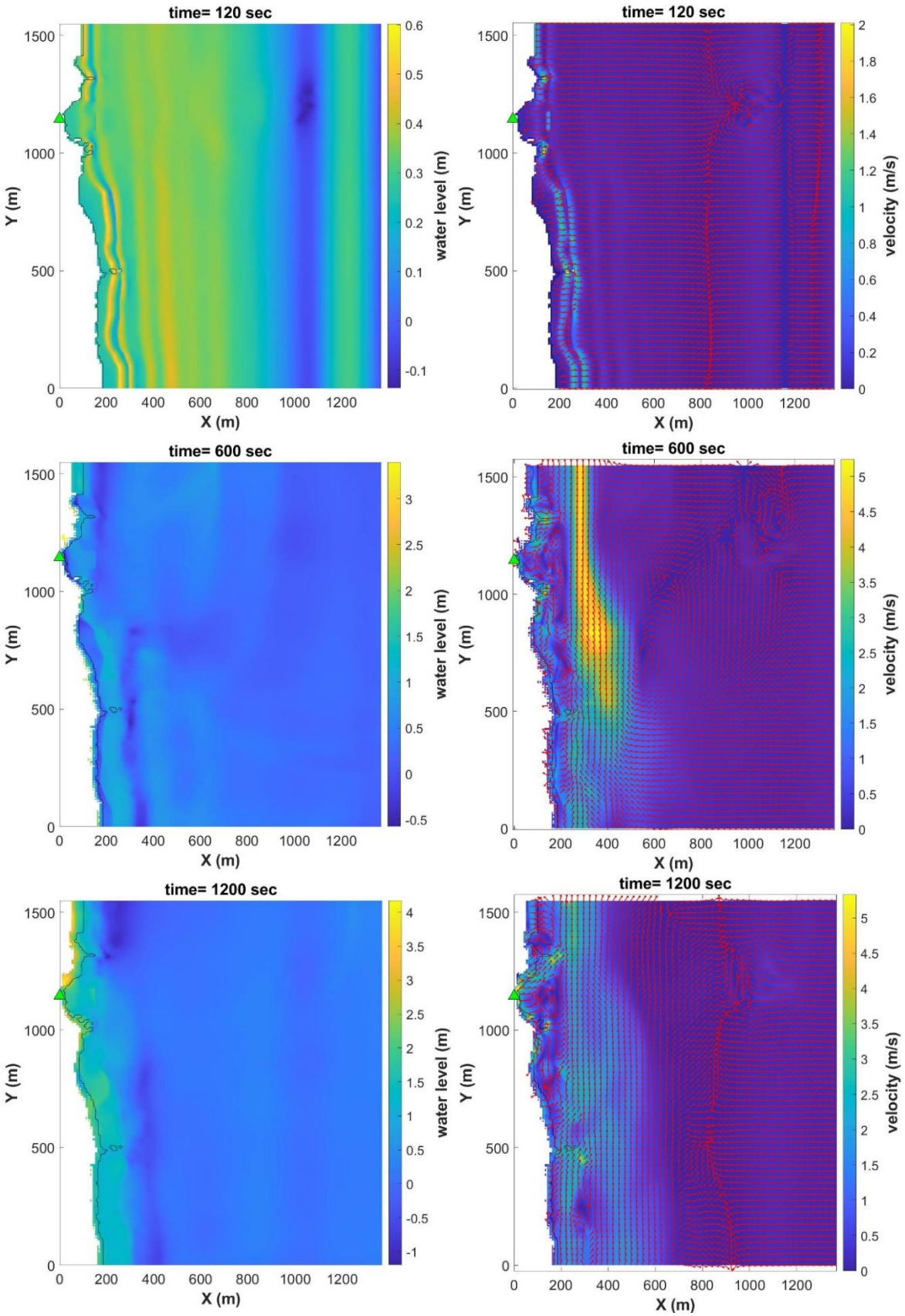


圖 2.69 case3 在 120、600 和 1200 秒的水位(左)和流速(右)空間分布

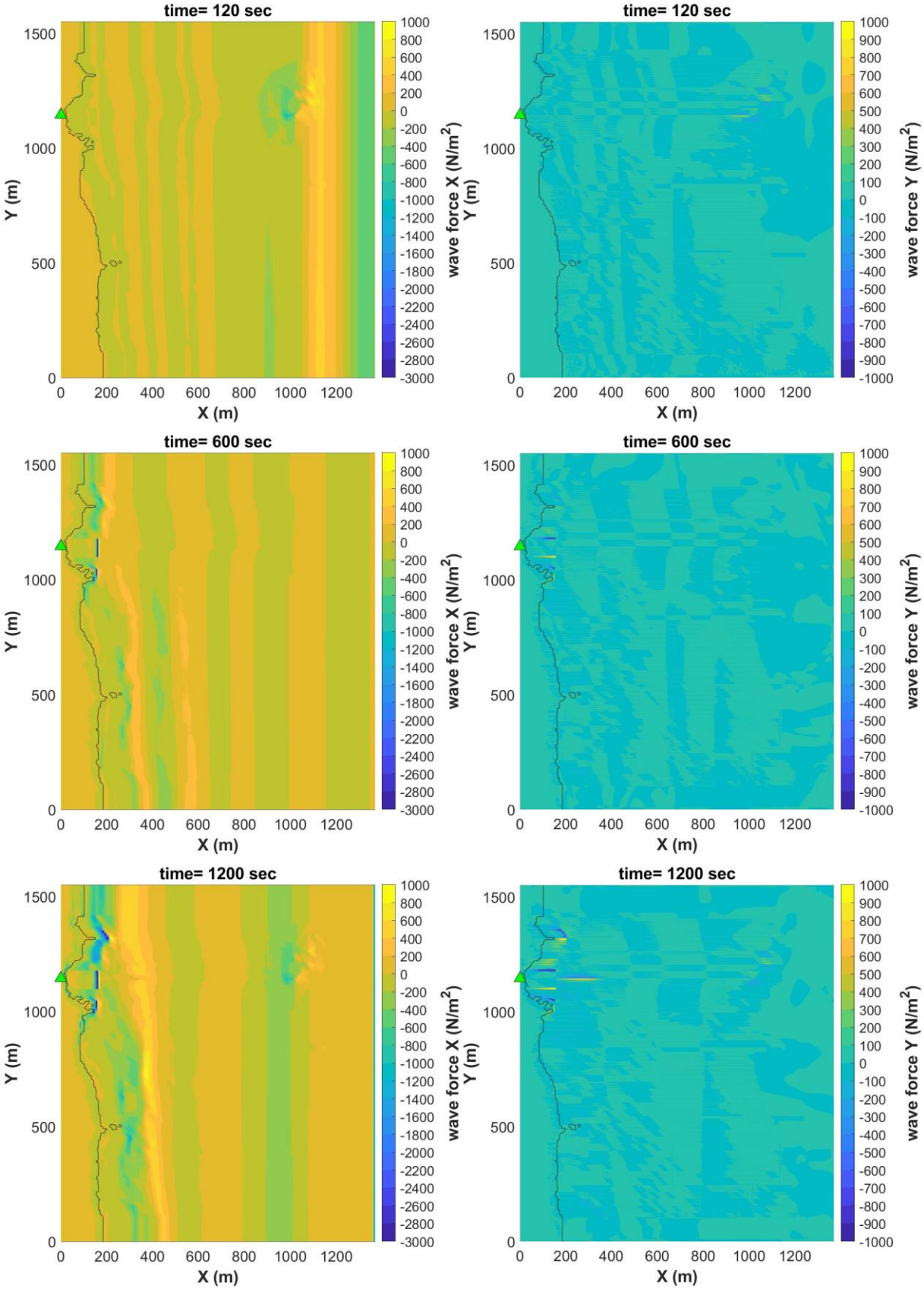


圖 2.70 case3 在 120、600 和 1200 秒的 X(左)和 Y(右)向壓力空間分布

為了解 61K+300 的海岸在無潛堤及兩種潛堤長度下所承受的壓力，在此取出模擬期間在 61K+300 附近的向西方向最大壓力值進行比較評估。6 種情境的最大壓力值如圖 2.71 至 2.76 所示。另外圖 2.77 為 61K+300 附近的地形。其中座標 x=0 且 y=1145 處的綠三角為 61+300 位置。從 6 種情境的最大壓力圖可知不管是潮位 0m 或是 1m，相對於有設置潛堤的情況下，沒有潛堤的情境在 61+300 鄰近的海岸區的壓力值皆較高，顯示了潛堤的設置發揮了降低岸邊壓力的作用，且依潛堤的長短提供海岸不同範圍的壓力降低區，而潛堤本身則是承受較大的壓力，如圖 2.72、圖 2.73、圖 2.75 及圖 2.76 的中心位置。

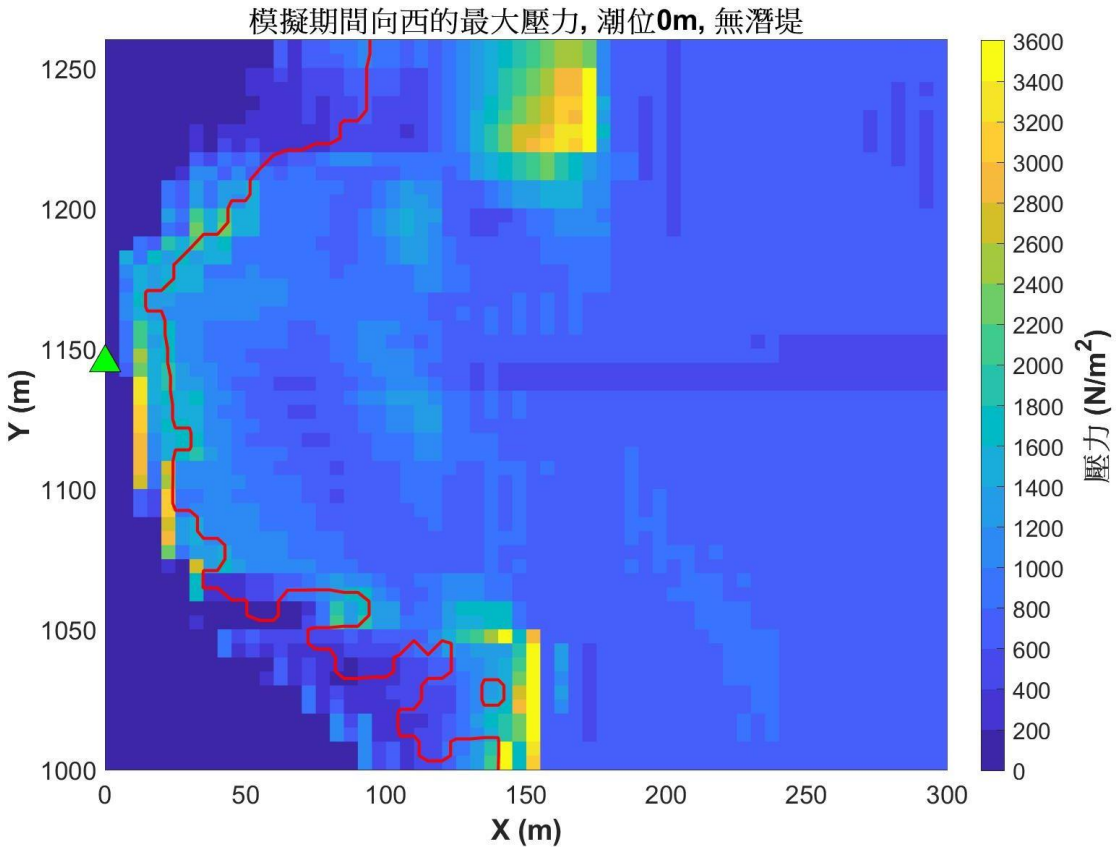


圖 2.71 條件為潮位 0m 且無潛堤的向西最大壓力

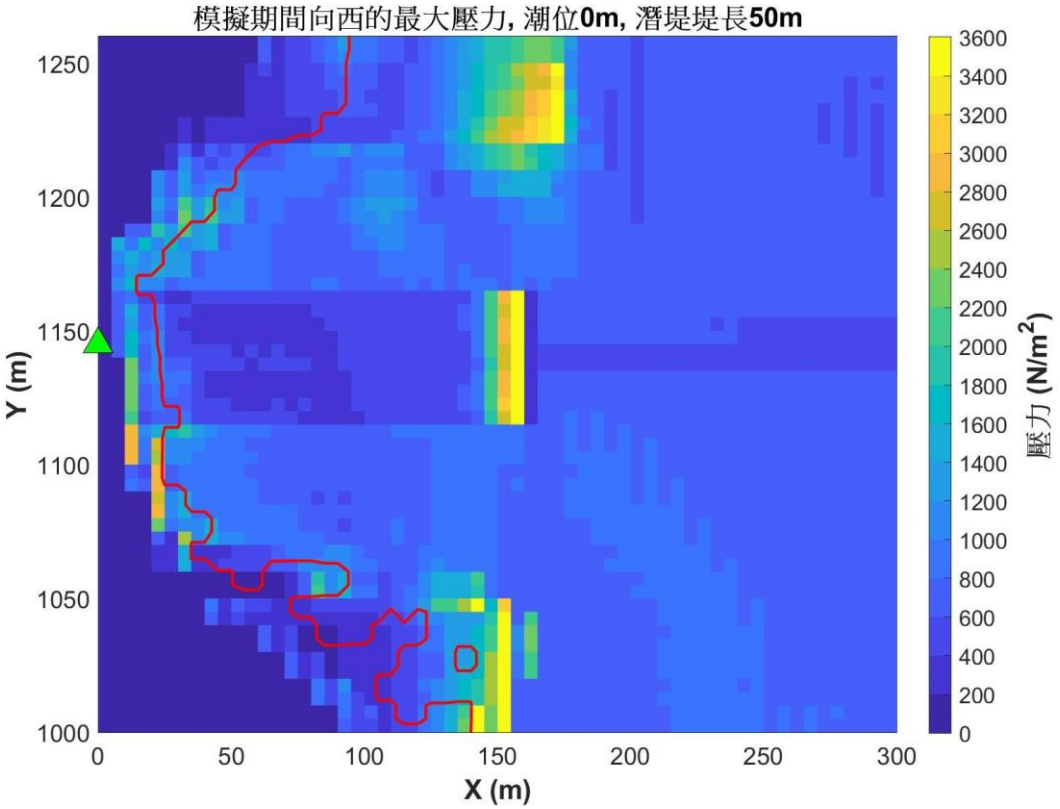


圖 2.72 條件為潮位 0m 且堤長 50m 的向西最大壓力

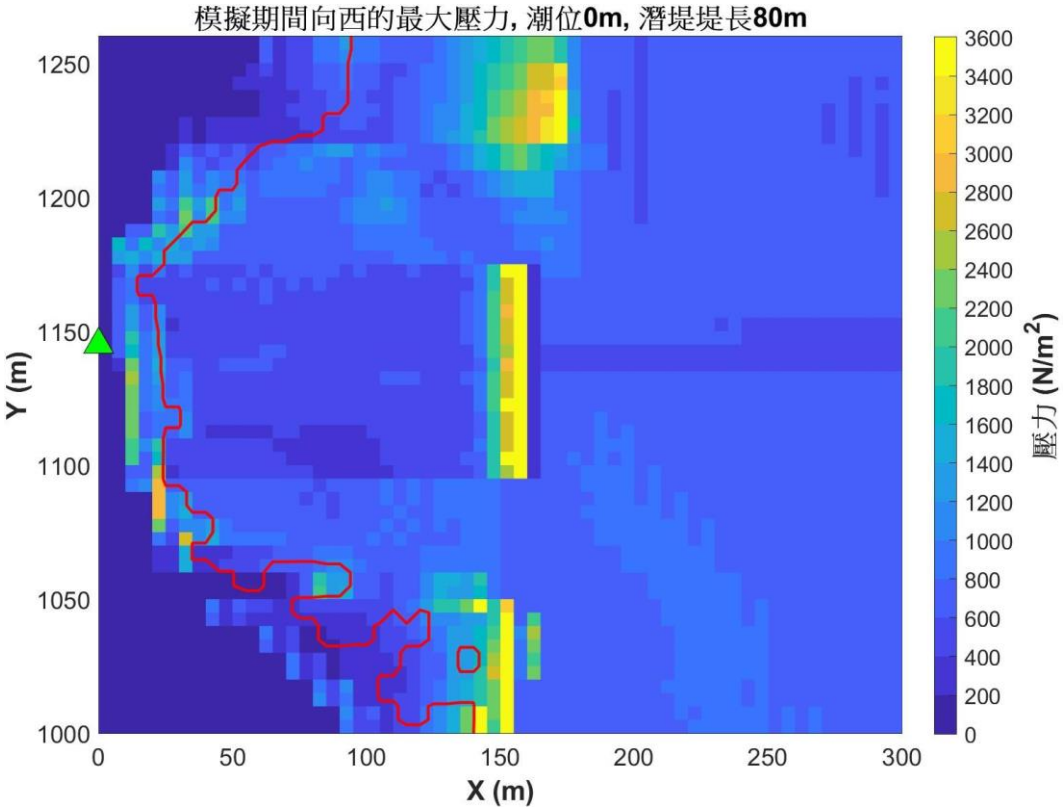


圖 2.73 條件為潮位 0m 且堤長 80m 的向西最大壓力

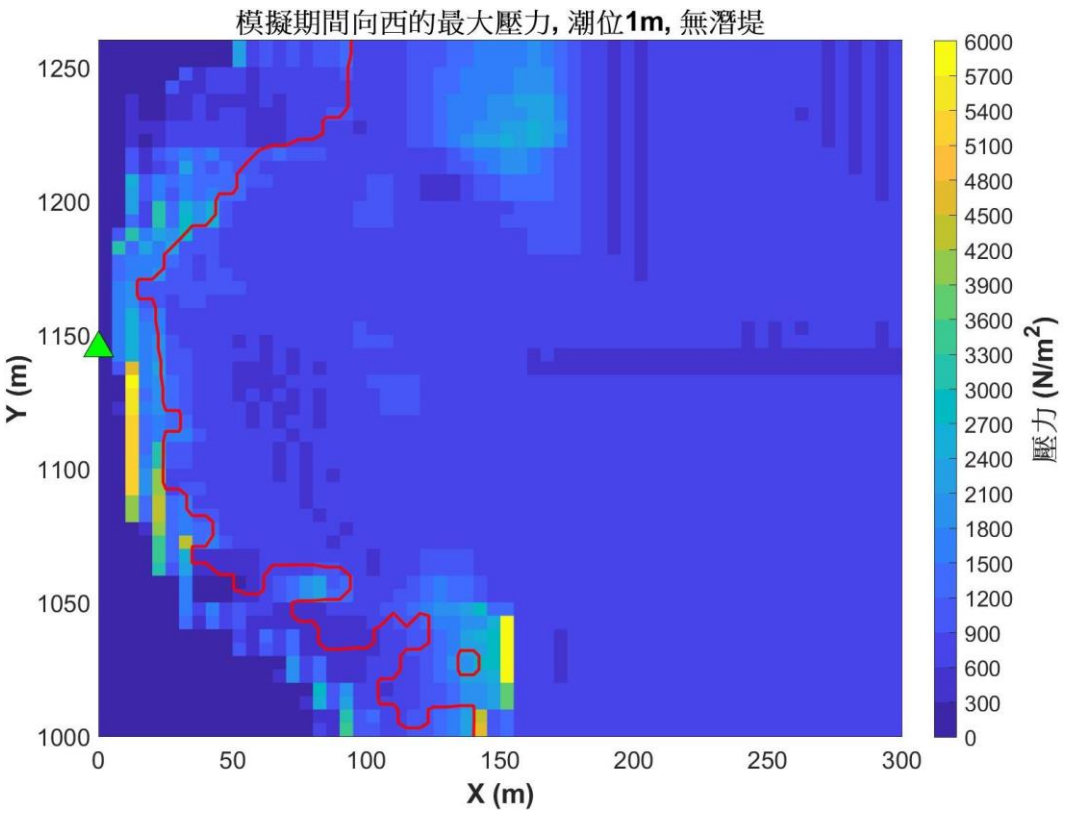


圖 2.74 條件為潮位 1m 且無潛堤的向西最大壓力

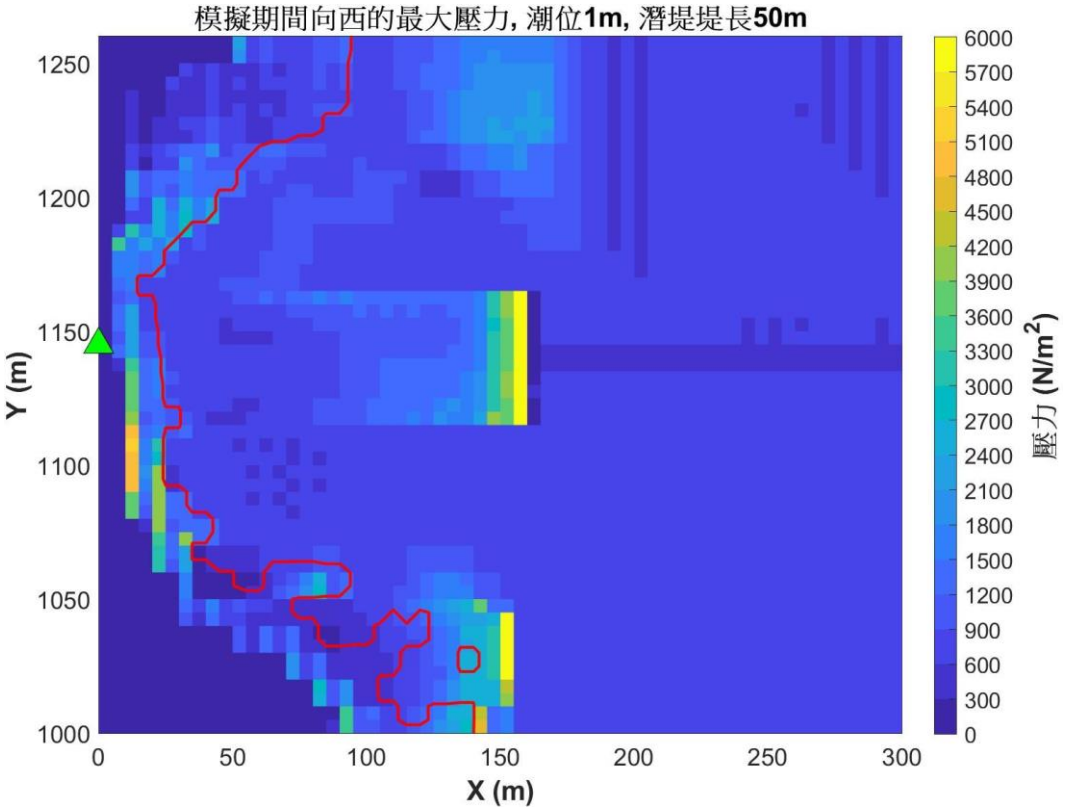


圖 2.75 條件為潮位 1m 且堤長 50m 的向西最大壓力

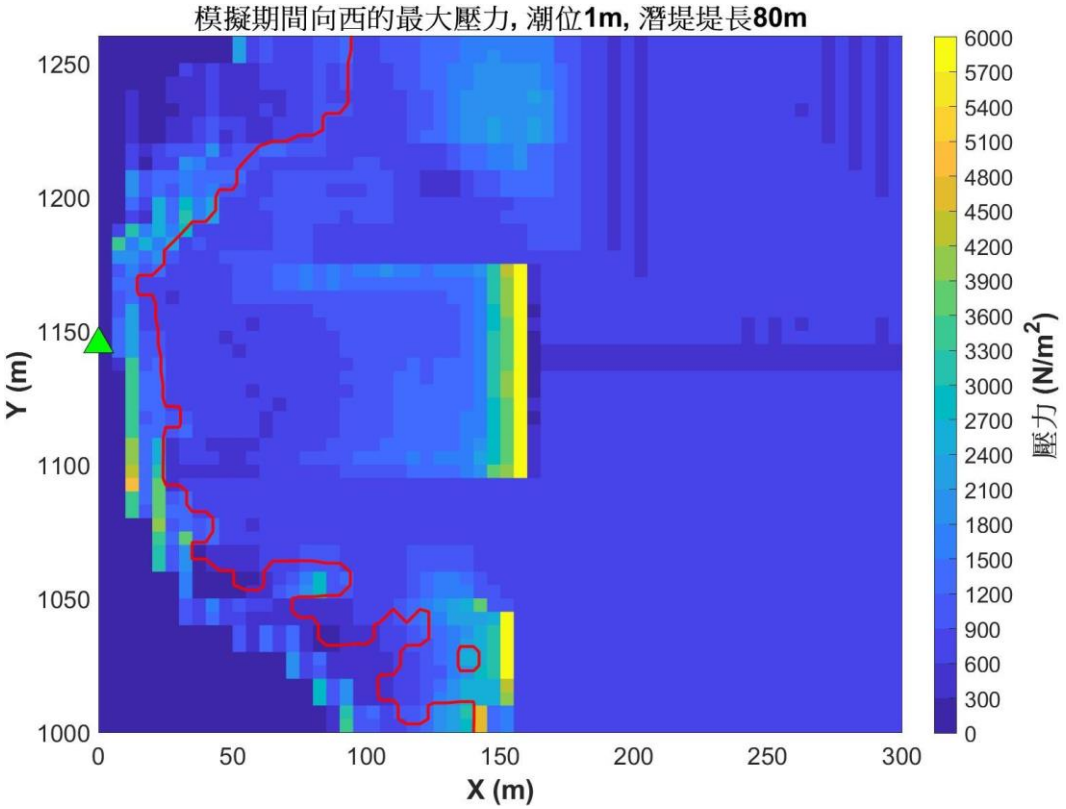


圖 2.76 條件為潮位 1m 且堤長 80m 的向西最大壓力

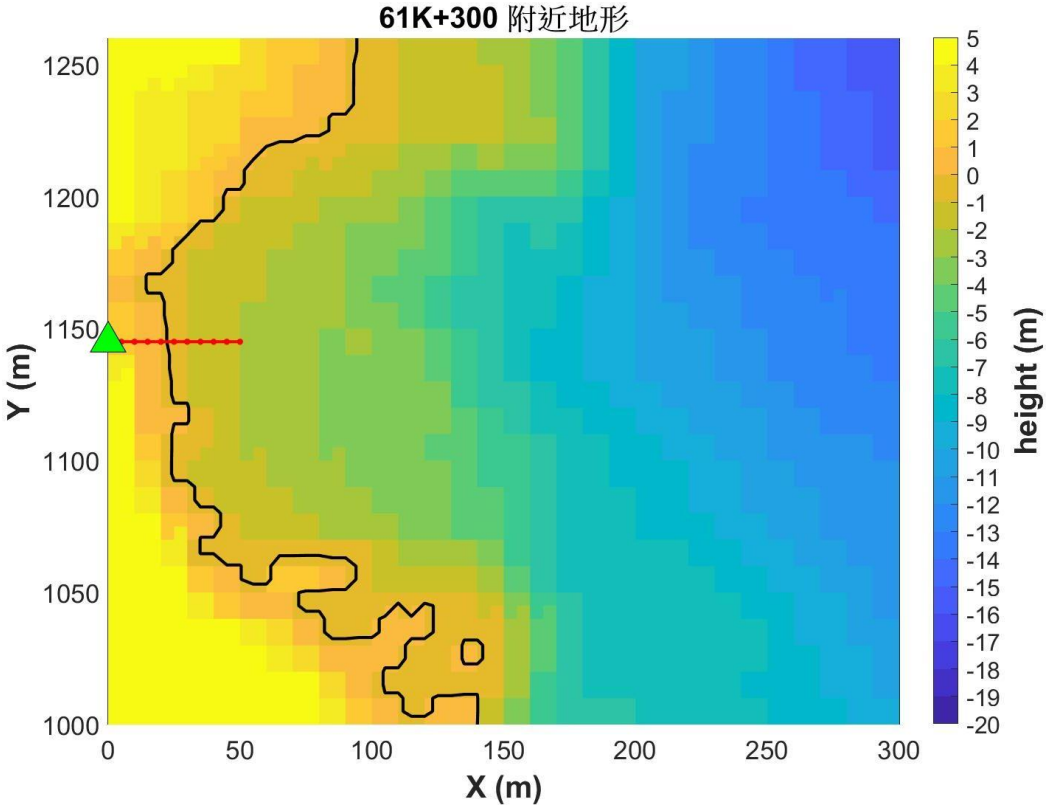


圖 2.77 模式在 61K+300 附近的地形高程

在此針對 61K+300 單點的海岸進行壓力分析，沿該斷面的離岸方向取切線來進行潮位相同而潛堤條件不同的最大壓力比較，切線起點為 61K+300，位置如圖 2.77 的紅線。圖 2.78 和 2.79 的上圖各為潮位 0m 和 1m 的比較，下圖為切線地形。其結果顯示潮位 0m 和 1m 時，潛堤長度 50m 和 80m 在切線方向的最大壓力值差異不大。潮位 0m 時，由圖 2.79 可知有潛堤的情況下在陸地 X=15 到 25m 範圍比無潛堤約下降 600 到 800N/m^2。而潮位 1m 時，圖 2.80 可知在有潛堤的情況下，陸地 X=10 到 25m 範圍內比無潛堤約下降 350 到 700N/m^2。模擬結果顯示僅針對單點進行海岸防護的話，潛堤長度 50 和 80m 的效果相近，而潛堤對岸邊降低壓力的作用可能會隨潮位的增加而降低。

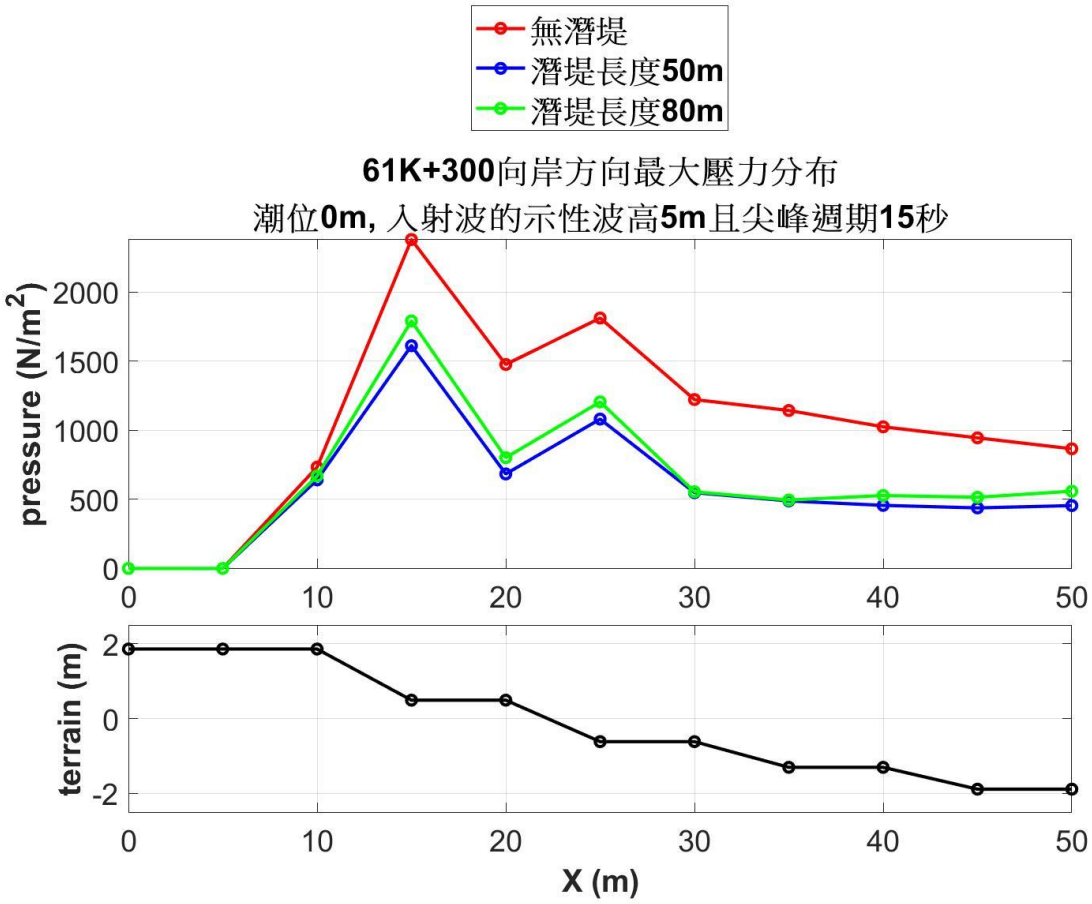


圖 2.78 61K+300 在潮位 0m 時，三種潛堤條件的向西最大壓力

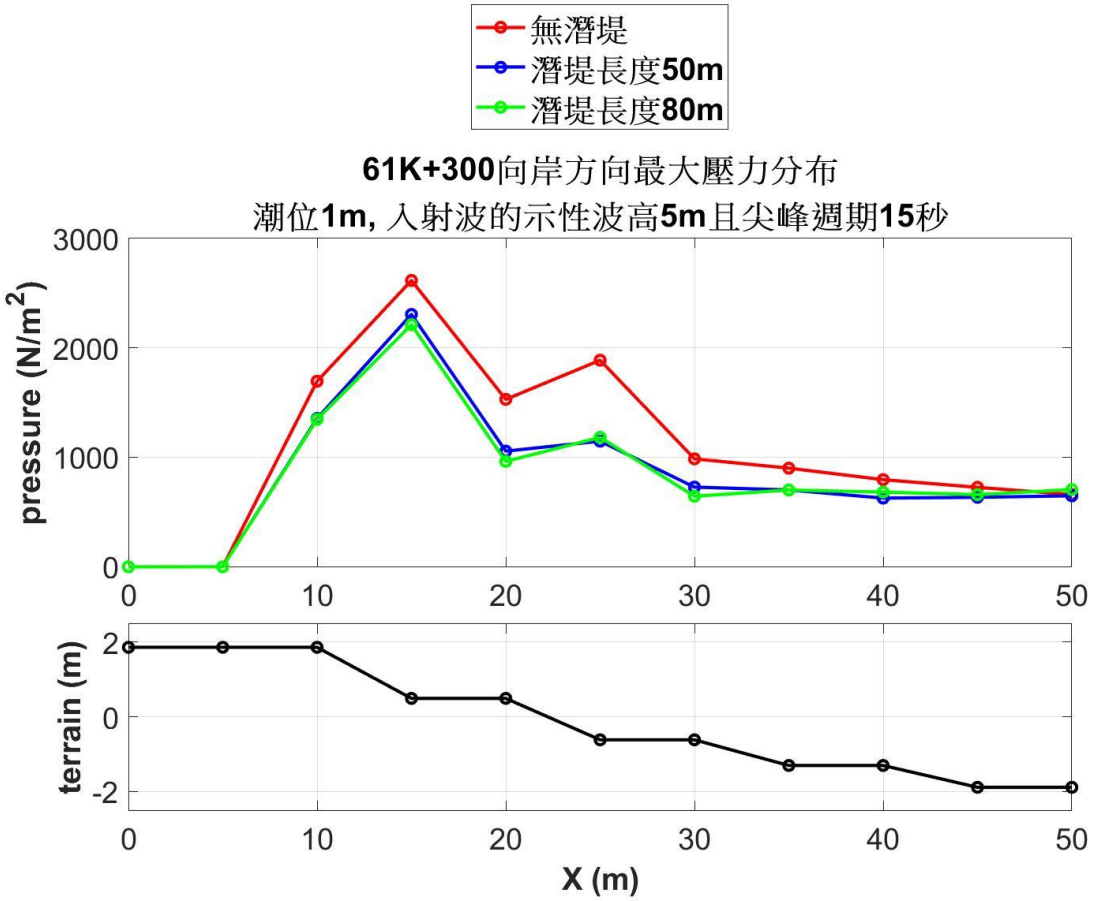


圖 2.79 61K+300 在潮位 1m 時，三種潛堤條件的向西最大壓力

2.7.5 不同離岸潛堤位置配置的模擬

本節同樣利用 XBeach 的 surf-beat 模式進行模擬，在人定勝天路段 7 處斷面外海設置離岸潛堤，潛堤堤長設定為 50m，堤寬為 10m，堤頂高程為平均潮位-0.5m。模式模擬 0m 和 1m 兩種潮位條件，並區分為 A、B 和無潛堤等 3 潛堤位置的配置，模擬的情境如表 2-16。透過向西方向的最大壓力來分析探討不同潛堤配置對 7 處斷面海岸的壓力降低效果。模式地形如圖 2.80，水平網格解析度為 5m，而模擬的時間步長則隨時間調整變動，整個模擬時間為 20 分鐘。東邊界的入射波條件為示性波高 5m，尖峰週期 15 秒。其中潛堤堤寬為 10m 且堤頂高程為平均潮位-0.5m。圖 2.80 和 2.81 的黑色長條區域各為 7 個潛堤的 A 和 B 兩種配置位置，圖中的黑線為間隔 10m 的等深線，另外標示黃、青和紫紅色線各為 7、4 和 3m 等深線。綠三角由北至南各為台 11 線 61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、

61K+830、62K+220 的里程位置。潛堤配置 A 和 B 的主要差別在於配置 B 將 61K+380 和 61K+580 的外海潛堤位置稍為南移，並將 61K+500、61K+700、61K+830、62K+220 各處道路外海潛堤則往岸邊移動一段距離。

表 2-16 XBeach 潛堤配置模擬條件

情境編號	潮位	潛堤配置
1	0 m	無潛堤
2	0 m	A
3	0 m	B
4	1 m	無潛堤
5	1 m	A
6	1 m	B

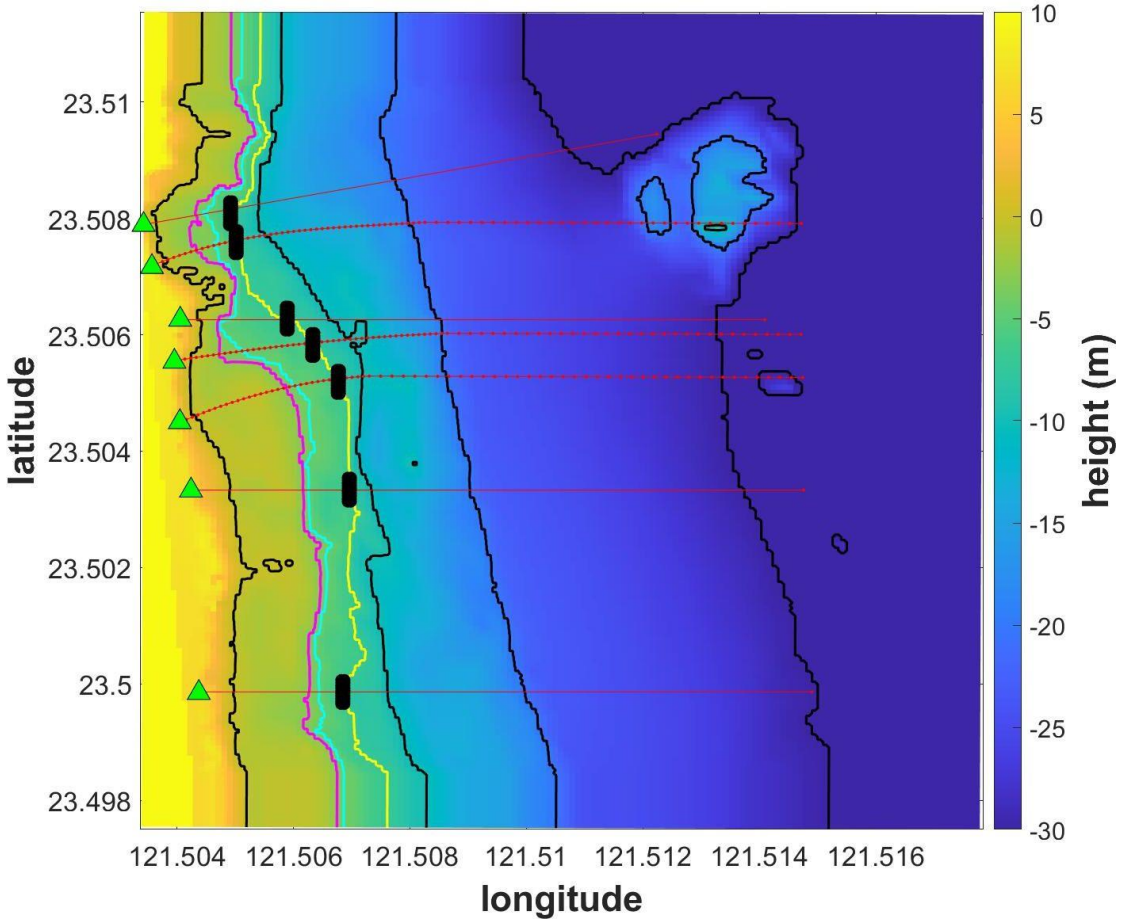


圖 2.80 模式地形和潛堤配置 A

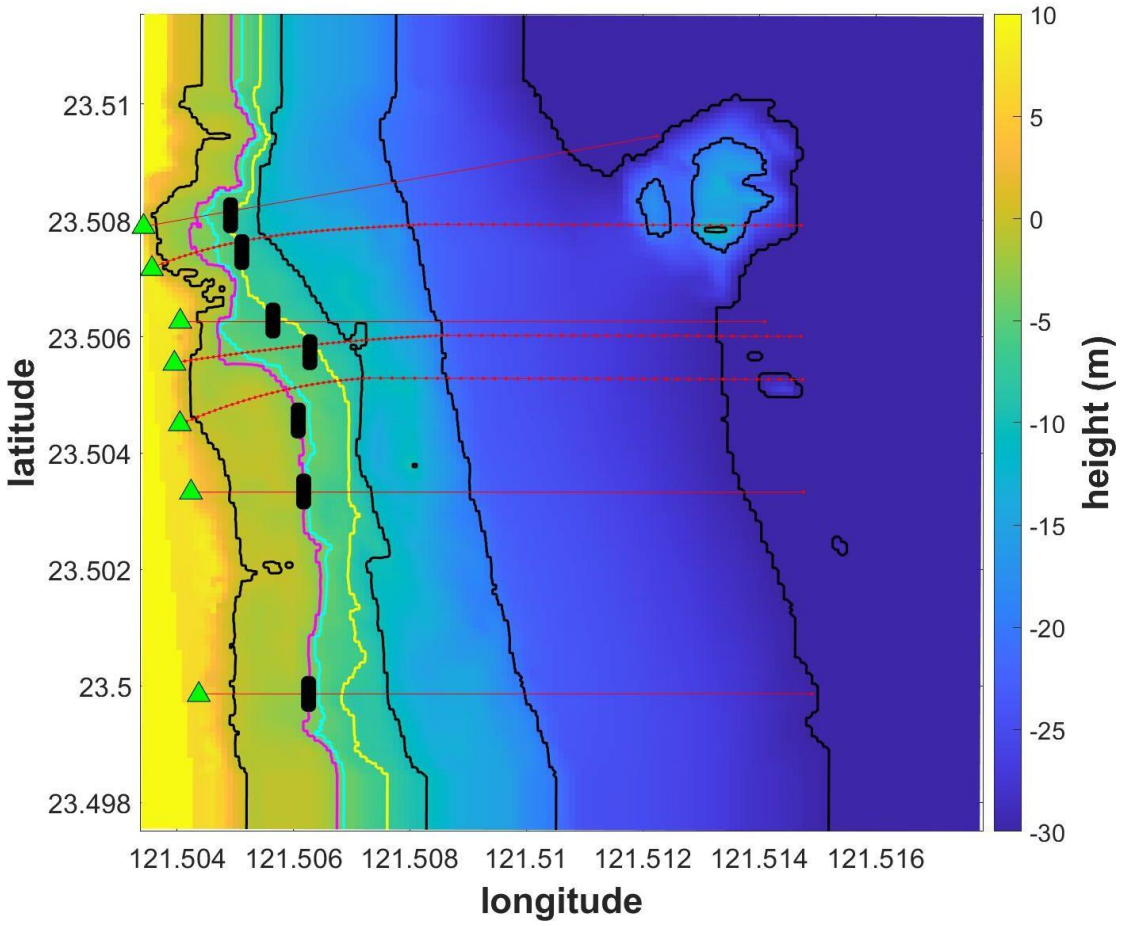


圖 2.81 模式地形和潛堤配置 B

為了解人定勝天路段 7 處斷面的海岸在表 2-15 的 6 種情境下承受的壓力，在此取出模擬期間 7 處斷面的向西最大壓力值進行比較評估。圖 2.82 至圖 2.88 各為在 6 種條件下，61K+300 到 62K+220 等 7 處斷面的海岸附近的向西最大壓力值，圖中的綠三角為各里程位置。大致而言，7 處斷面在同樣的潛堤條件下，潮位 1m 造成的最大壓力皆比潮位 0m 大。而在相同潮位條件下，61K+300、61K+380、61K+500 和 61K+580 等 4 處道路位置其無潛堤配置所造成的最大壓力比潛堤配置 A 和配置 B 大，但其餘 3 處的差異不明顯。

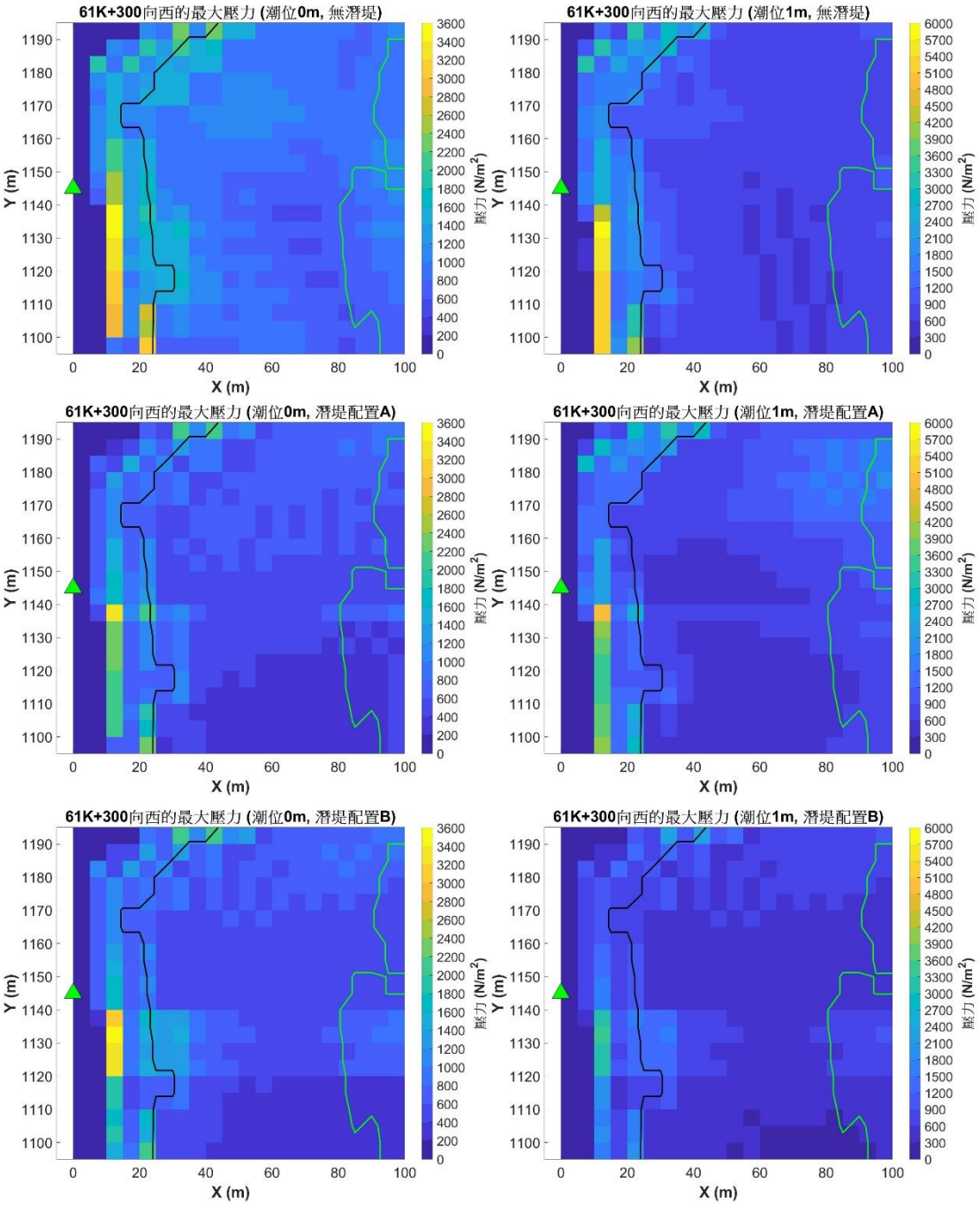


圖 2.82 61K+300 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力

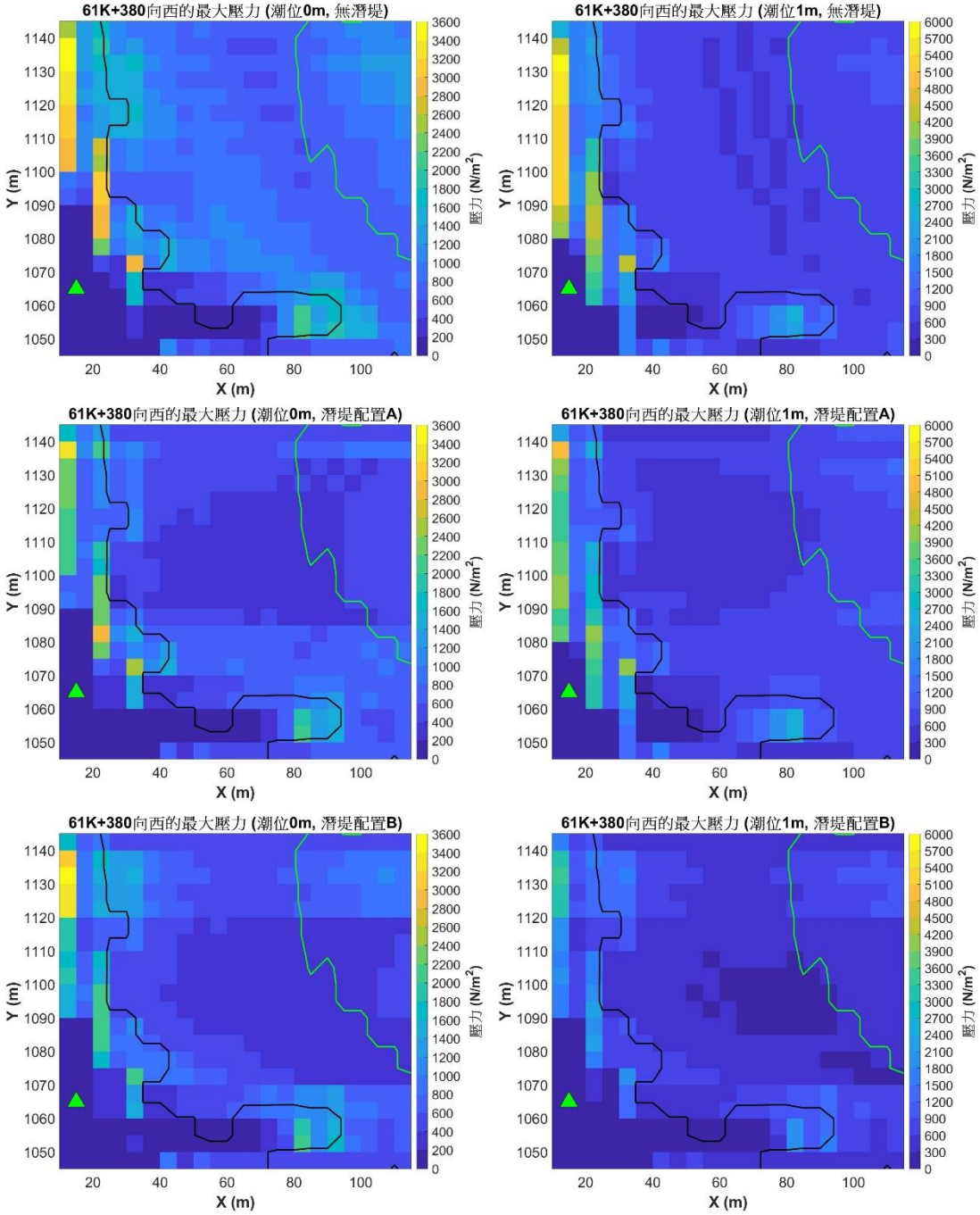


圖 2.83 61K+380 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力

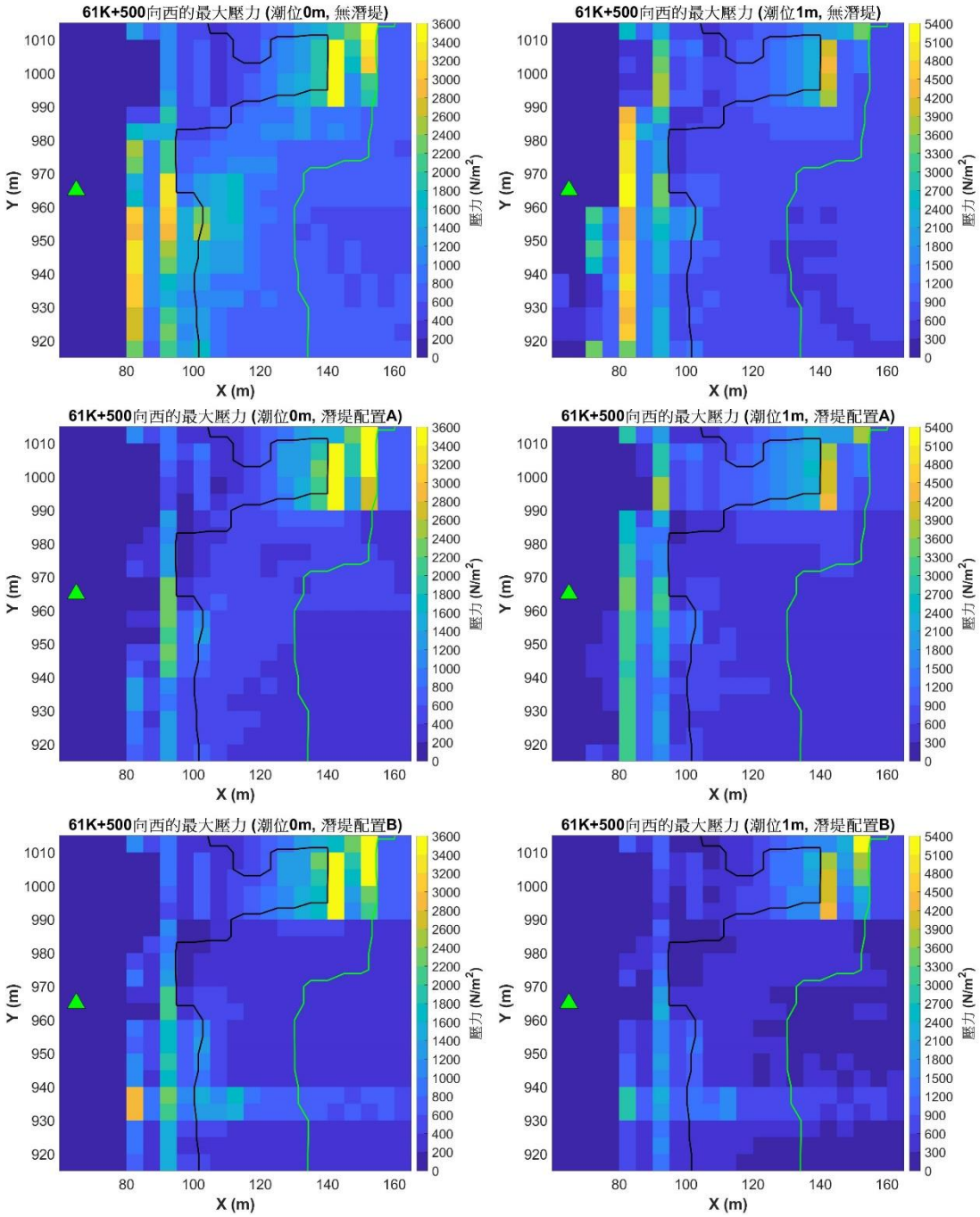


圖 2.84 61K+500 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力

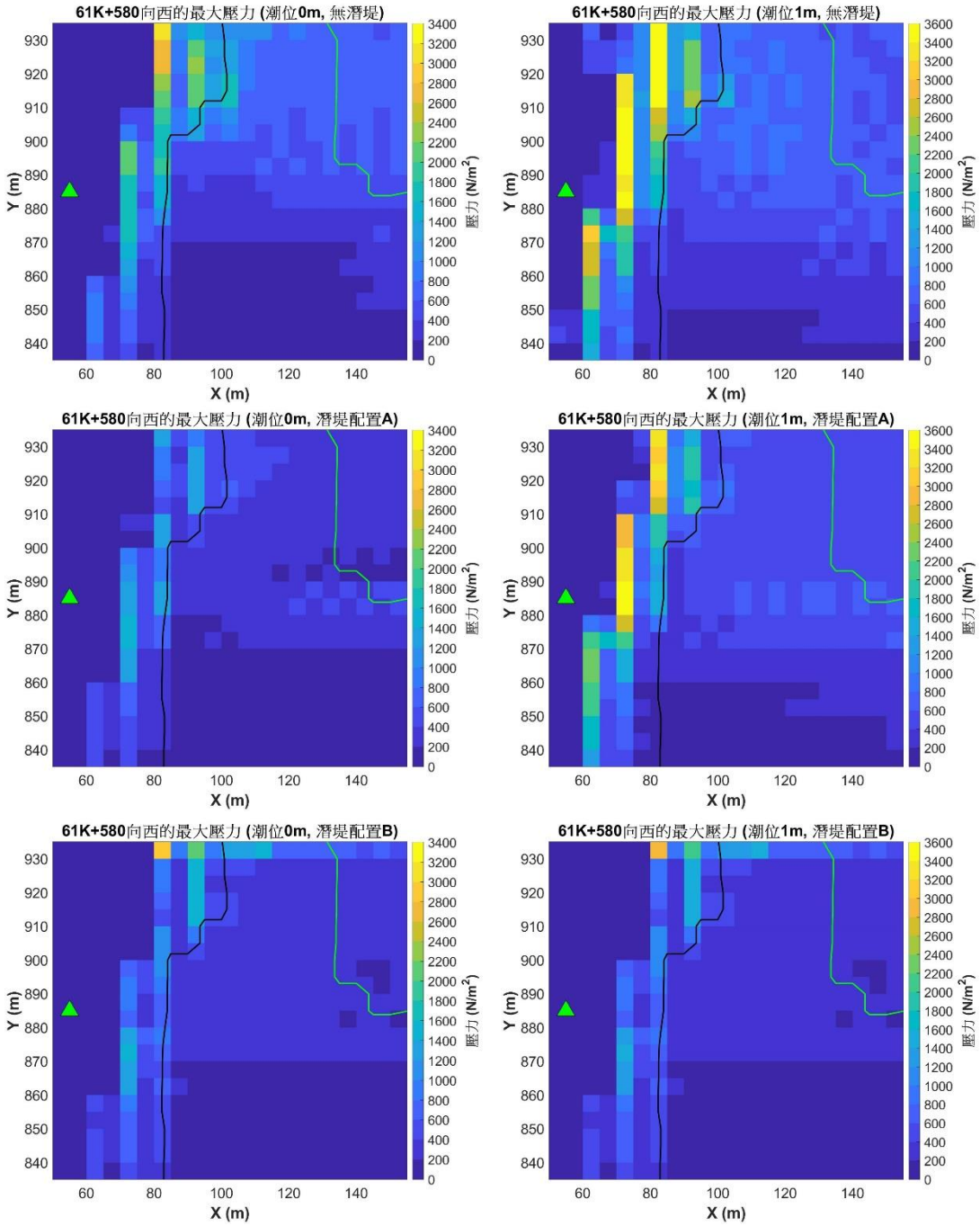


圖 2.85 61K+580 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力

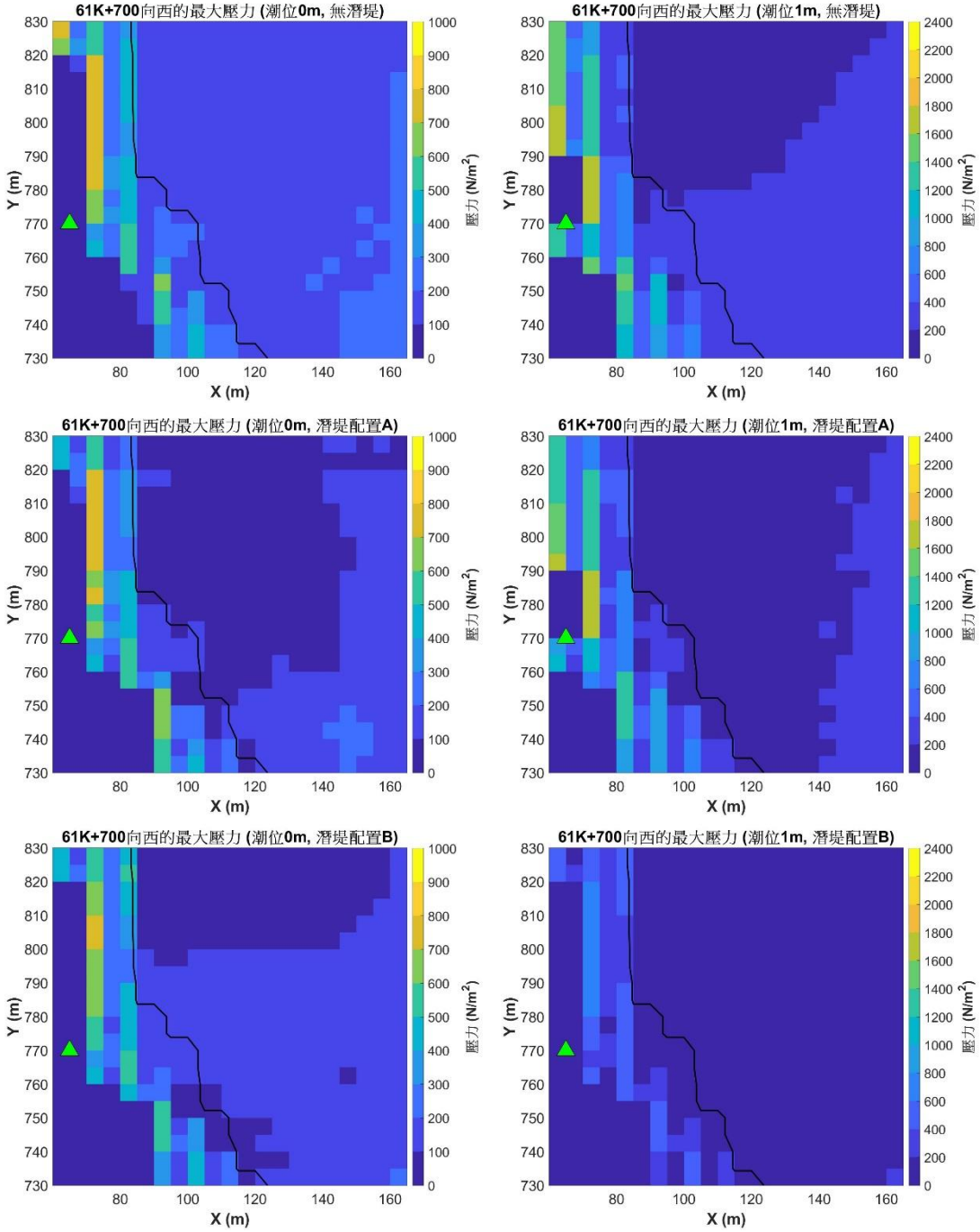


圖 2.86 61K+700 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力

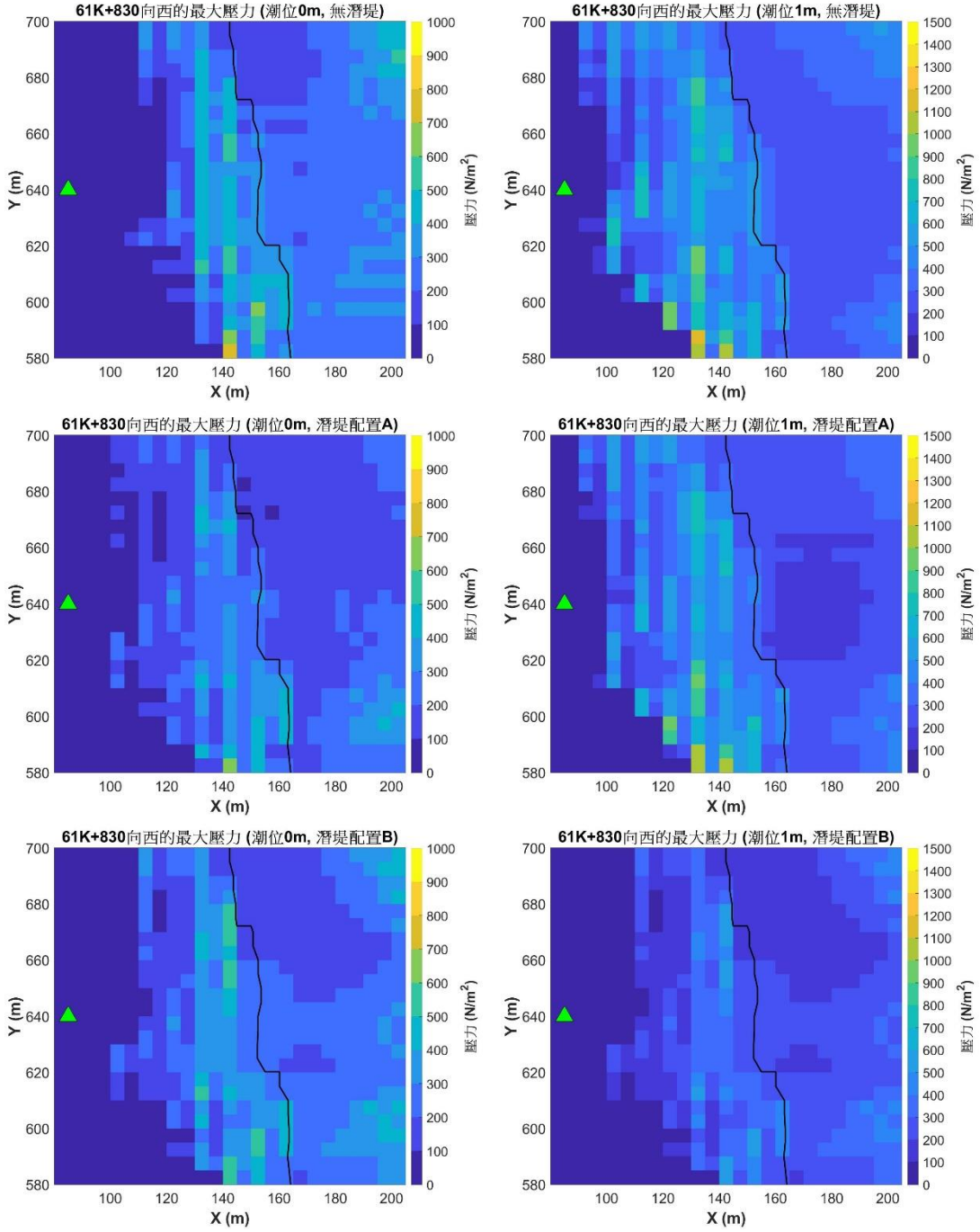


圖 2.87 61K+830 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力

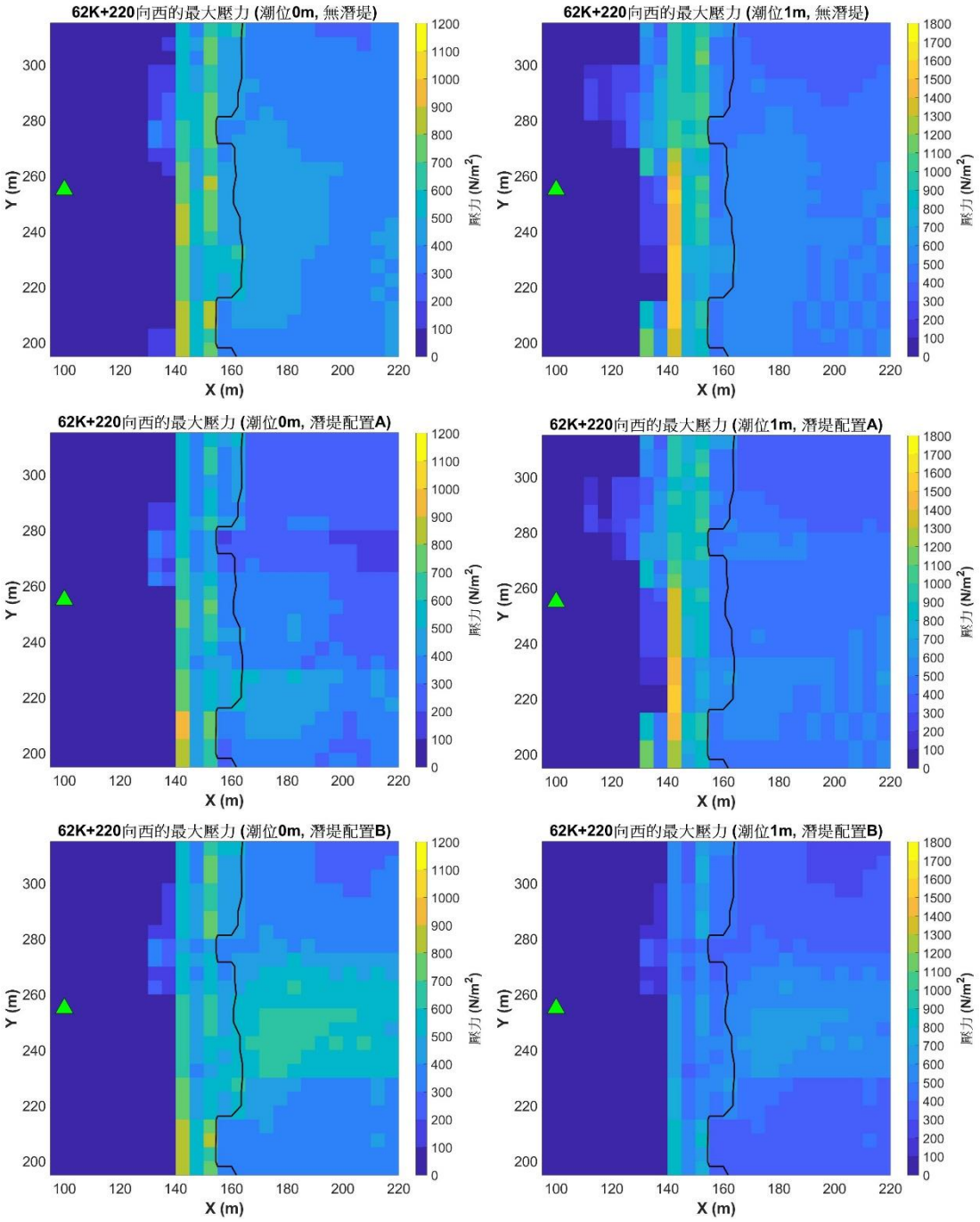


圖 2.88 62K+220 在潮位 0(左)和 1m(右)時，無潛堤(上)、配置 A(中)和配置 B(下)的向西最大壓力

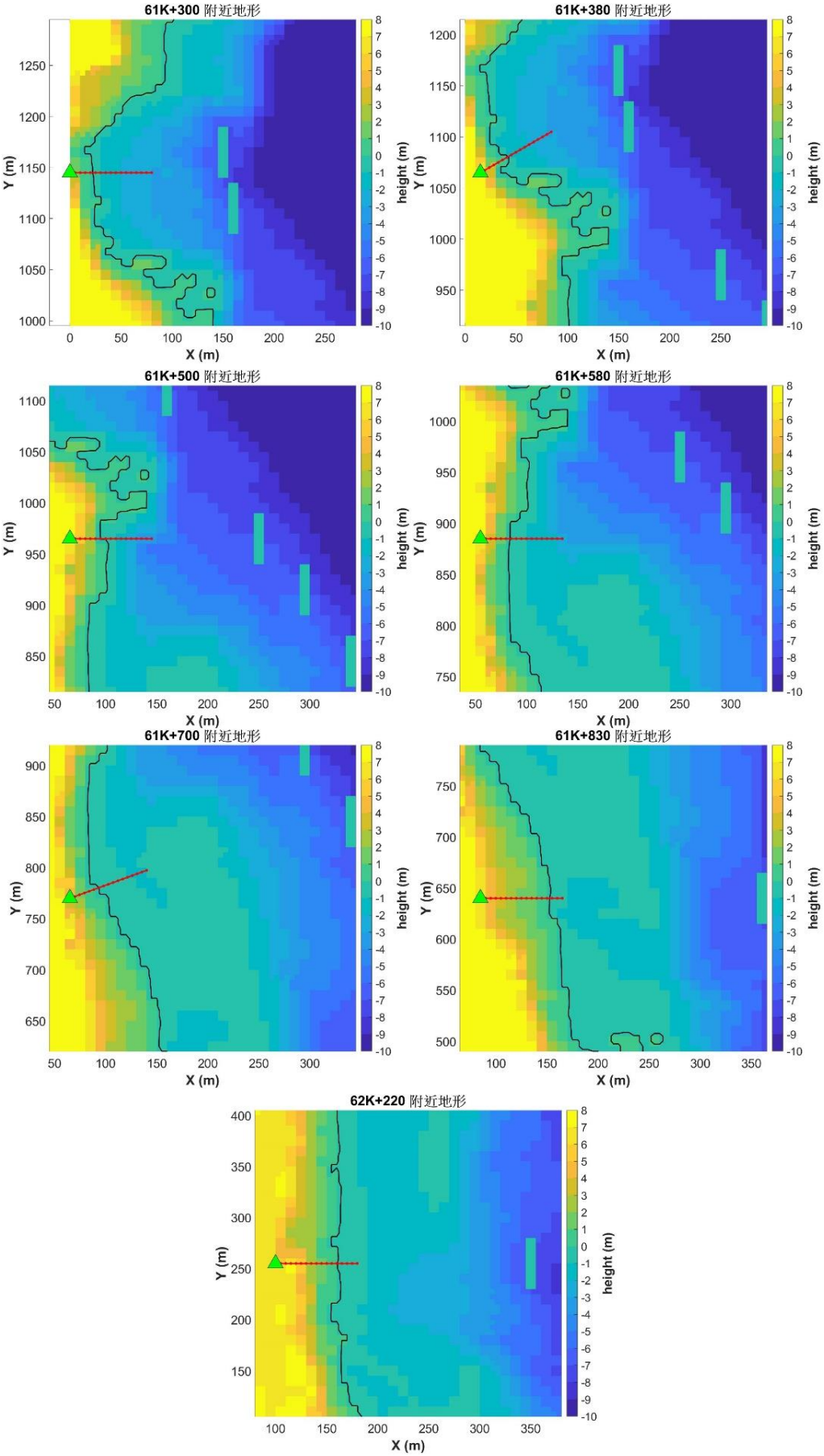


圖 2.89 模式人定勝天路段 7 處斷面附近的地形高程

為了易於比較 3 種潛堤配置條件對 7 處斷面的向西最大壓力值，在此以相同潮位條件下進行比較。各以 7 處斷面為起點沿著離岸方向取其地形切線，再比較向西方向的最大壓力差別。圖 2.89 為 7 處斷面附近的地形，綠三角為各里程位置，而紅線為地形切線。圖 2.90 和 2.91 的上圖各為 61K+300 在潮位 0m 和 1m 條件下沿切線方向所得的向西最大壓力，下圖為切線方向的地形。其結果顯示不管在潮位 0m 和 1m 時，潛堤配置 A 和 B 的差異不大，相對於無潛堤的情況，在 X=15 到 80m 均可提供減壓的作用。X=10 和 15m 的海岸處在潮位 0m 時，約下降 400 到 800N/m^2，而在潮位 1m 時，僅約下降 200N/m^2，顯示潛堤設置對於 61K+300 岸邊降低壓力的效果可能會隨潮位的增加而降低。

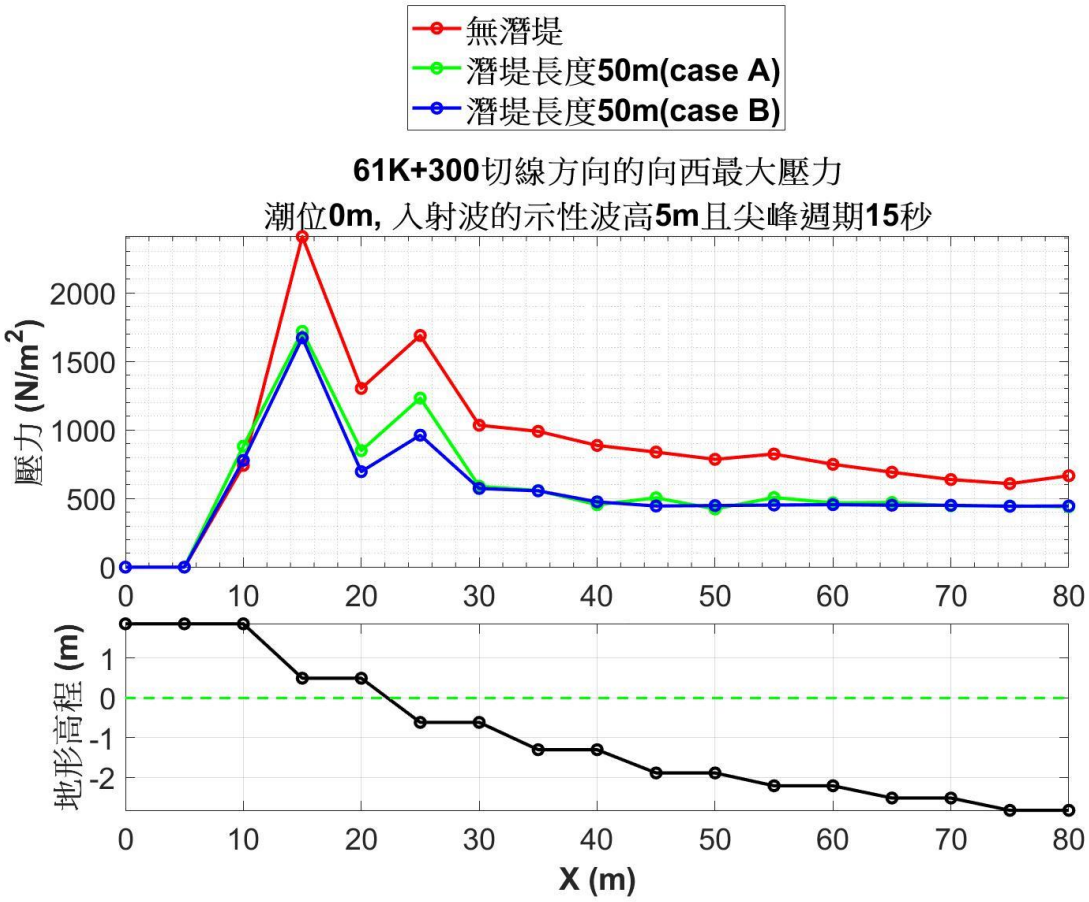


圖 2.90 潮位 0m 時，61K+300 切線方向的最大壓力

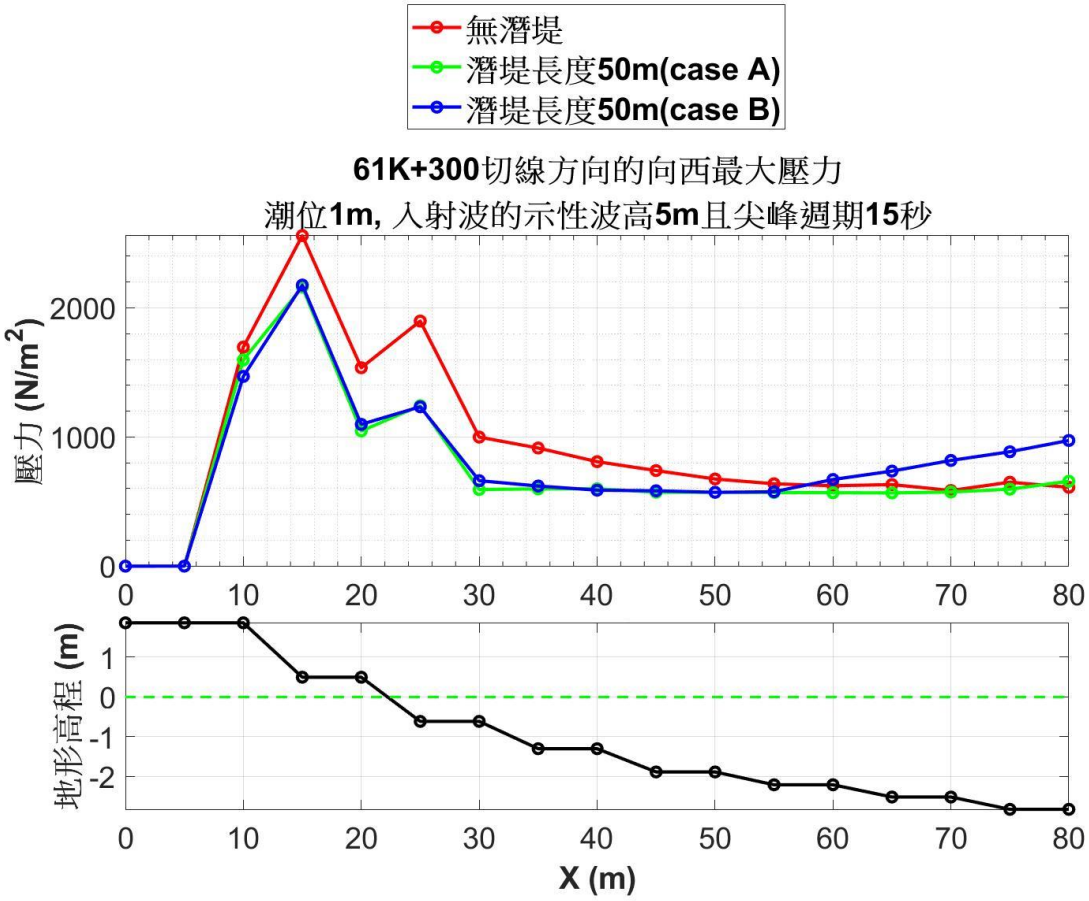


圖 2.91 潮位 1m 時，61K+300 切線方向的最大壓力

圖 2.92 和圖 2.93 的上圖各為 61K+380 在潮位 0m 和 1m 條件下沿切線方向所得的向西最大壓力。其結果顯示在潮位 0m 時，在 X>=20m 的區域相對於無潛堤的情況，潛堤配置 A 和 B 皆能使最大壓力下降，而配置 B 又優於配置 A。但在 X=10 和 15m 處，無潛堤的最大壓力則是稍小於配置 A 和 B。當潮位為 1m 時，在 X>=10m 的區域皆顯示配置 B 的最大壓力值最小，配置 A 次之，而無潛堤則有最大值。61K+380 同樣顯示潛堤配置造成的降壓作用可能會隨潮位的增加而降低。

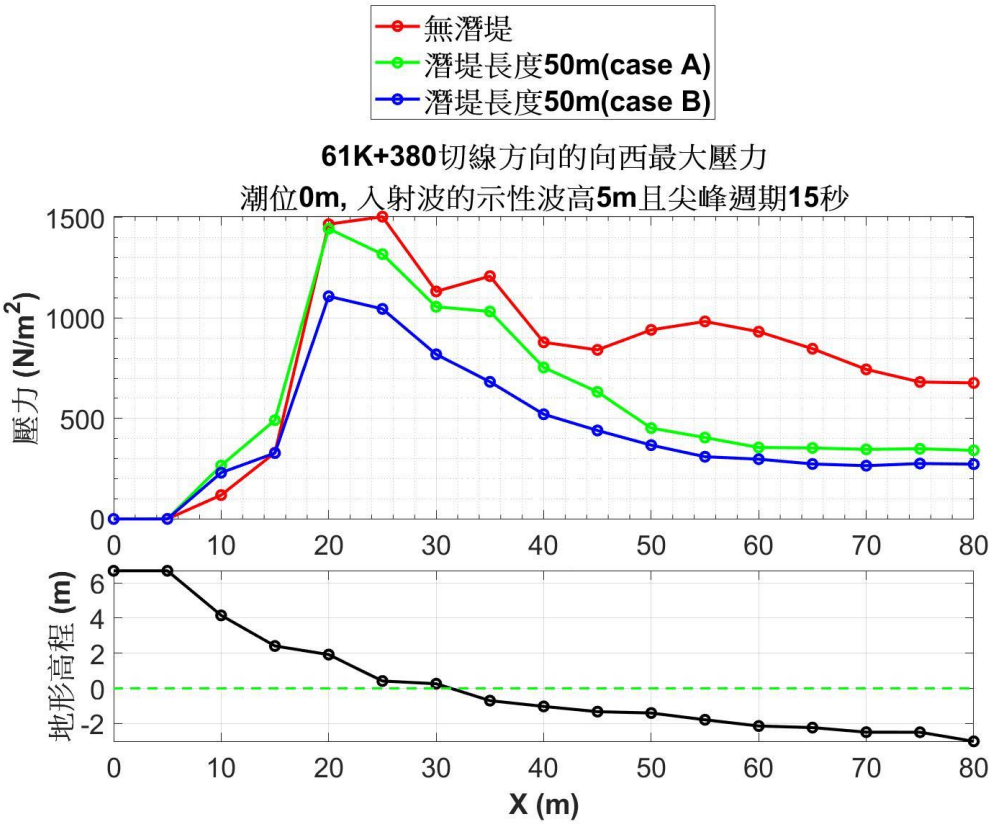


圖 2.92 潮位 0m 時，61K+380 切線方向的最大壓力

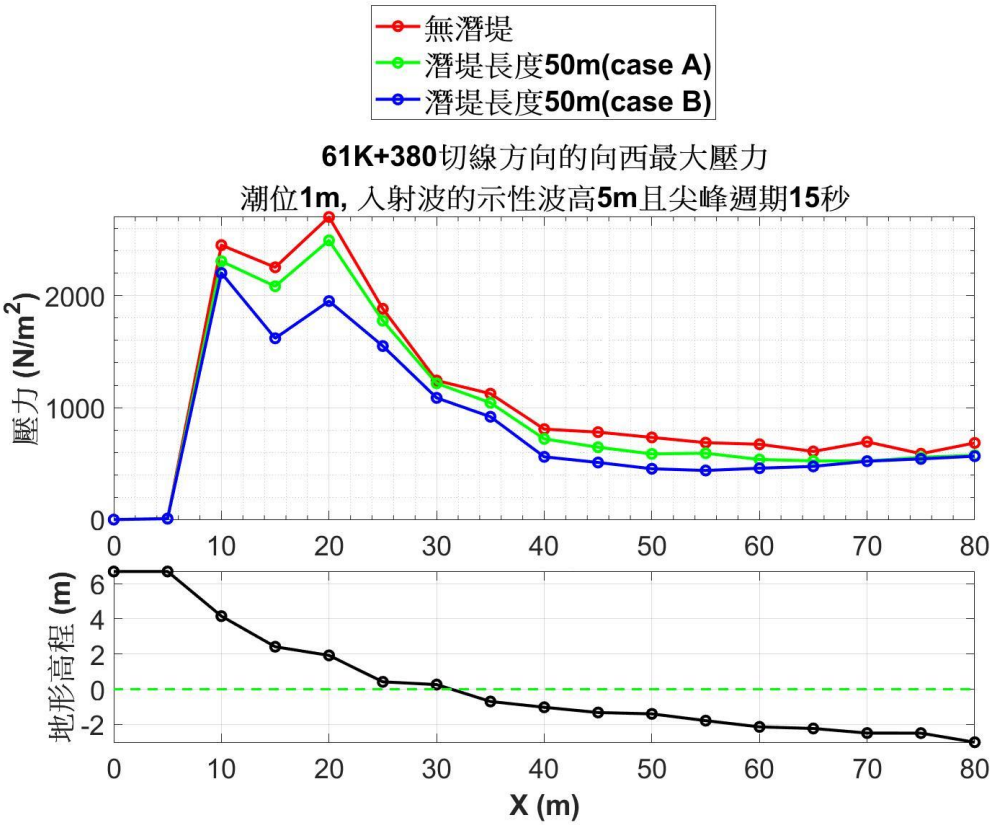


圖 2.93 潮位 1m 時，61K+380 切線方向的最大壓力

圖 2.94 和 2.95 的上圖各為 61K+500 在潮位 0m 和 1m 條件下沿切線方向所得的向西最大壓力。其結果顯示在潮位 0m 時，在 X>=20m 的區域相對於無潛堤的情況，潛堤配置 A 和 B 皆能使最大壓力下降，而配置 A 和 B 的最大壓力值差異不大。當潮位為 1m 時，配置 A 和 B 的最大壓力值接近，相對於無潛堤的情況，僅在 X=20m 處有約 1800N/m^2 的壓力降幅，在 X>=25m 的區域僅有微幅下降，同樣顯示配置潛堤造成的降壓作用可能會隨潮位的增加而降低。

圖 2.96 和圖 2.97 的上圖各為 61K+580 在潮位 0m 和 1m 條件下沿切線方向所得的向西最大壓力。其結果顯示在潮位 0m 時，在 X>=20m 的區域以無潛堤的壓力值最大，潛堤配置 A 次之和潛堤配置 B 最小。當潮位為 1m 時，配置 A 和 B 的最大壓力值接近，相對於無潛堤的情況，在 X=10m 的區域有微幅下降，而配置 B 的壓力值略小於配置 A，另外潛堤配置造成的壓力降幅不如潮位 0m 的情況。

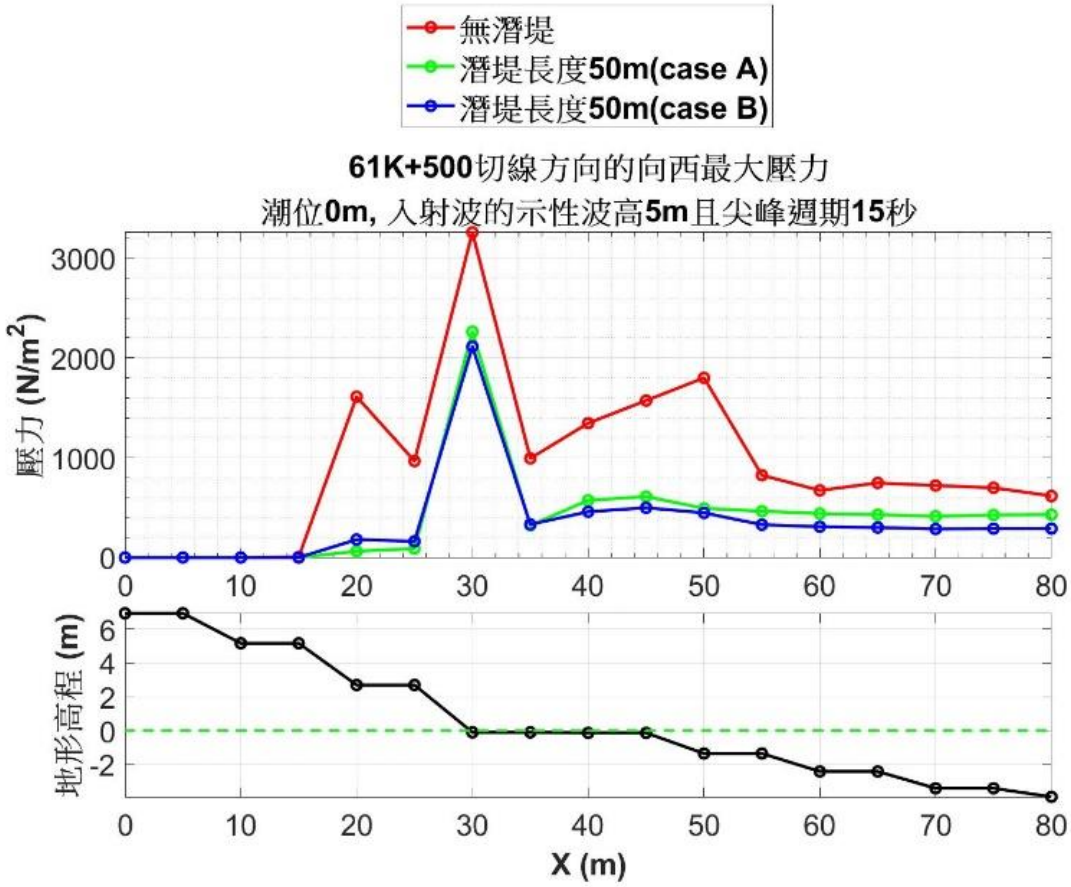


圖 2.94 潮位 0m 時，61K+500 切線方向的最大壓力

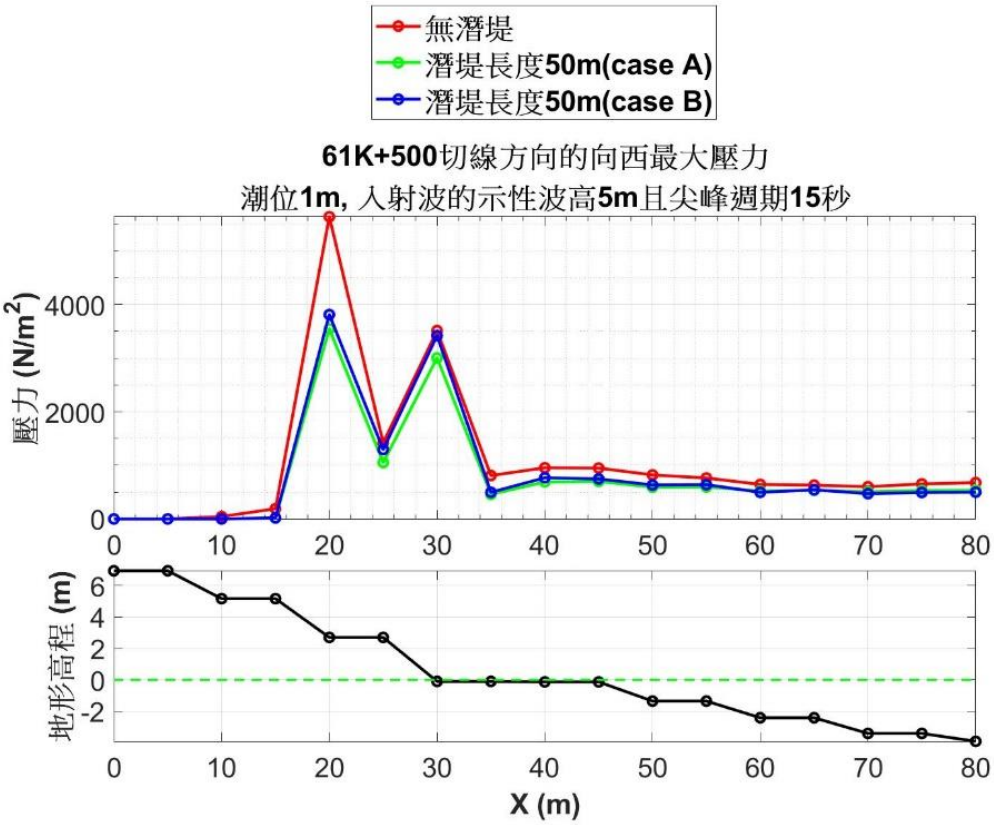


圖 2.95 潮位 1m 時，61K+500 切線方向的最大壓力

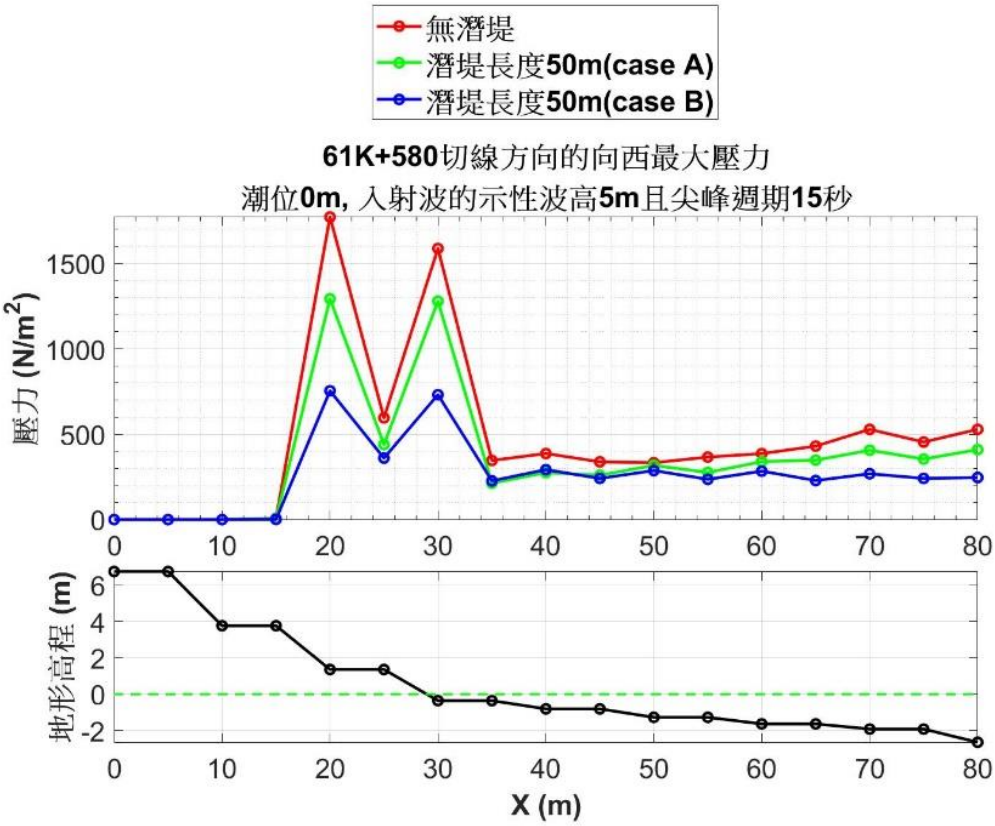


圖 2.96 潮位 0m 時，61K+580 切線方向的最大壓力

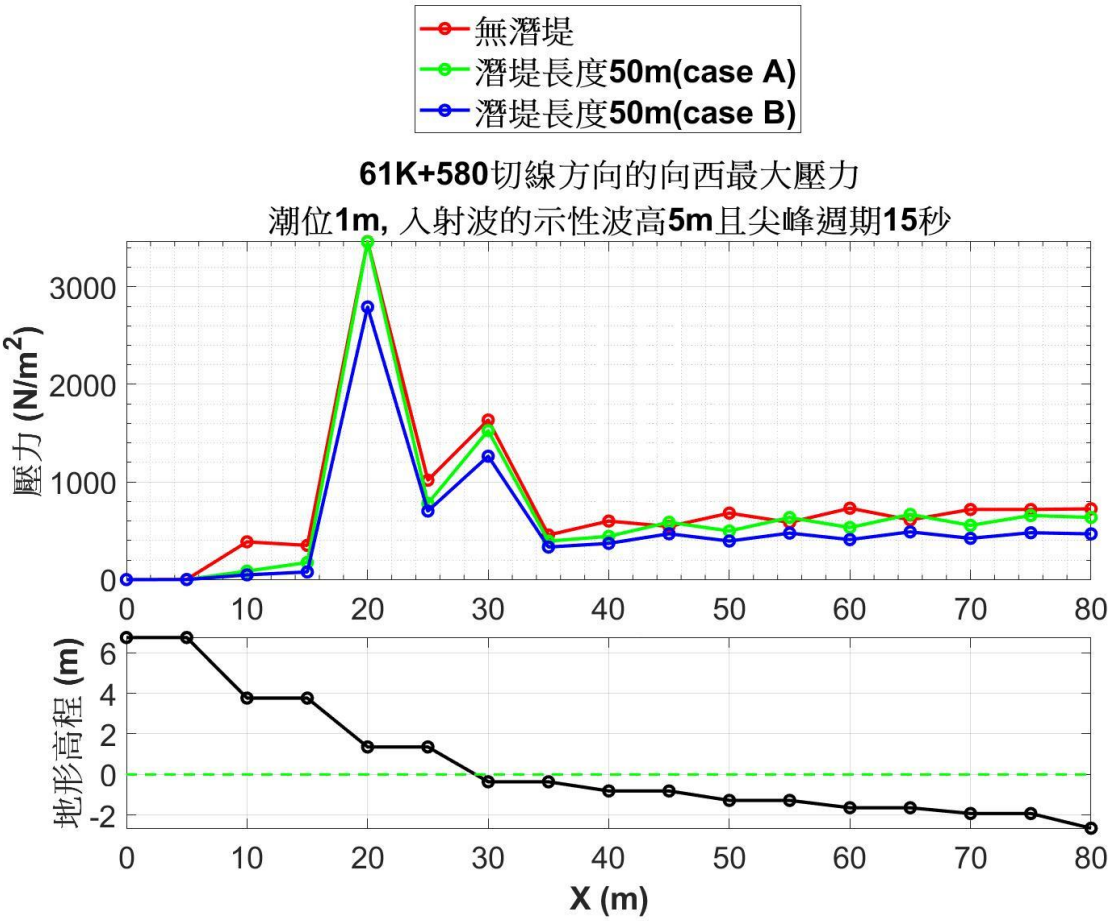


圖 2.97 潮位 1m 時，61K+580 切線方向的最大壓力

圖 2.98 和圖 2.99 的上圖各為 61K+700 在潮位 0m 和 1m 條件下沿切線方向所得的向西最大壓力。其結果顯示在潮位 0m 時，在 X>=25m 的區域以無潛堤的壓力值最大，潛堤配置 B 次之，潛堤配置 A 最小，但在 X=10m 到 20m 之間，無潛堤和配置 A 的壓力值相近，而配置 B 最小。三種潛堤條件的最大壓力皆不超過 500 N/m^2。

當潮位為 1m 時，配置 A 和 B 的最大壓力值接近，相對於無潛堤的情況，僅在 X=0 和 15m 處有較大的降幅，而其他區域三種潛堤條件的壓力值相似。另外 X=0m 為 61K+700 所在處，該處出現壓力值代表道路附近的區域出現溢淹，如圖 2.87 右圖所示。

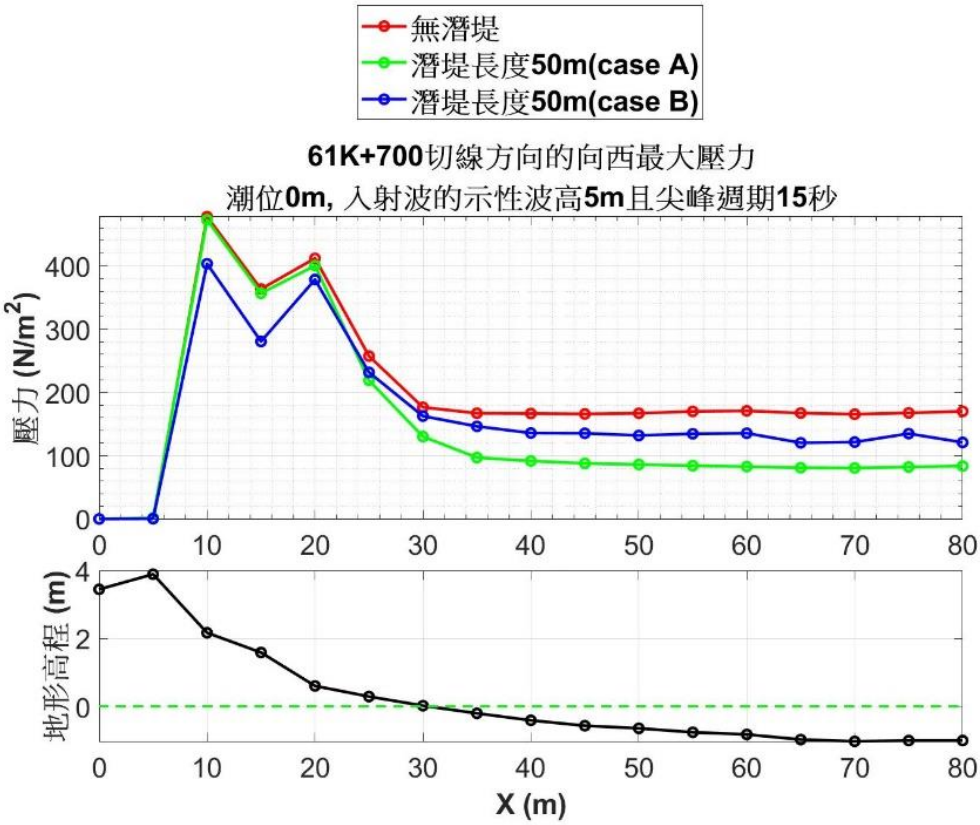


圖 2.98 潮位 0m 時，61K+700 切線方向的最大壓力

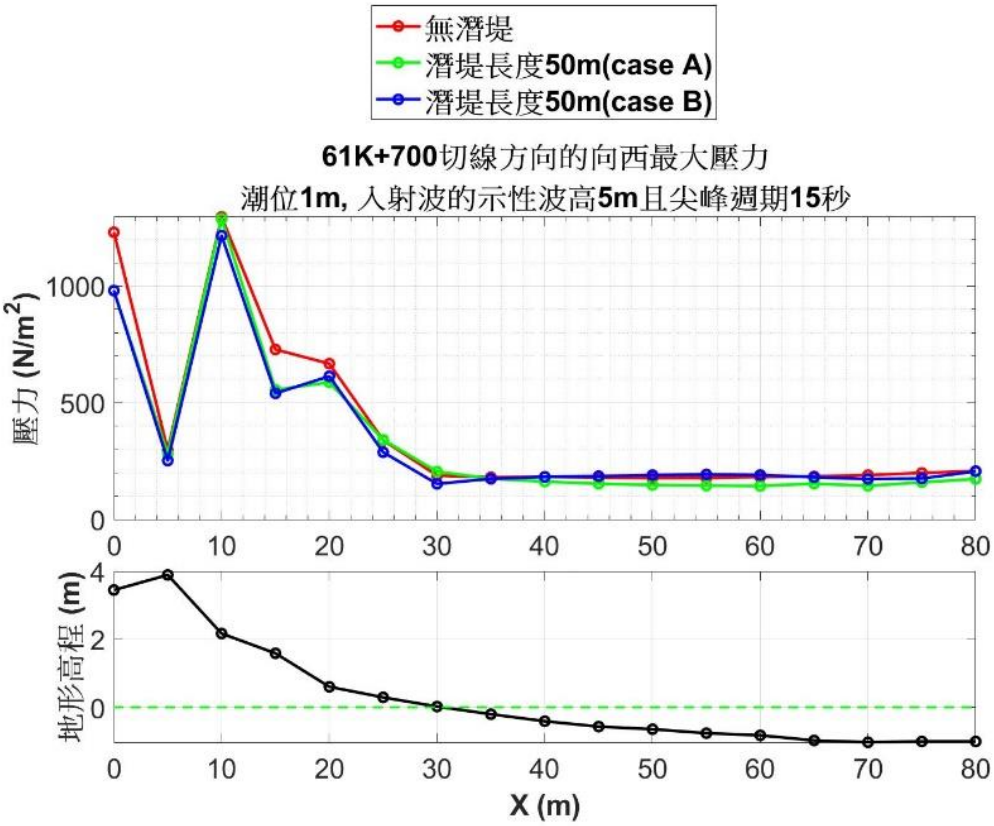


圖 2.99 潮位 1m 時，61K+700 切線方向的最大壓力

圖 2.100 和圖 2.101 的上圖各為 61K+830 在潮位 0m 和 1m 條件下沿切線方向所得的向西最大壓力。其結果顯示在潮位 0m 時，在 X>=50m 的區域大致以無潛堤的壓力值最大，潛堤配置 B 次之和潛堤配置 A 最小，但在 X=20m 到 35m 之間，無潛堤壓力值比配置 A 和 B 小，可能因為該處道路位置離海岸約 60m，切線地形大部分皆在陸地的關係。另外三種潛堤條件的最大壓力皆不超過 500 N/m^2。當潮位為 1m 時，相對於無潛堤的情況，配置 A 和 B 沒有出現較佳的最大壓力降幅，相對於其他 6 處的最大壓力值亦偏小，皆不超過 800 N/m^2。

圖 2.102 和圖 2.103 的上圖各為 62K+220 在潮位 0m 和 1m 條件下沿切線方向所得的向西最大壓力。其結果顯示在潮位 0m 時，在近岸 X=45m 到 55m 的區域以無潛堤的壓力值最大，潛堤配置 A 次之，潛堤配置 B 最小。而在 X>=60m 的靠海區域，壓力值以配置 B 最大，無潛堤次之，配置 A 最小。當潮位為 1m 時，在 X>=35m 區域以無潛堤的壓力值最大、配置 A 次之，而配置 B 最小。

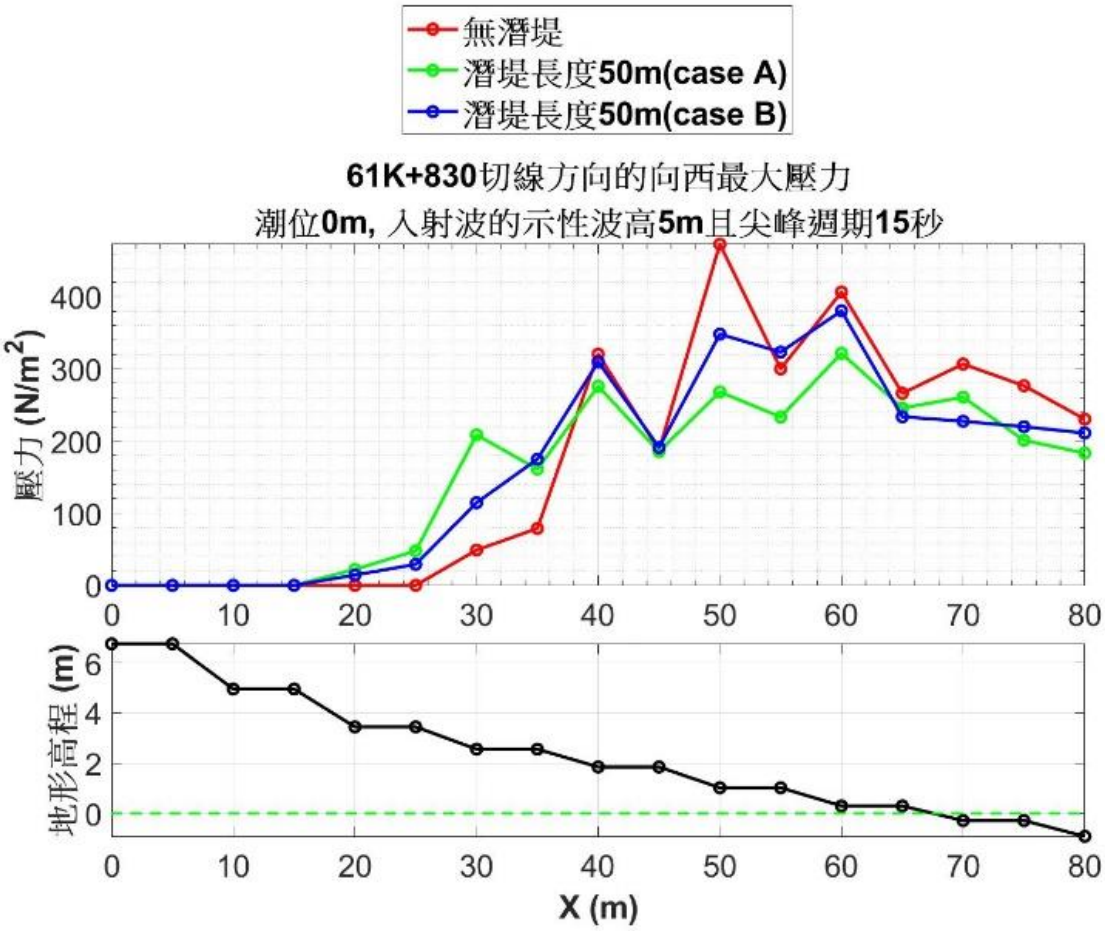


圖 2.100 潮位 0m 時，61K+830 切線方向的最大壓力

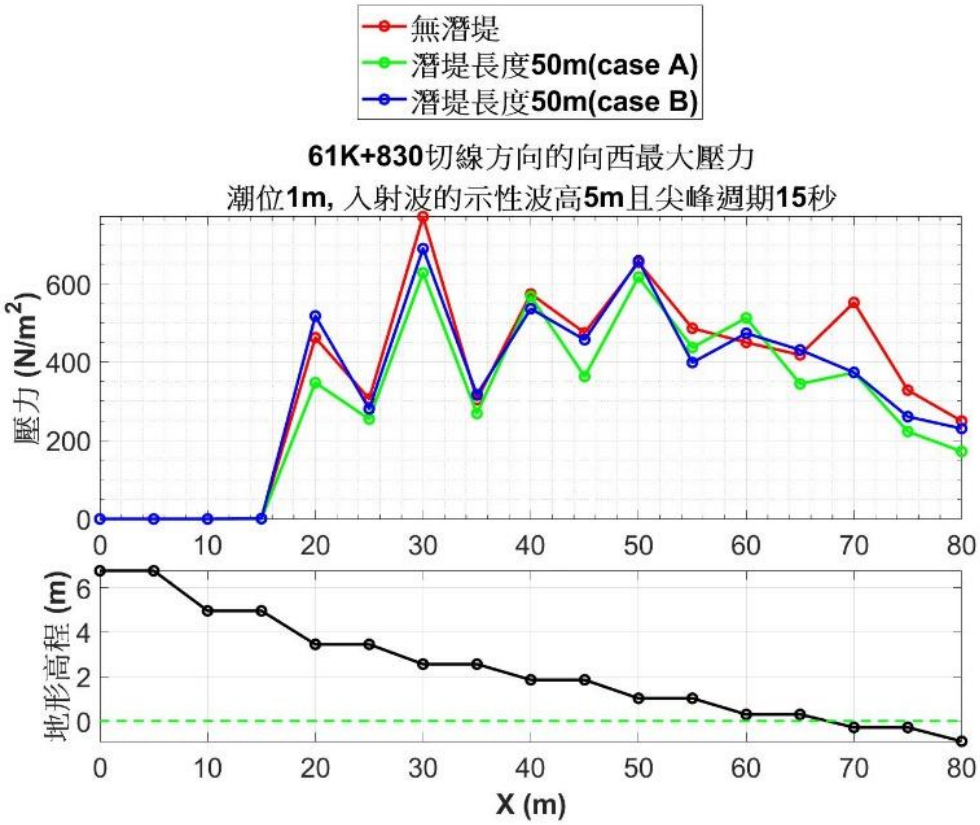


圖 2.101 潮位 1m 時，61K+830 切線方向的最大壓力

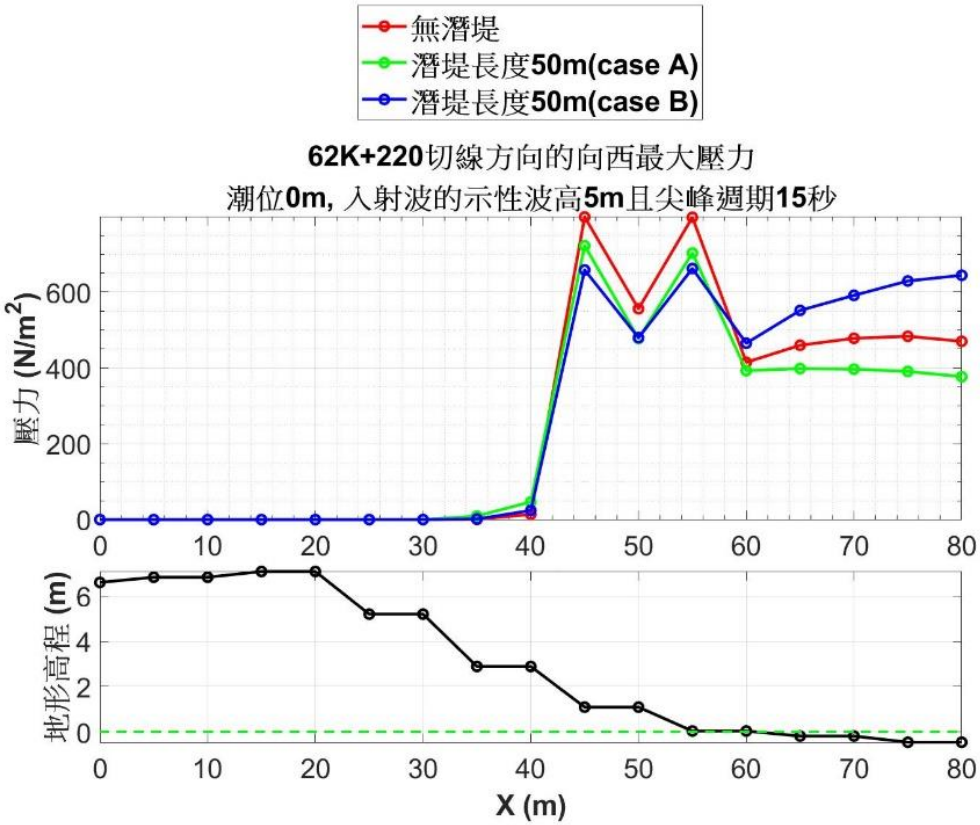


圖 2.102 潮位 0m 時，62K+220 切線方向的最大壓力

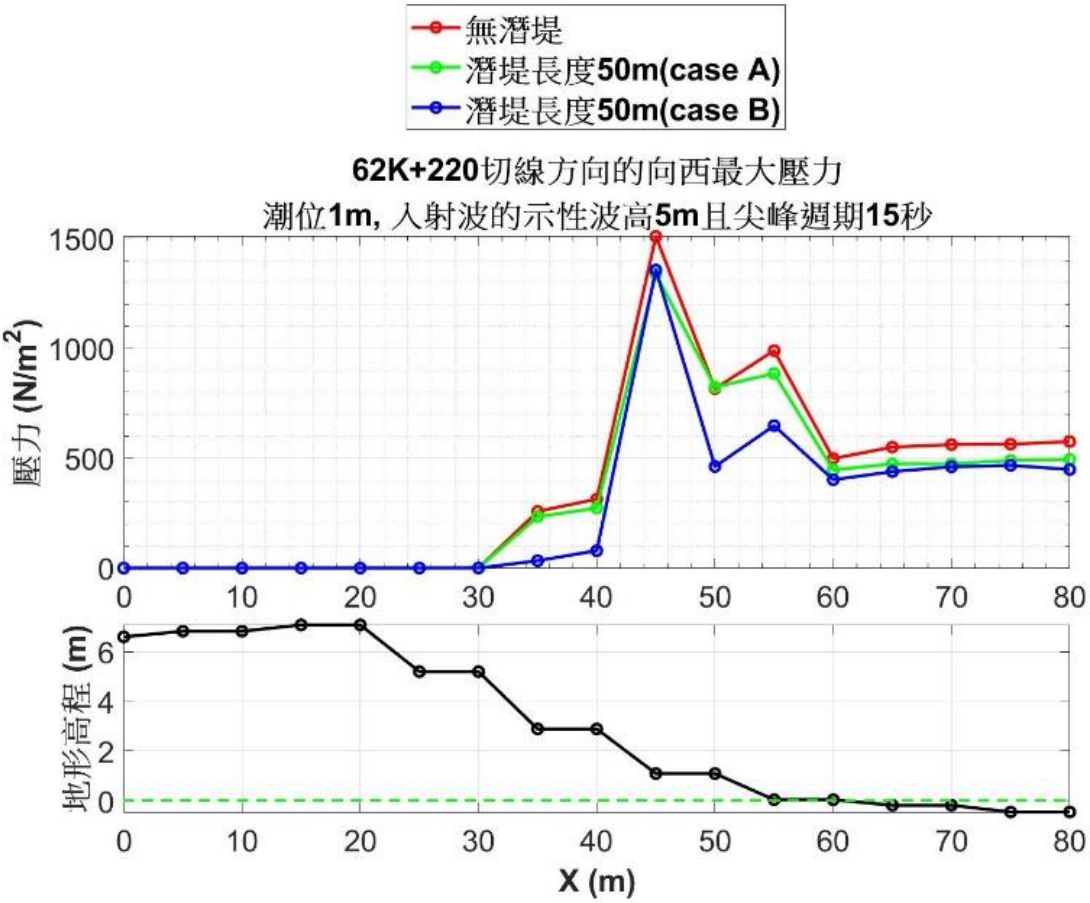


圖 2.103 潮位 1m 時，62K+220 切線方向的最大壓力

綜合以上人定勝天 7 處斷面對應 6 種模擬條件的結果，除了 61K+830 之外，相對於無潛堤和潛堤配置 A，大致以潛堤配置 B 對於各站海岸的最大壓力值有較大的降幅，可作為人定勝天路段海岸防護的潛堤配置選擇。另外 61K+300、61K+380、61K+500 和 61K+580 等 4 處斷面，相對於無潛堤的情況，使用潛堤配置 A 和 B 在潮位 1m 時的最大壓力降幅皆比潮位 0m 小，表示此 4 處斷面外海設置潛堤的減壓能力可能隨潮位增加而降低。

第三章 花蓮海岸公路浪襲預警系統的精進

對於交通部運輸研究所 109 年的「花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)」計畫所建立的花蓮海岸公路浪襲預警系統為台 11 線人定勝天路段的 61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830 和 62K+220 等 7 處里程提供了道路浪襲的燈號預警，位置如圖 2.9。本研究利用 2021 年 4 月到 9 月的觀測資料搭配資料同化方法對示性波高進行同化修正來得到初步的評估，藉以提高目前浪襲預警系統的示性波高預報輸入值的準確度。

3.1 研究方法

本研究的資料同化方式是參考歐等人(2004)使用的最佳內插法。該方法是基於 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：

$$H_i^A = H_i^P + \sum_{j=1}^{N_{obs}} W_{ij}\left(H_j^O - H_j^p\right) \tag{3.1}$$

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$\boldsymbol{H^O}$、模式的起始猜測值$\boldsymbol{H^P}$ 及分析值 $\boldsymbol{H^A}$ 與真值 $\boldsymbol{H^T}$ 之間含有誤差$\boldsymbol{\varepsilon}$ 的存在，如下表示：

$$\boldsymbol{\varepsilon^O = H^O - H^T} \tag{3.2a}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon^P = H^P - H^T} \tag{3.2b}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon^A = H^A - H^T} \tag{3.2c}$$

其中 $\boldsymbol{\varepsilon^O}$ 、$\boldsymbol{\varepsilon^P}$ 及 $\boldsymbol{\varepsilon^A}$ 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(3.2)式代入第(3.1)式，可得下式：

$$\boldsymbol{\varepsilon^A} = \boldsymbol{\varepsilon^P} + \sum_{j=1}^{N_{obs}} \boldsymbol{W_{ij}}\left(\boldsymbol{\varepsilon_j^o} - \boldsymbol{\varepsilon_j^P}\right) \tag{3.3}$$

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 Wij ，並定義$\boldsymbol{P_{kj}} = \langle \boldsymbol{\varepsilon_k^P \varepsilon_j^P} \rangle$為起始猜測值的均方誤差矩陣，$\boldsymbol{O_{kj}} = \langle \boldsymbol{\varepsilon_k^o \varepsilon_j^o} \rangle$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。

$$\sum_{j=1}^{N_{obs}} \boldsymbol{W_{ij}}\left(\boldsymbol{P_{kj}} + \boldsymbol{O_{kj}}\right) = \boldsymbol{P_{ik}}，\boldsymbol{k} = \boldsymbol{1, 2, 3 \ldots N_{obs}} \tag{3.4}$$

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

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{M_{11}} & \cdots & \boldsymbol{M_{1j}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \boldsymbol{M_{k1}} & \cdots & \boldsymbol{M_{kj}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{W_{1i}} \\ \vdots \\ \boldsymbol{W_{ji}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{P_{1i}} \\ \vdots \\ \boldsymbol{P_{ki}} \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

由第 (3.5) 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$\boldsymbol{P_{kj}}$和$\boldsymbol{O_{kj}}$計算方式，其表示如下：

$$\boldsymbol{P_{kj}} = \boldsymbol{exp}\left(-\frac{\boldsymbol{\gamma_{kj}}}{\boldsymbol{L_{max}}}\right) \tag{3.6a}$$

$$\boldsymbol{O_{kj}} = \boldsymbol{\delta_{kj}}\left(\frac{\left(\boldsymbol{\varepsilon_k^o}\right)^2}{\left(\boldsymbol{\varepsilon_p^o}\right)^2}\right) = \boldsymbol{\delta_{kj} R_k} \tag{3.6b}$$

其中 $\boldsymbol{\gamma_{kj}}$ 為 k、j 二測站的距離，$\boldsymbol{L_{max}}$為校正長度 (correlation length)，即把$\boldsymbol{P_{kj}}$視為水平距離的空間函數。而$\boldsymbol{R}$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$\boldsymbol{R_1}$、$\boldsymbol{R_2} \ldots \boldsymbol{R_k}$的值皆為 1，則可將第(3.5)式改寫如下：

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{P_{11}} + 1 & \cdots & \boldsymbol{M_{1j}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \boldsymbol{P_{k1}} & \cdots & \boldsymbol{P_{kj}} + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{W_{1i}} \\ \vdots \\ \boldsymbol{W_{ji}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{P_{1i}} \\ \vdots \\ \boldsymbol{P_{ki}} \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

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(3.8)式做預報修正，可得預報修正值H_k^{pc}如下：

$$H_k^{pc} = \frac{H_{now}^A}{H_{now}^p} * H_k^p \tag{3.8}$$

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。

3.2 資料同化與預報修正的流程

109 年建立的花蓮海岸公路浪襲預警系統其輸出預警資訊的運作流程如圖 3.1。為提高系統預報的準確性，本研究加入對 SWAN 模式預報做修正的步驟，其運作的流程更改為圖 3.2。

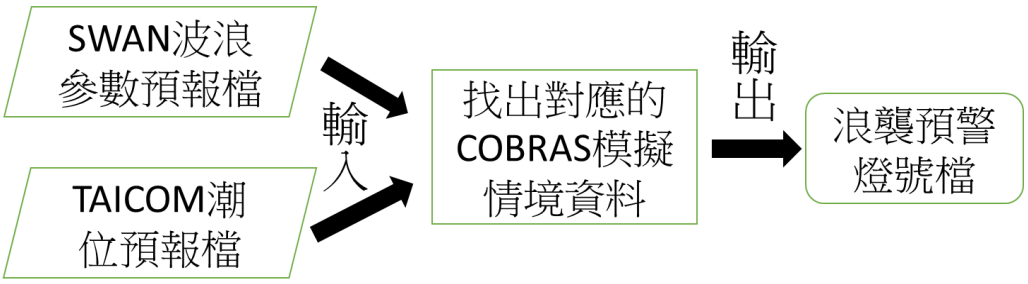


圖 3.1 花蓮海岸公路浪襲預警系統預警資訊修正前的流程

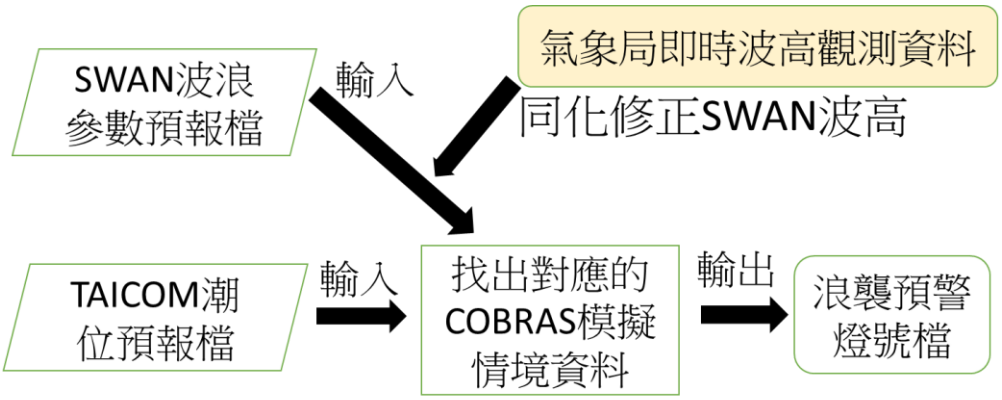


圖 3.2 花蓮海岸公路浪襲預警系統預警資訊修正後的流程

位於人定勝天段外海的石門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 模式在石門、臺東、花蓮和蘇澳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、花

蓮和蘇澳三站浮標的即時示性波高(如圖 3.3)，搭配三站的預報值可對該小時的石門站預報值做同化。

3. 石門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. 石門站對該小時起的 6 小時預報值皆乘上修正係數作為預報修正值，可依欲修正的預報時數而調整。

上述流程 1 的 SWAN 模式四個站經緯度和位置圖如表 3-1 和圖 3.4 所示，而流程 2 提到的氣象局臺東、花蓮和蘇澳等三站的經緯度參照表 3-1。如果氣象局三站中，只有其中有兩站有即時資料，則僅使用兩站做同化與預報修正，以此類推。若三站皆無資料則不做同化修正。

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 (℃)	氣溫 (℃)	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 3.3 氣象局臺東浮標即時觀測網頁

表 3-1 運研所 SWAN 預報點和氣象局觀測站的經緯度

站名	SWAN		CWB	
	經度	緯度	經度	緯度
蘇澳	121.872	24.624	121.8761	24.6256
花蓮	121.632	24.032	121.6325	24.0311
臺東	121.144	22.720	121.145	22.72
石門	120.901	22.317		

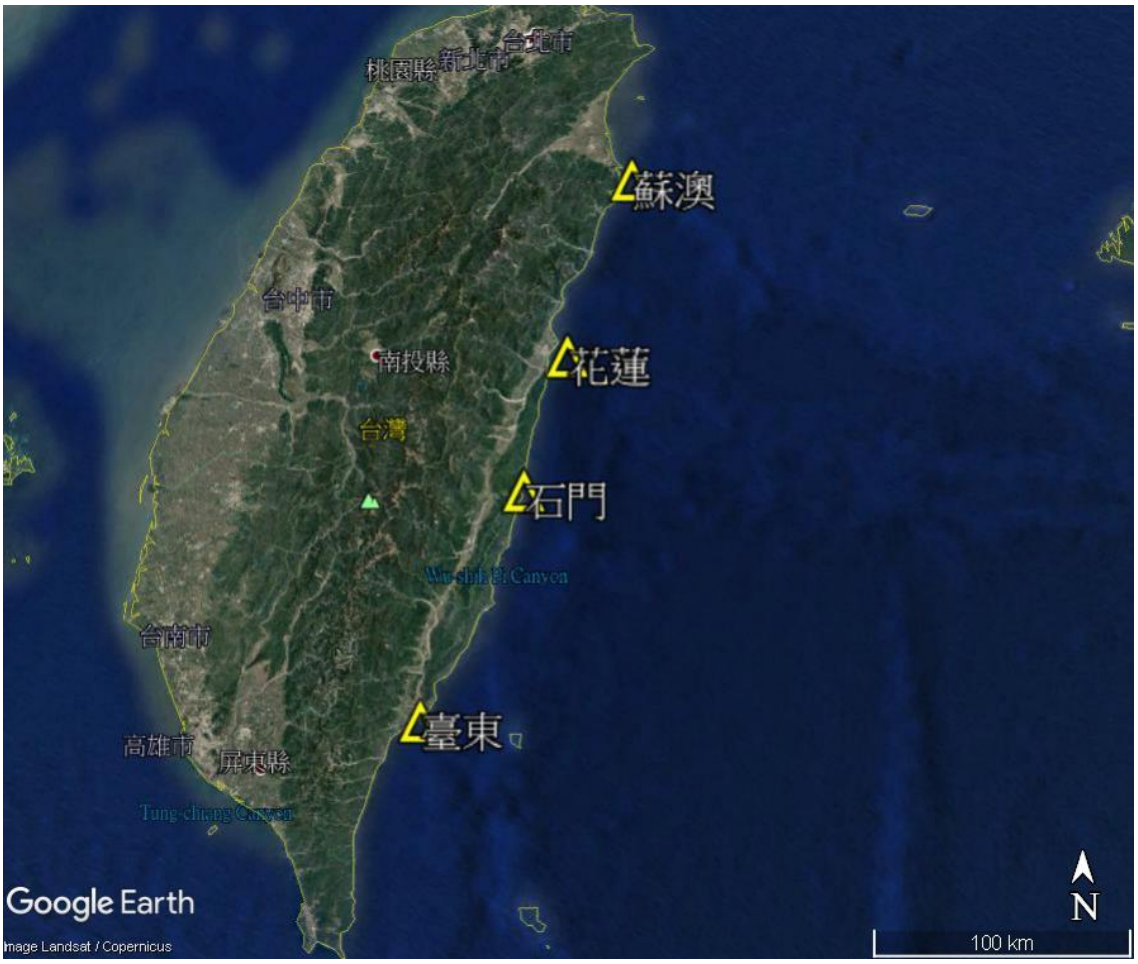


圖 3.4 運研所 SWAN 模式的預報點位置

計畫所使用 SWAN 模式預報資料為港灣技術研究中心建立的小尺度臺灣東南、花蓮以及蘇澳海域風浪模式，如圖 3.5 在台灣東岸的 3 個區域，模式的網格解析為 0.008 度。該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。

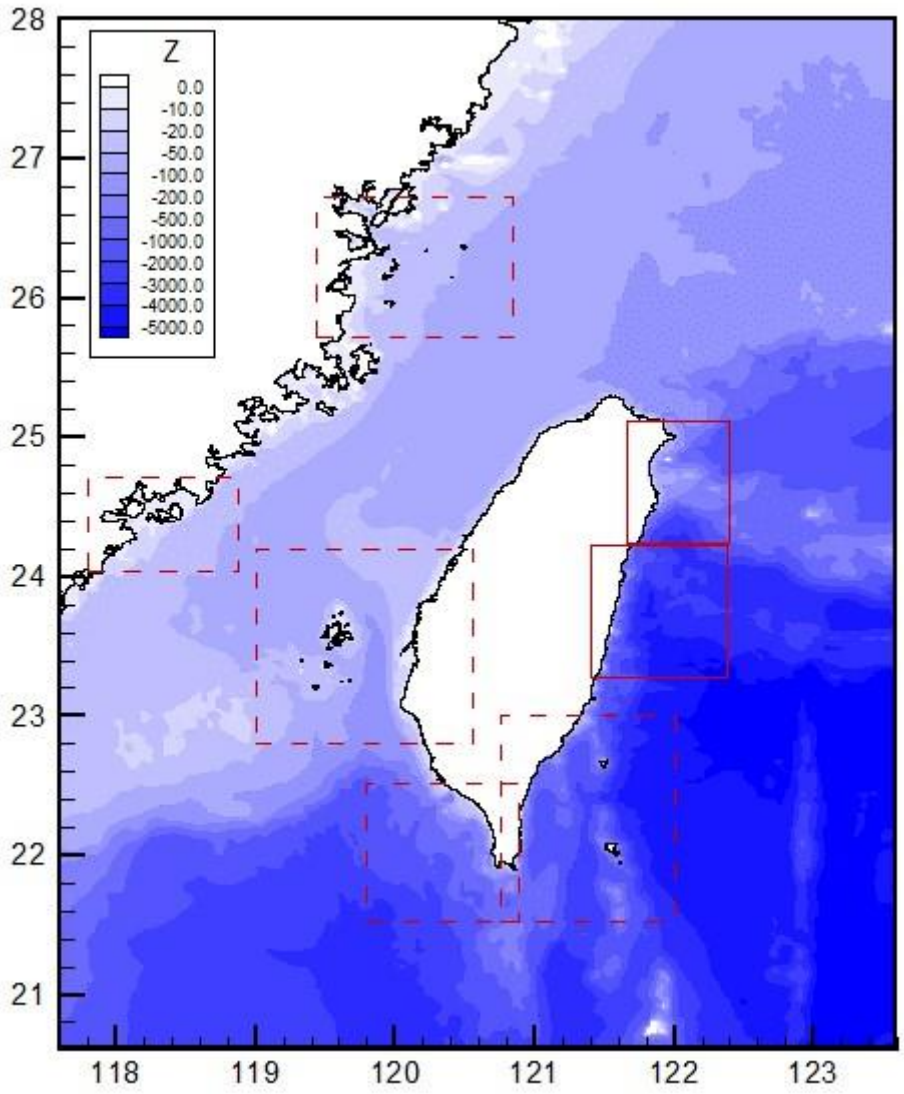


圖 3.5 小尺度臺灣海域風浪模式範圍(劉等人，2020)

3.3 花蓮站的資料同化與預報修正

由於石門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氣象局花蓮浮標站來檢視歐等人(2004)的方法是否適用。本研究使用氣象局的臺東、花蓮和蘇澳等三個浮標測站的示性波高以及同時期 SWAN 模式在同樣三個位置的逐時示性波高進行誤差評估。除了取 2021 年 4 月 1 日到 15 日共 15 天作為短期資料作評估，亦選用同年 4 月 1 日到 9 月 20 日近約 6 個月作為長期資料作評估。藉由長、短期的誤差評估來了解同化修正的適用性。

先利用臺東和蘇澳兩站當時的觀測值與預報值差值對花蓮站的

預報值做即時同化，再對花蓮站後續 6 小時的預報值做預報修正。最後計算花蓮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，藉以評估修正方式是否能提高示性波高預報的準確度。

花蓮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、花蓮和蘇澳等外海 3 個站的示性波高預報值。

2.抓取氣象局網頁提供的臺東和蘇澳浮標 2 站的即時示性波高，搭配對應位置的預報值對該小時的花蓮站預報值做同化。

3. 花蓮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. 花蓮站對該小時開始 6 小時內的預報值皆乘上修正係數做調整。

上述流程 2 利用了臺東站和蘇澳站來修正花蓮站，故可將第(3.7)式改寫如下：

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{P_{11}}+1 & \boldsymbol{P_{12}} \\ \boldsymbol{P_{21}} & \boldsymbol{P_{22}}+1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{W_{11}} \\ \boldsymbol{W_{21}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{P_{11}} \\ \boldsymbol{P_{21}} \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

在此假設實測值與起始猜測值有相同的均方誤差，即$\boldsymbol{R_1}$、$\boldsymbol{R_2}$的值皆為 1。而$\boldsymbol{P_{11}}$和$\boldsymbol{P_{21}}$各為臺東站和蘇澳站的空間函數。由於第(3.6)式的校正長度$\boldsymbol{L_{max}}$為自訂值，為瞭解哪個值有助於較能降低誤差，在此測試當$\boldsymbol{L_{max}}$值在 20 到 400 km 區間時，且花蓮站每小時皆做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 3.6。圖 3.6 顯示 R 值等於 1 時，隨著$\boldsymbol{L_{max}}$值越大，RMSE 也從 0.284 逐漸下降，當$\boldsymbol{L_{max}}$值超過 200km 之後，RMSE 趨近於 0.265。圖 3.6 另外標示 R= 0 的 RMSE 作為參考，當$\boldsymbol{L_{max}}$在 60km 時有最小值約 0.275，超過 60km 後與 R=1 的 RMSE 的差距逐漸拉大。

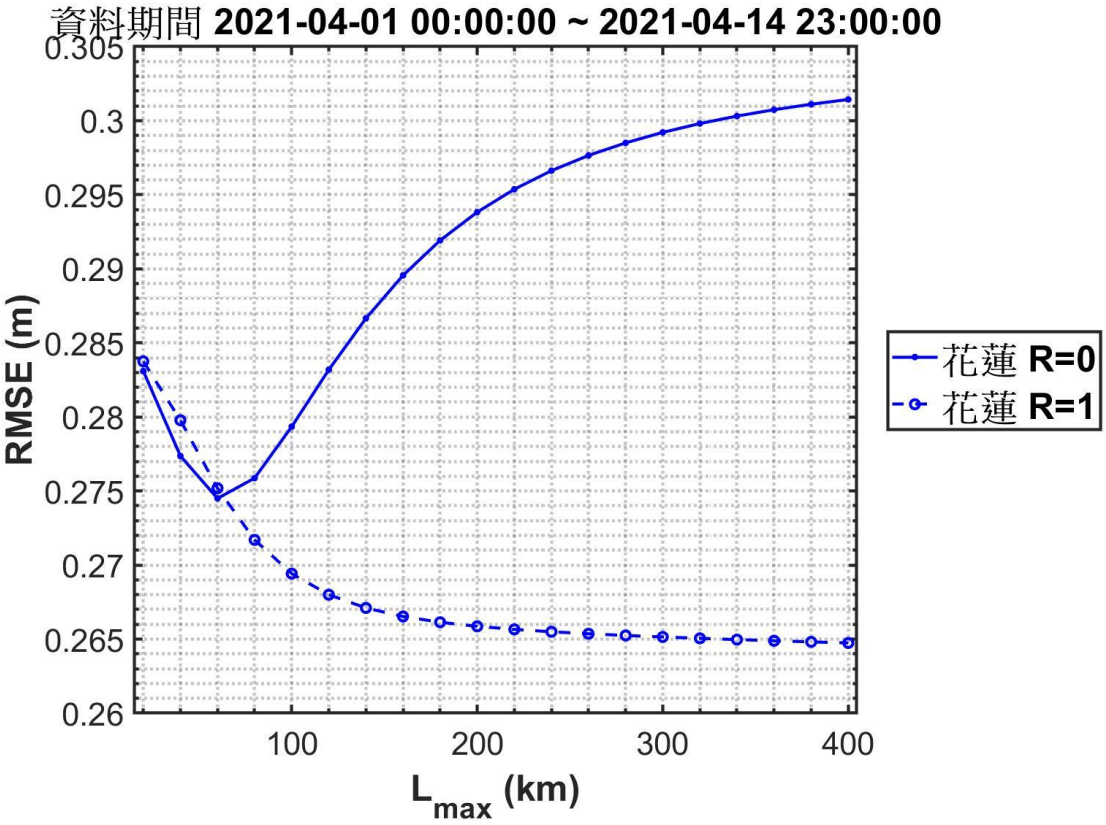


圖 3.6 花蓮站不同校正長度L_{max}與兩種 R 的 RMSE

在此選擇 300km 作為$\boldsymbol{L_{max}}$值，則臺東站和蘇澳站的權重$\boldsymbol{W_{11}}$和$\boldsymbol{W_{21}}$可由第(3.9)式計算而得，其值各為 0.2179 和 0.3443。由(3.1)式可知示性波高在花蓮站的同化計算如下式：

$$H^{A}_{花蓮} = H^{P}_{花蓮} + 0.2179\left(H^{O}_{臺東} - H^{p}_{臺東}\right) + 0.3443\left(H^{O}_{蘇澳} - H^{p}_{蘇澳}\right) \quad (3.10)$$

$H^{A}_{花蓮}$：花蓮示性波高同化值, $H^{P}_{花蓮}$：花蓮示性波高預報值

$H^{O}_{臺東}$：臺東示性波高觀測值, $H^{p}_{臺東}$：臺東示性波高預報值

$H^{O}_{蘇澳}$：蘇澳示性波高觀測值, $H^{p}_{蘇澳}$：蘇澳示性波高預報值

圖 3.7 的單日預報以 2021 年 4 月 15 日為例，修正前的預報值與觀測值 RMSE 為 0.408。對當天 0 時、6 時、12 時與 18 時做每 6 小時 1 次的預報修正後可降至 0.264。對 2021 年 4 月 1 日到 4 月 15 日短期的示性波高作同樣的處理所得結果如圖 3.8 所示，原本的預報值與觀測值 RMSE 為 0.294。而每 6 小時同化修正的 RMSE 為 0.275，約比修正前下降了 6.6%。以圖 3.8 的 15 天資料同化修正來看，可讓

原本的模式預報誤差有小幅度的改善。

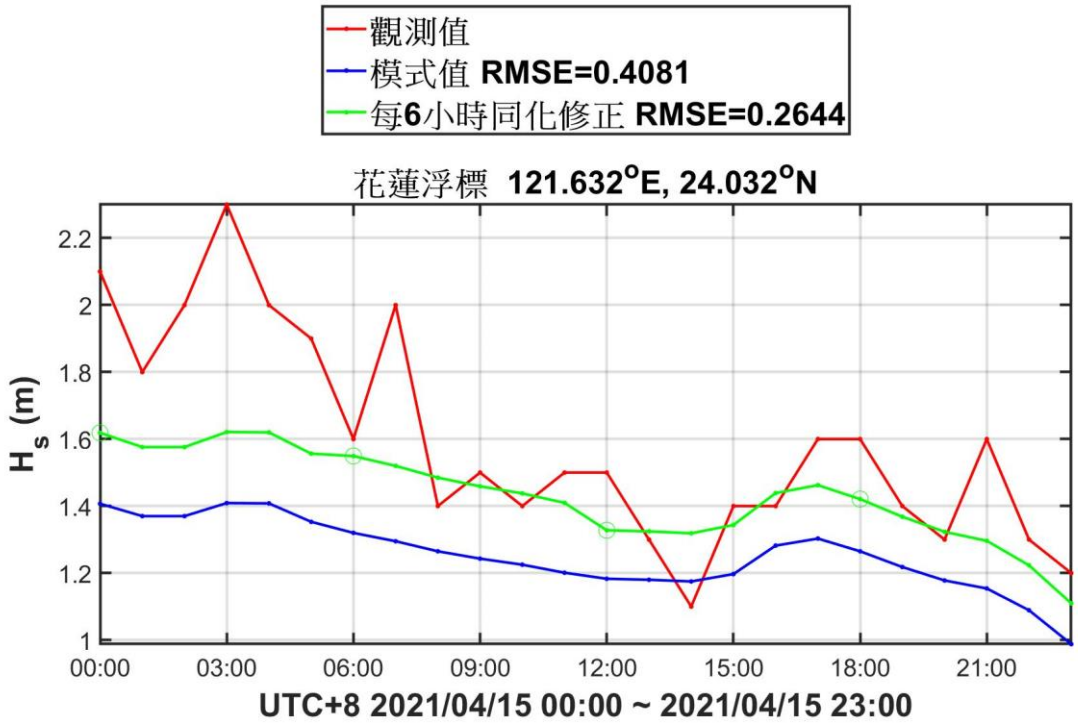


圖 3.7 花蓮站示性波高單日的觀測、預報以及預報修正

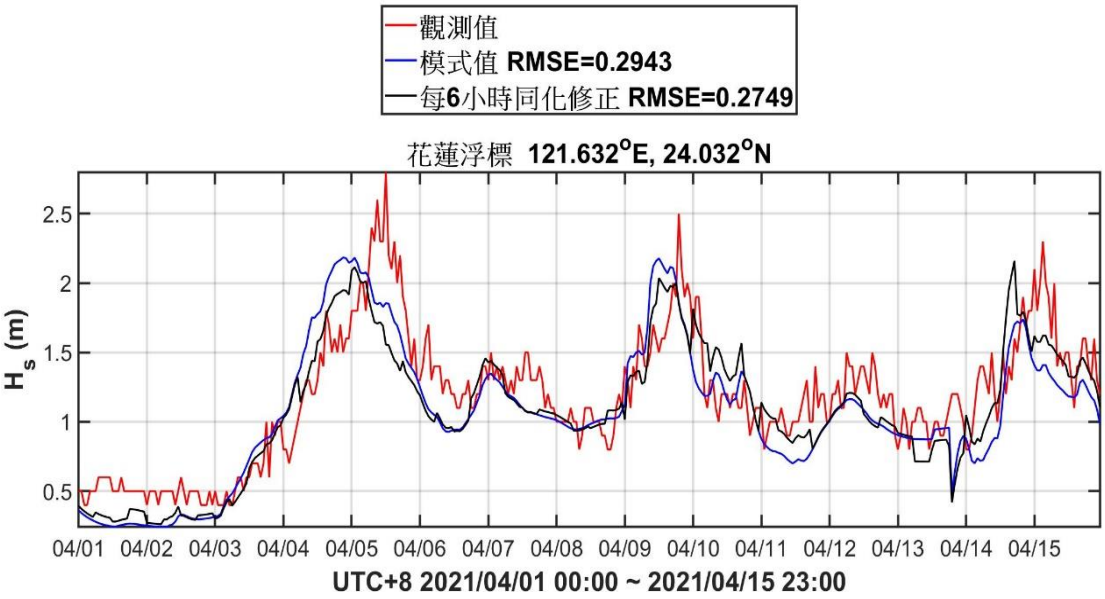


圖 3.8 花蓮 2021 年 4 月共 15 天的示性波高觀測、預報和預報修正

另外同樣利用(3.10)式對 2021 年 4 月 1 日到 9 月 20 日的長期資料進行同化修正，其結果如圖 3.9 所示。原本的預報值與觀測值 RMSE 為 0.283。而每 6 小時同化修正的 RMSE 為 0.310，約比修正前上升了 9%。雖然對於 4 月短期 15 天有改善(圖 3.8)，但對長期的資料同化結果卻使誤差放大。

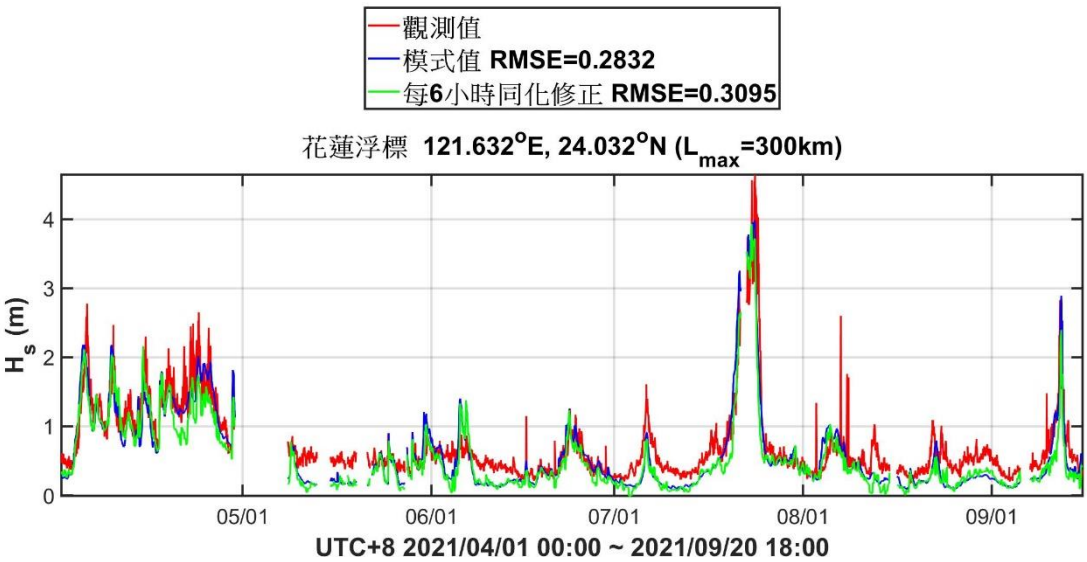


圖 3.9 花蓮 2021 年近半年的示性波高觀測、預報和預報修正

本文另外對颱風經過台灣附近期間的預報值做同化修正，並計算與觀測值的 RMSE 來評估修正的影響。在此選擇 2021 年 7 月的煙花颱風以及 9 月的燦樹颱風等 2 個中央氣象局發布警報颱風期間進行測試。根據日本 NII (National Institute of Informatics)網站的資料，2 個颱風路徑如圖 3.10、圖 3.11 所示。

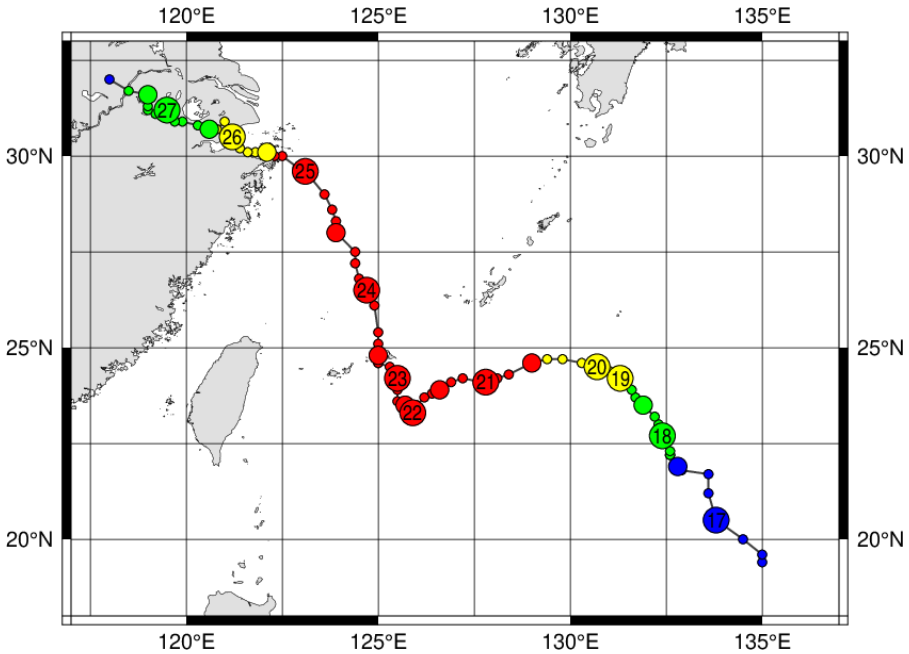


圖 3.10 UTC+0 2021 年 7 月 16 日 6 時到 27 日 18 時煙花颱風路徑 (http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/l/201909.html.en)

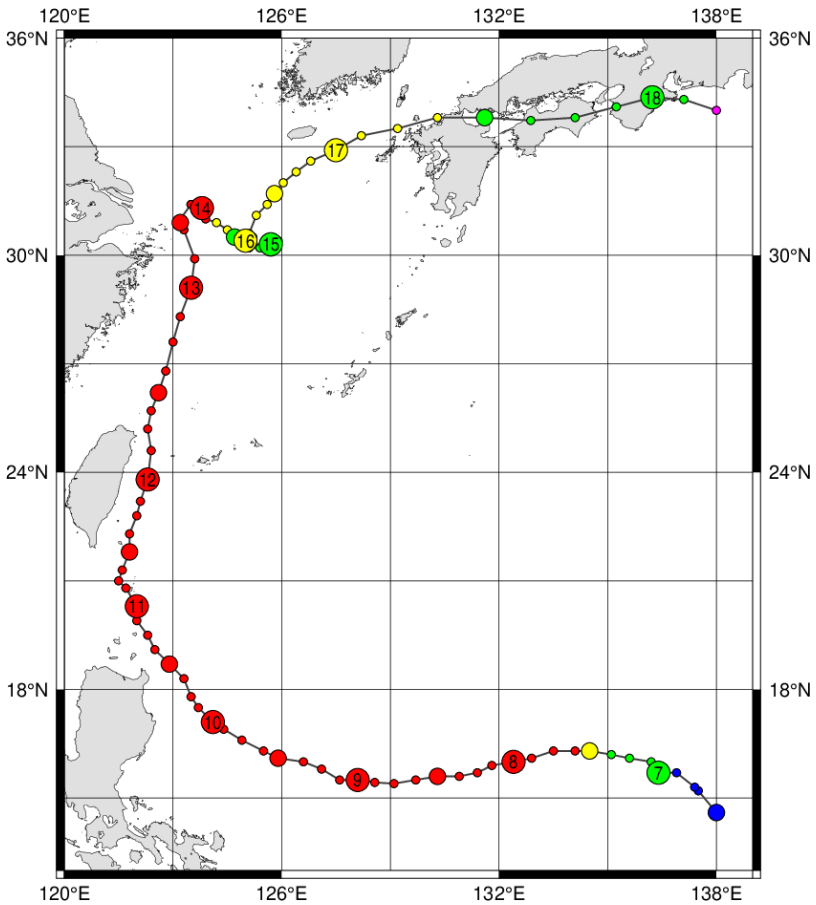


圖 3.11 UTC+0 2021 年 9 月 6 日 12 時到 18 日 6 時燦樹颱風路徑 (http://agora.ex.nii.ac.jp/digitaltyphoon/summary/wnp/l/201911.html.en)

取煙花颱風於 2020 年 7 月 20 日到 25 日五天期間的資料做修正，示性波高預報修正的結果如圖 3.12。上圖為花蓮站的觀測值(紅線)、模式值(藍線)與每 6 小時的模式同化修正(綠線)，中、下圖各為臺東和蘇澳的觀測與模式值。花蓮站模式與觀測的 RMSE 為 0.657，經過同化修正後為 0.7460，表示此期間的同化修正並無法讓模式預報獲得改善。由(3.10)式可知當臺東或蘇澳站的模式值大於觀測值時，將會下修花蓮站的模式值，如圖 3.12 的 21 到 22 日期間，此時的花蓮站模式值亦為高估，故下修模式值能使修正值更貼近觀測值。但在 24 日期間臺東和蘇澳站模式值仍大於觀測值，但花蓮站的模式值則低於觀測值，此時下修花蓮站的模式值反而加大與觀測值之間的誤差。

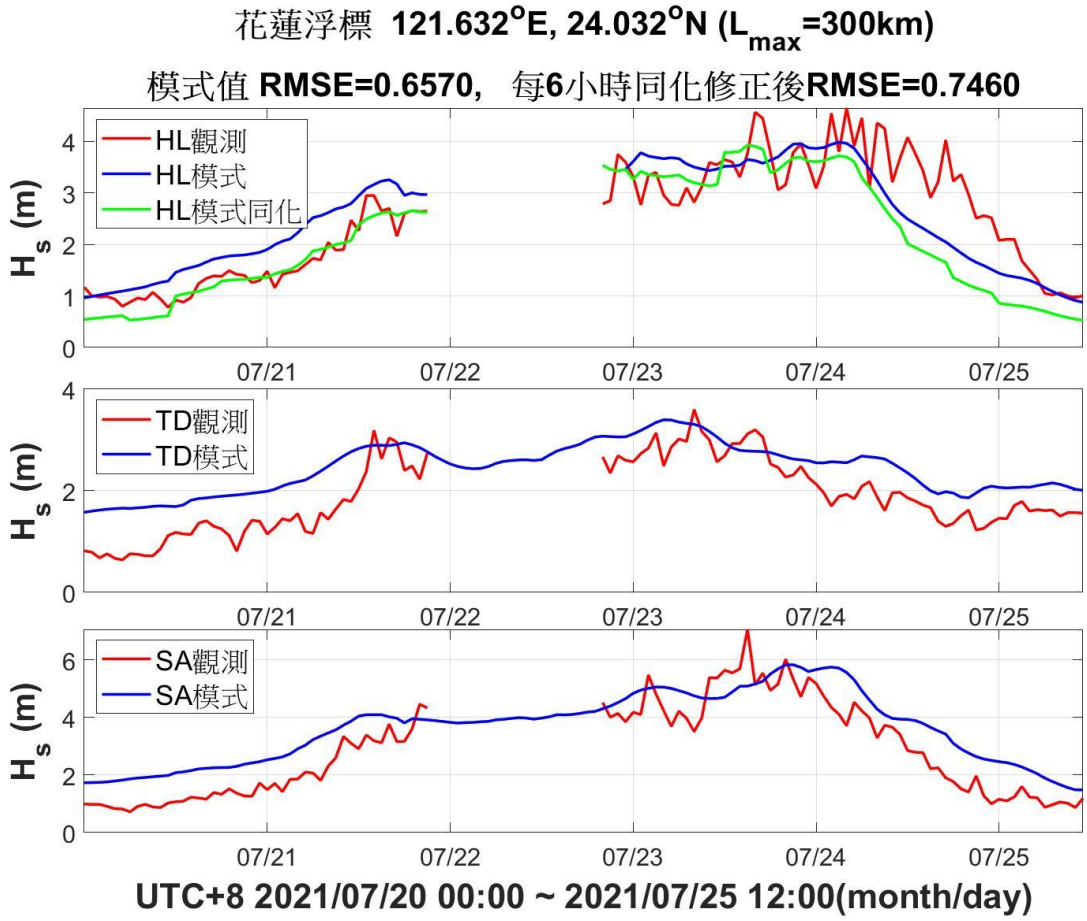


圖 3.12 煙花颱風花蓮(上)、臺東(中)和蘇澳(下)的示性波高觀測、模式值

燦樹颱風取 2021 年 9 月 11 日到 12 日 2 天期間的資料做修正，示性波高預報修正的結果如圖 3.13。上、中和下圖各為花蓮、臺東和蘇澳三站的觀測值(紅線)、模式值(藍線)。花蓮站模式與觀測的 RMSE 為 0.544，經過同化修正後(綠線)為 0.574，表示此期間的同化結果亦無法改善模式的預報誤差。由圖 3.13 的 11 日期間可知花蓮站的模式值與觀測結果接近，因該時段臺東和蘇澳的模式值大於觀測值，故根據(3.10)式下修花蓮站的模式值，導致原本預報接近的值偏離了觀測值。而在 12 日 9 時到 18 時期間對花蓮站模式值的下修，則降低與觀測值之間的誤差。

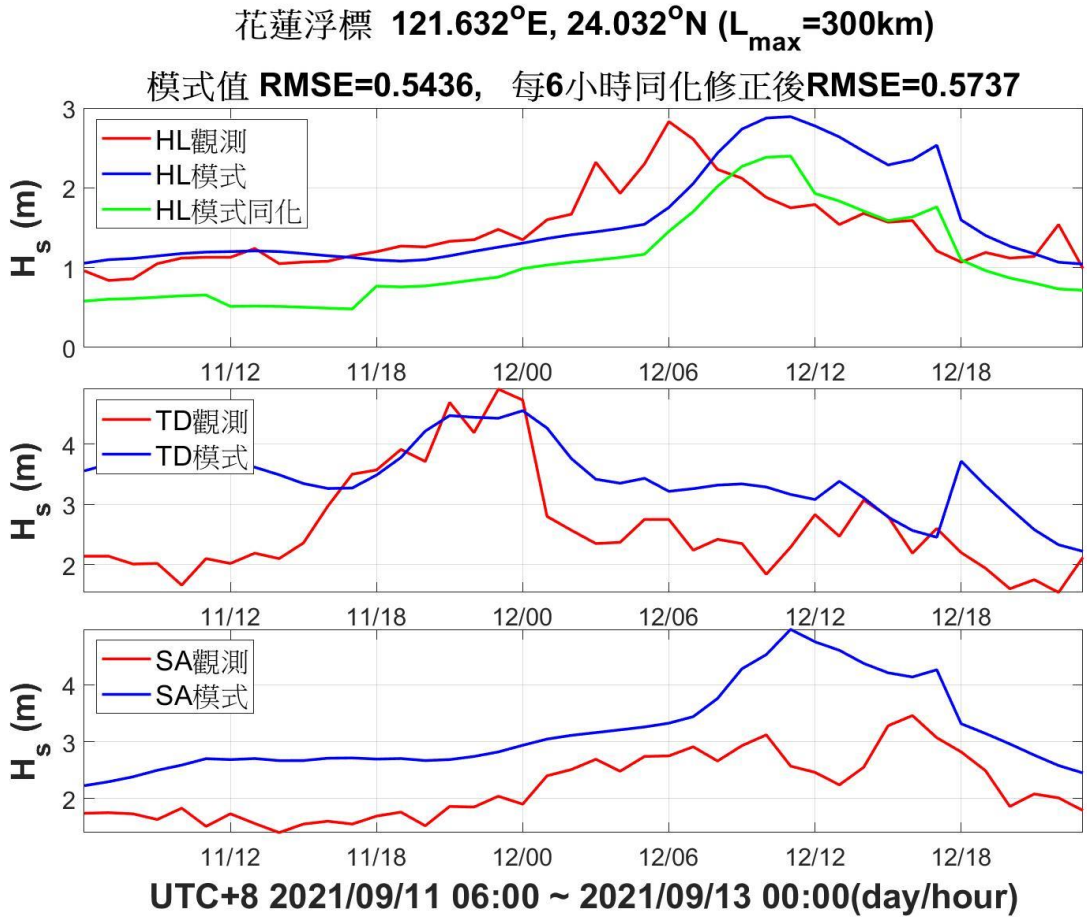


圖 3.13 燦樹颱風花蓮(上)、臺東(中)和蘇澳(下)的示性波高觀測和模式值。

3.4 石門站的資料同化與預報修正

本文對位於花蓮站附近的石門站進行同樣的預報修正處理。同樣使用的 2021 年 4 月 1 日到 2021 年 9 月 20 日的資料，除了原本氣象局的花蓮、臺東和蘇澳等 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 模式再增加一個人定勝天段外海的石門站(圖 3.4)。

以當時段花蓮、臺東和蘇澳三站的觀測值和預報值對石門站做即時同化來修正該時段的預報值，再對石門站後續幾小時的預報值做預報修正，其同化流程參照 3.2 節。3.2 節的流程 2 利用花蓮、臺東和蘇澳等 3 個站修正石門站，故可將(3.7)式改寫如下：

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{P_{11}+R_1} & \boldsymbol{P_{12}} & \boldsymbol{P_{13}} \\ \boldsymbol{P_{21}} & \boldsymbol{P_{22}+R_2} & \boldsymbol{P_{23}} \\ \boldsymbol{P_{31}} & \boldsymbol{P_{32}} & \boldsymbol{P_{33}+R_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{W_{11}} \\ \boldsymbol{W_{21}} \\ \boldsymbol{W_{31}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{P_{11}} \\ \boldsymbol{P_{21}} \\ \boldsymbol{P_{31}} \end{bmatrix} \tag{3.12}$$

在此假設實測值與起始猜測值有相同的均方誤差，即$\boldsymbol{R_1}$、$\boldsymbol{R_2}$、$\boldsymbol{R_3}$的值皆為 1。而$\boldsymbol{P_{11}}$、$\boldsymbol{P_{21}}$和$\boldsymbol{P_{31}}$各為花蓮、臺東和蘇澳三站的空間函數。校正長度$\boldsymbol{L_{max}}$在此選擇和 3.3 節的花蓮站相同，其值為 300km。花蓮站、臺東站和蘇澳站的權重$\boldsymbol{W_{11}}$、$\boldsymbol{W_{21}}$和$\boldsymbol{W_{31}}$可由(3.12)式計算而得，其值各為 0.198、0.259 和 0.13。由(3.1)式可知石門站的示性波高同化修正計算式如下：

$$H^A_{石門} = H^P_{石門} + 0.198\left(H^O_{花蓮} - H^p_{花蓮}\right) + 0.259\left(H^O_{臺東} - H^p_{臺東}\right) + 0.13\left(H^O_{蘇澳} - H^p_{蘇澳}\right) \tag{3.13}$$

$H^A_{石門}$：石門示性波高同化值, $H^P_{石門}$：石門示性波高預報值

$H^O_{花蓮}$：花蓮示性波高觀測值, $H^p_{花蓮}$：花蓮示性波高預報值

$H^O_{臺東}$：臺東示性波高觀測值, $H^p_{臺東}$：臺東示性波高預報值

$H^O_{蘇澳}$：蘇澳示性波高觀測值, $H^p_{蘇澳}$：蘇澳示性波高預報值

石門站的單日預報以 2021 年 9 月 1 日為例，對當天 0 時、6 時、12 時與 18 時做每 6 小時 1 次的預報修正如圖 3.14。每 6 小時的預報修正將當天 SWAN 預報值皆為上修，上修範圍約 0.1 到 0.2m。而圖 3.15 為 2021 年 4 月 1 日到 9 月 20 日的預報值和每 6 小時的預報修正。另外亦呈現煙花颱風與燦樹颱風的預報修正範例，如圖 3.16 和 3.17。

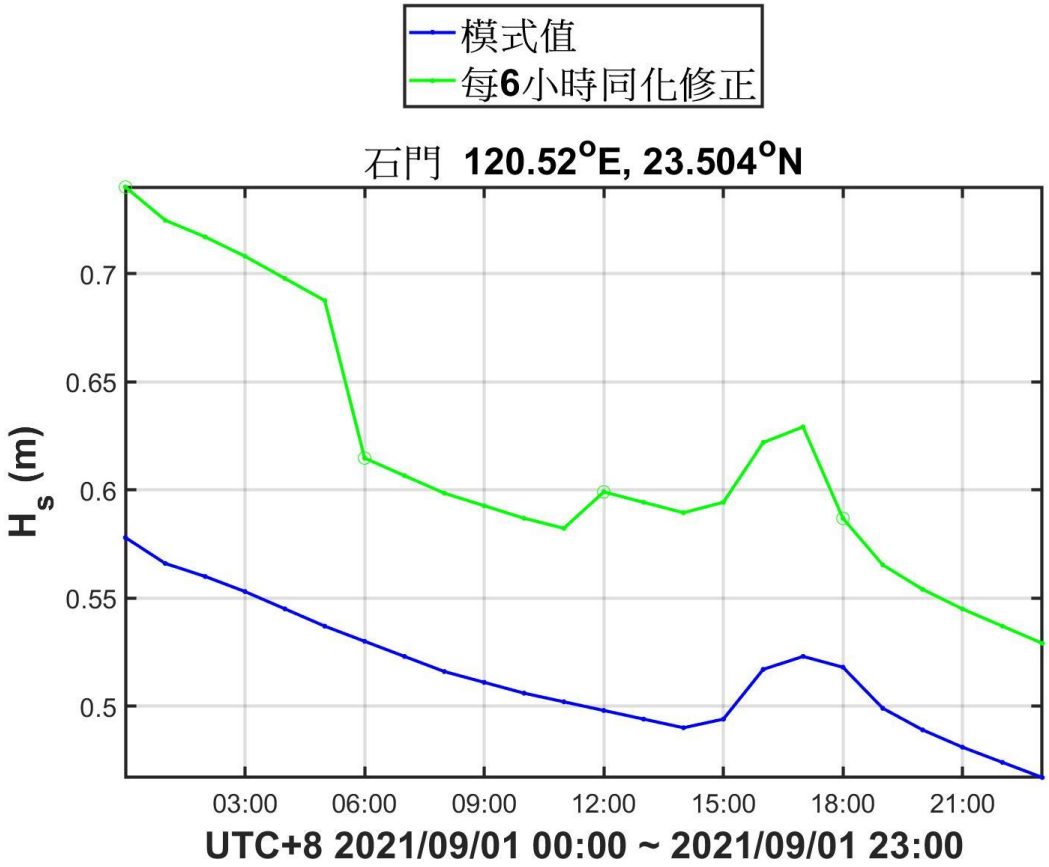


圖 3.14 石門站單日示性波高的模式預報以及預報修正

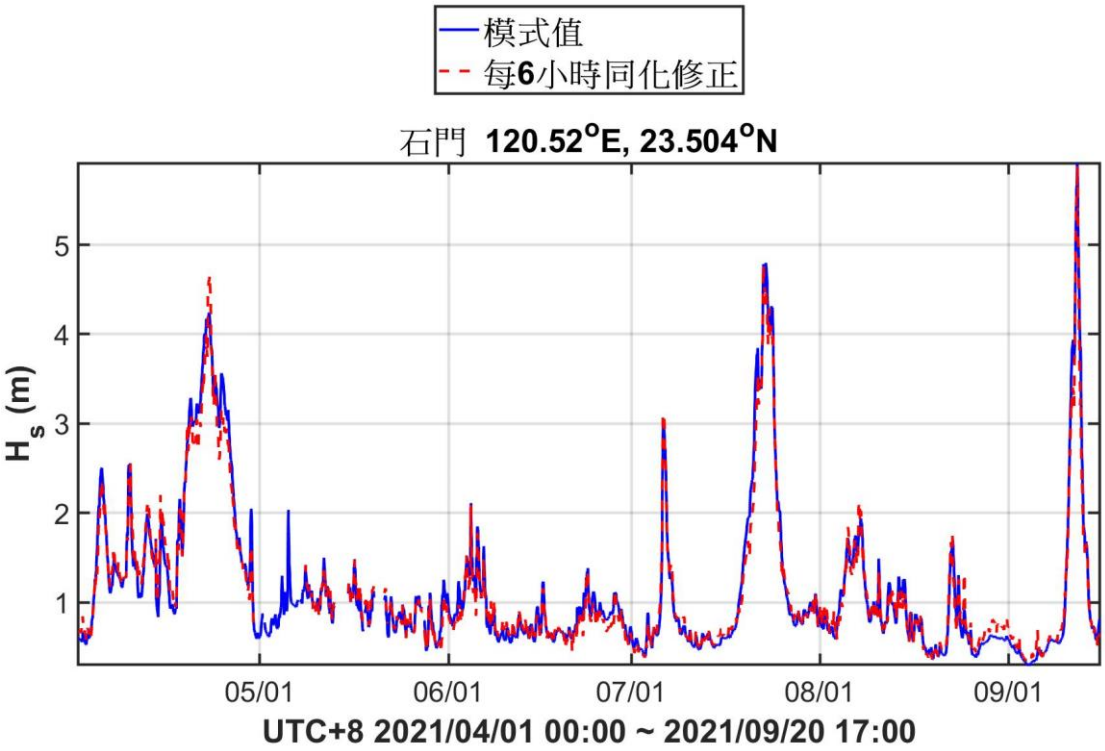


圖 3.15 石門站 2021 年 4 月 1 日到 9 月 20 日示性波高的預報及預報修正

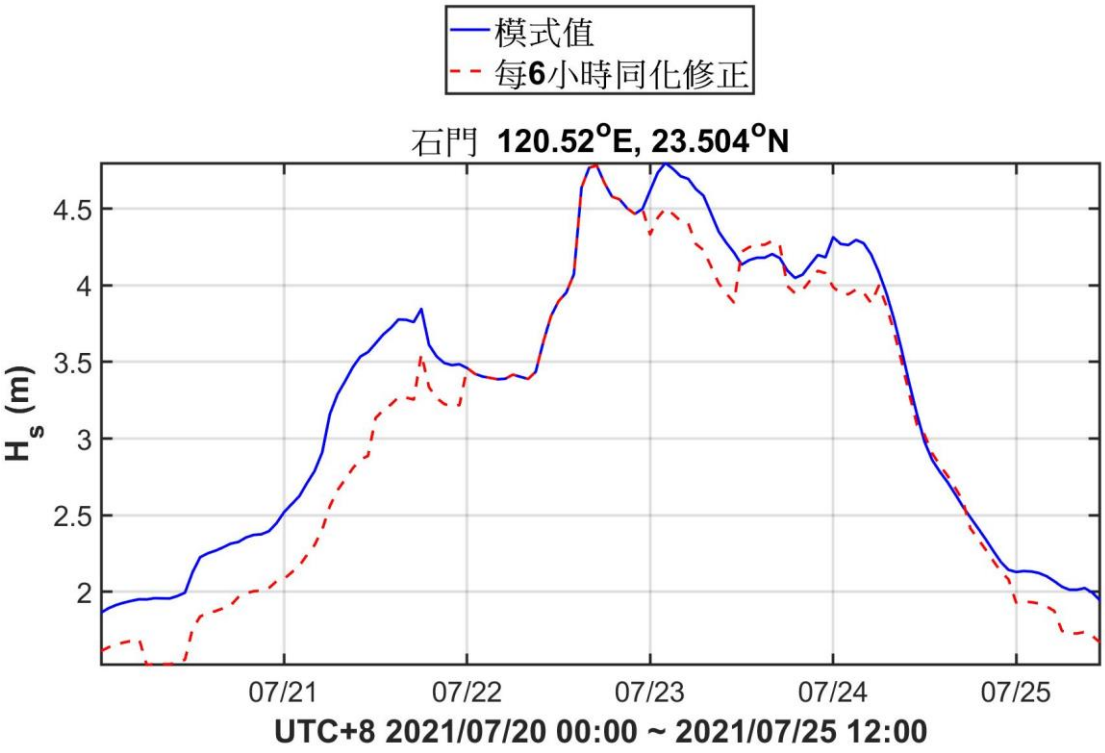


圖 3.16 煙花颱風期間石門站示性波高的預報及預報修正

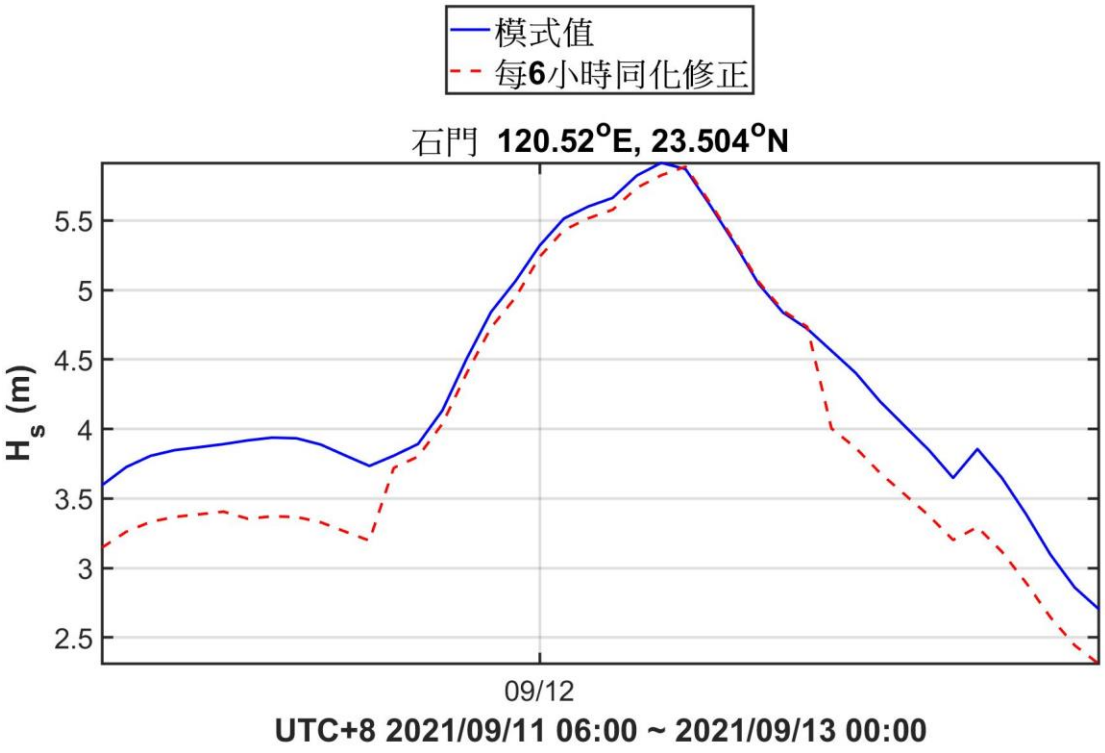


圖 3.17 燦樹颱風期間石門站示性波高的預報及預報修正

雖然石門站目前尚無觀測站可像花蓮站一樣能以觀測值和預報值直接評估模式的示性波高準確度以及同化修正的效果。從 3.3 節花

蓮站其利用其他兩站的觀測值和預報值進行同化修正後與觀測值計算 RMSE 的結果，顯示此同化方式雖在 4 月短期 15 天內能對預報值提供小幅的修正，但對於 4 月到 9 月較長期間的預報修正結果卻未能降低整體的誤差，表示此同化方式可能不適用於花蓮站或是石門站。歐等人(2004)提到對他們的風浪模式做資料同化時，觀測站的數量增加能讓降低模式與觀測值的相對誤差，直到超過七站時，相對誤差達到穩定。由於石門站的預報值目前僅有附近的三個浮標觀測站可做同化，因而無法有效降低與觀測值之間的誤差，在未來如有新的觀測站加入同化計算，將有助於改善同化的結果。

目前公路局已於人定勝天段設置即時監控影像系統供民眾上網瀏覽，如圖 3.18 所示。圖 3.18 另展示 2021 年燦樹颱風期間 9 月 11 日 12 時 40 分的即時影像，日後或可利用影像資料於颱風期間跟浪襲預報系統進行比對。而圖 3.19 為花蓮浪襲預警系統的視窗介面，上圖警戒燈號顯示 11 日 13 時到 23 時之間有道路浪襲的威脅(橙燈和紅燈)，而圖 3.20 為 9 月 11 日約晚間 9 點 50 分在公路局人員在 61K+500 附近巡邏時拍到的浪襲事件。

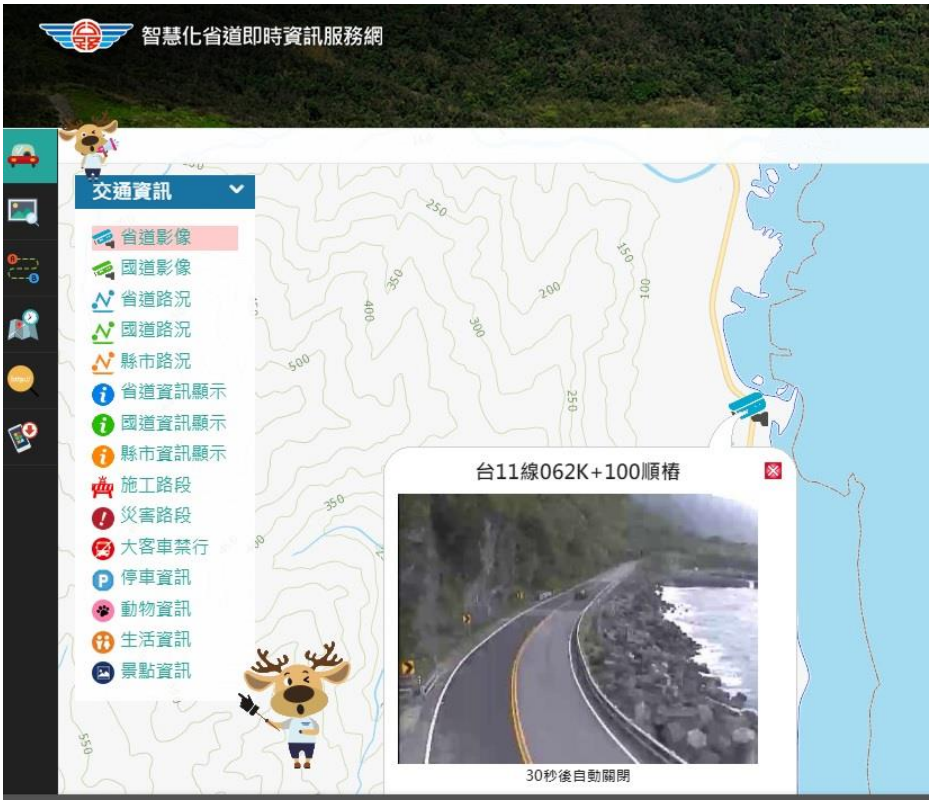


圖 3.18 智慧化省道即時資訊服務網省道台 11 線 62K+100 觀測樁 (https://168.thb.gov.tw/THB168)

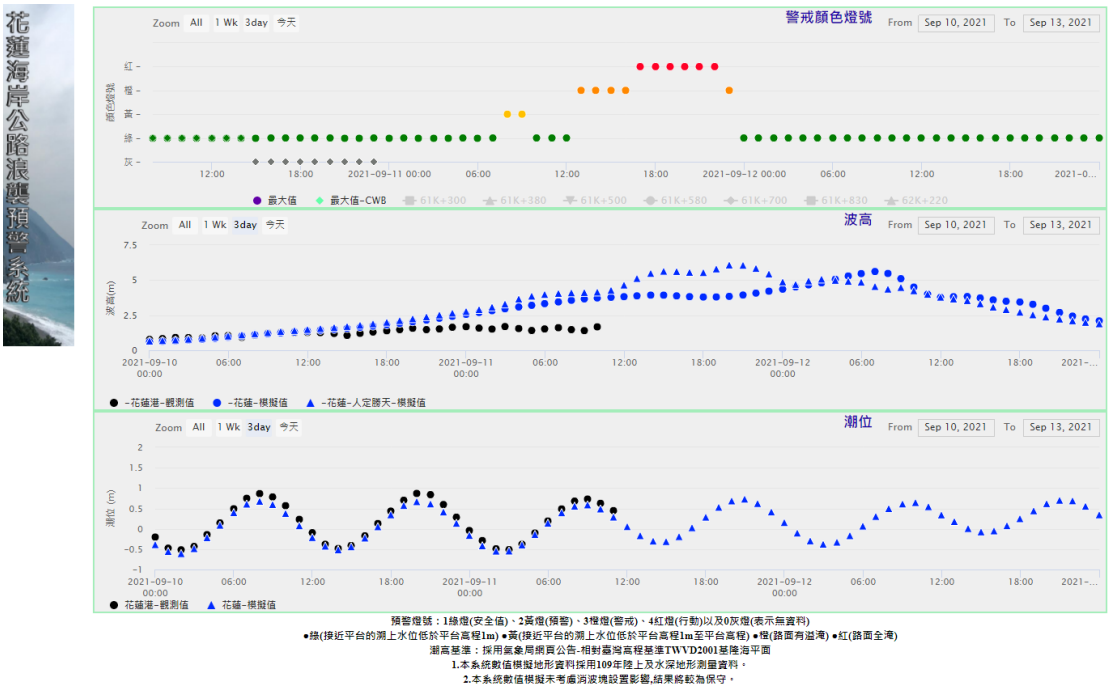


圖 3.19 花蓮海岸公路浪襲預警系統 2021 年 9 月 11 日到 12 日燈號預警

圖 3.20 2021 年 9 月 11 日約晚間 9 點 50 分在 61K+500 附近的浪襲影像(公路總局第四區養護工程處提供)

第四章 豐濱新社路段波浪溯上與溢淹數值模式建立

由於公路總局第四區養護工程處指出花蓮海岸公路台 11 線豐濱新社路段 44K 附近的高程較低處，在颱風期間似有浪襲情況出現。圖 4.1 和 4.2 為 44K 附近的現場照片，其附近的道路與海岸水平距離介於 30 到 50m 之間，且道路高程約為 11.5m。在上年度計畫利用 Xbeach 模式所模擬的浪襲情境顯示當入射波的示性波高 5m、週期 15 秒且在潮位在 2 m 以上時，此路段附近的波浪溢淹範圍已鄰近道路邊緣，出現浪襲的可能性偏高。故本計畫研究目的在利用 COBRAS 垂直 2 維波浪模式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台 11 線 44K 里程處附近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。藉由交通部運輸研究所港灣技術研究中心提供 44K 附近的高解析度海陸地形進行該路段 3 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。COBRAS 模式介紹參照 2.2 節。

圖 4.1 台 11 線 44K 附近實景 a(公路總局第四區養護工程處提供)

圖 4.2 台 11 線 44K 附近實景 b(公路總局第四區養護工程處提供)

4.1 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 44K 附近的地形如圖 4.3 所示。本研究選取台 11 線位於花蓮縣新社村南邊 43K+750、44K+000、44K+250 等 3 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 3 處斷面的離岸方向取切線作為模式地形，如圖 4.3 的三角點和綠線。圖 4.4 為 google earth 的 3 處斷面地理位置。在此利用 XBeach 模擬波浪從東邊界正向入射後的第 270 秒水位空間分佈，大致沿著波向線取 3 處位置的地形切線，如圖 4.5。

圖 4.4 所選取的綠色切線地形剖面如圖 4.6 到圖 4.8 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 5 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 44K+000 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 4.7 的切線地形左右翻轉後取出最大深度到 32m 的部分，如圖 4.9 的 x 座標-2444 到 60 m 區間。從水深 32m 處延伸一段入射波區，如圖 4.9 的 x 座標-3370 到-2444 m 區間。最後將圖 4.9 的

地形提供給模式使用。

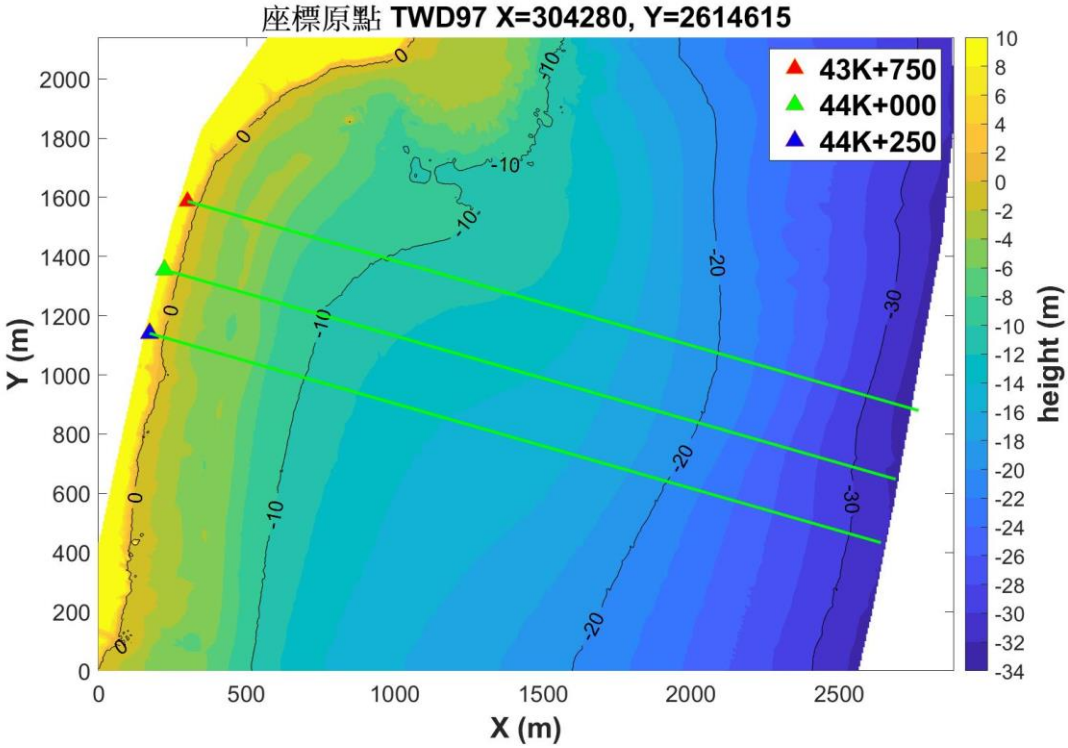


圖 4.3 台 11 線 44K 附近的 3 個里程位置(三角)以及地形切線(綠線)

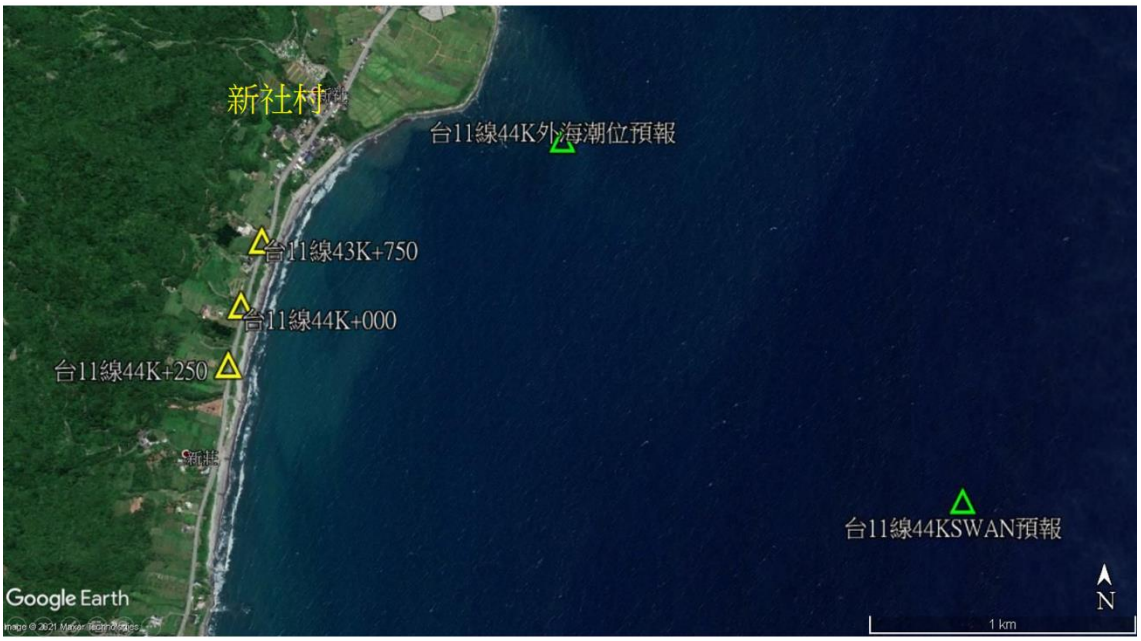


圖 4.4 google earth 台 11 線 44K 附近的 3 個情境里程位置

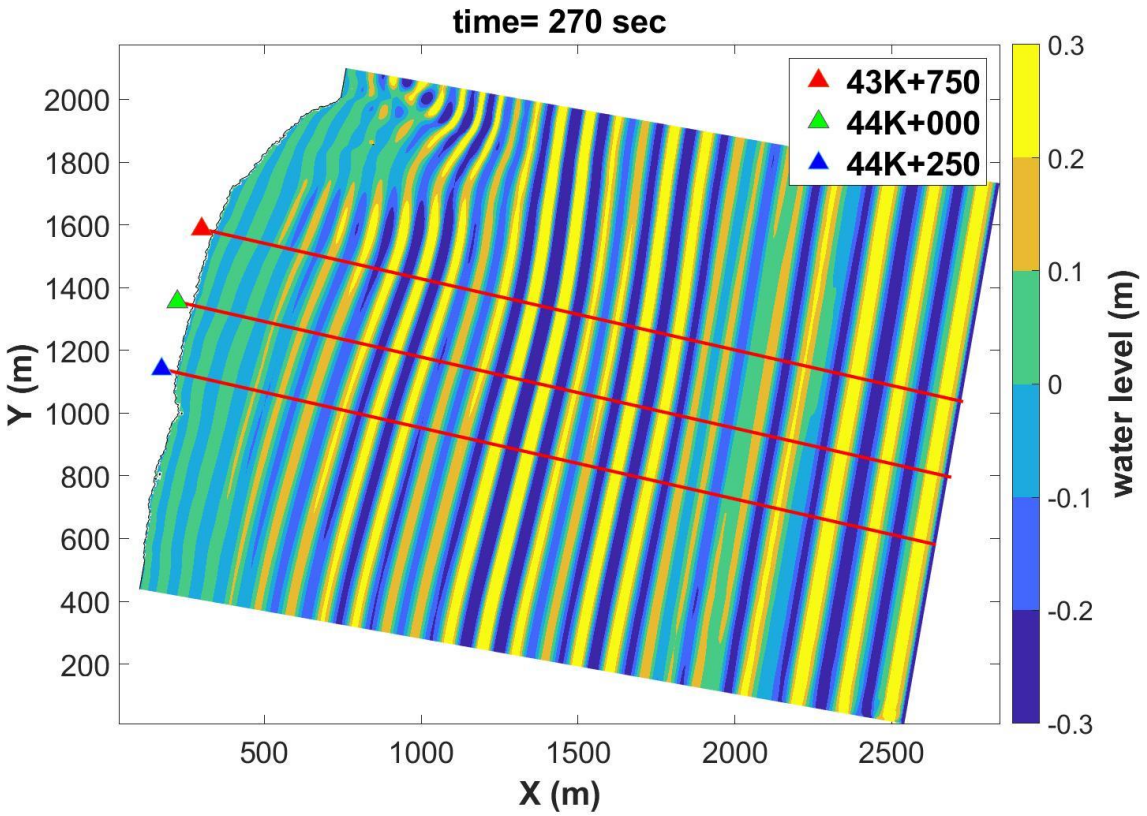


圖 4.5 台 11 線豐濱新社路段 3 里程(三角)沿波向線選取地形切線(綠線)

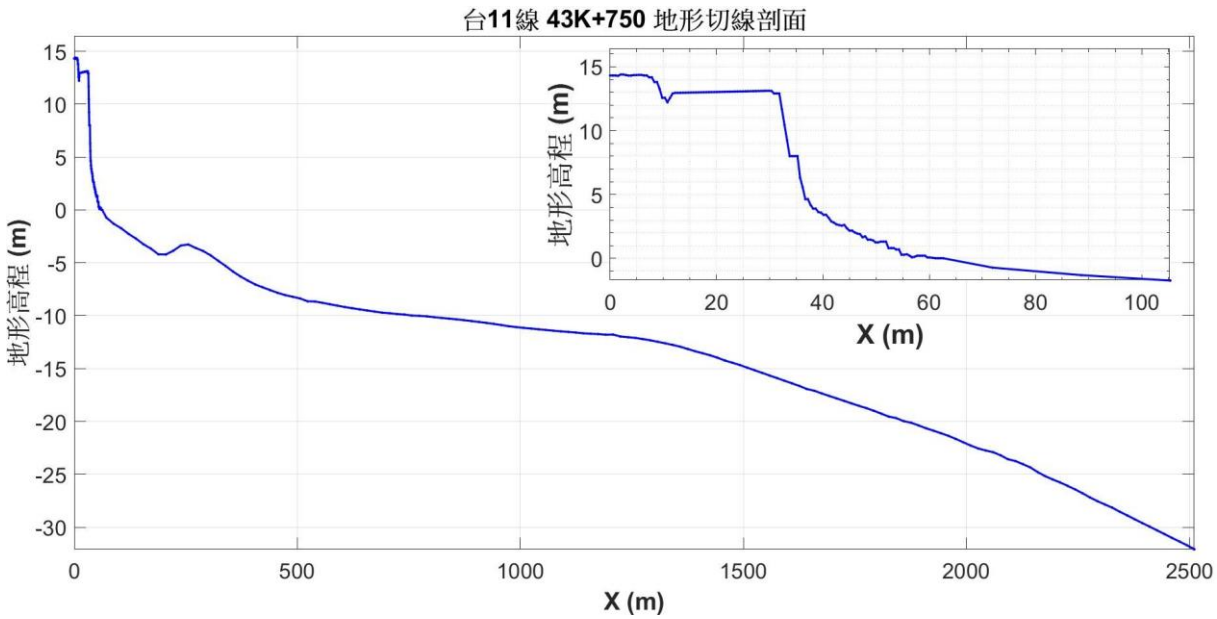


圖 4.6 43K+750 離岸方向的地形剖面

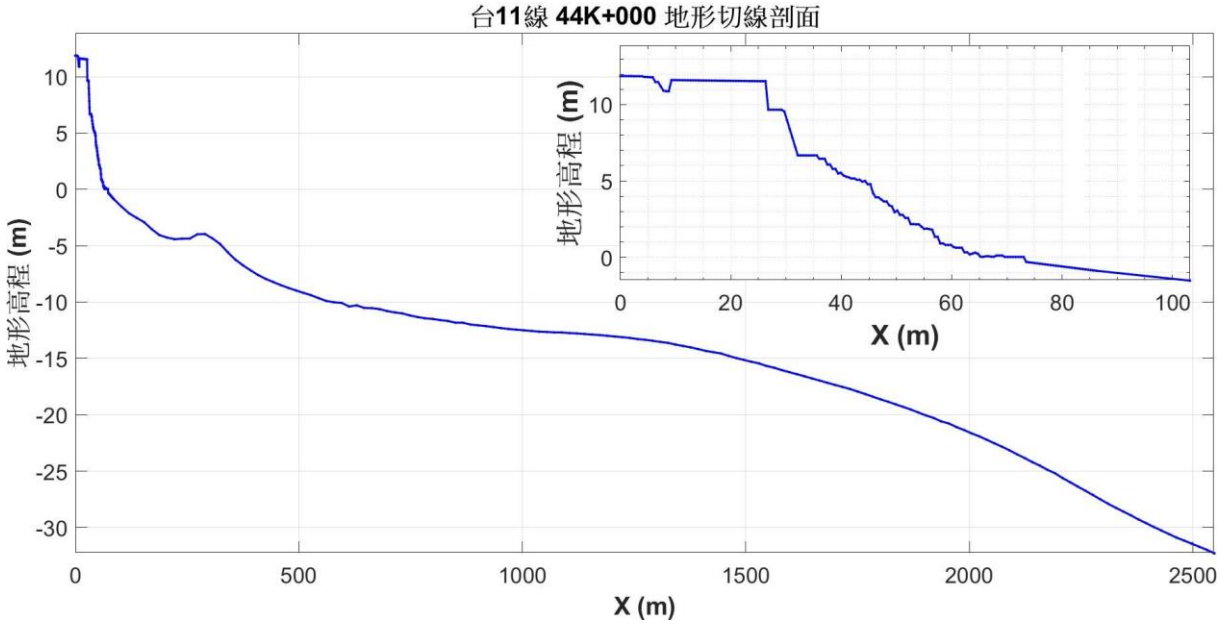


圖 4.7 44K+000 離岸方向的地形剖面

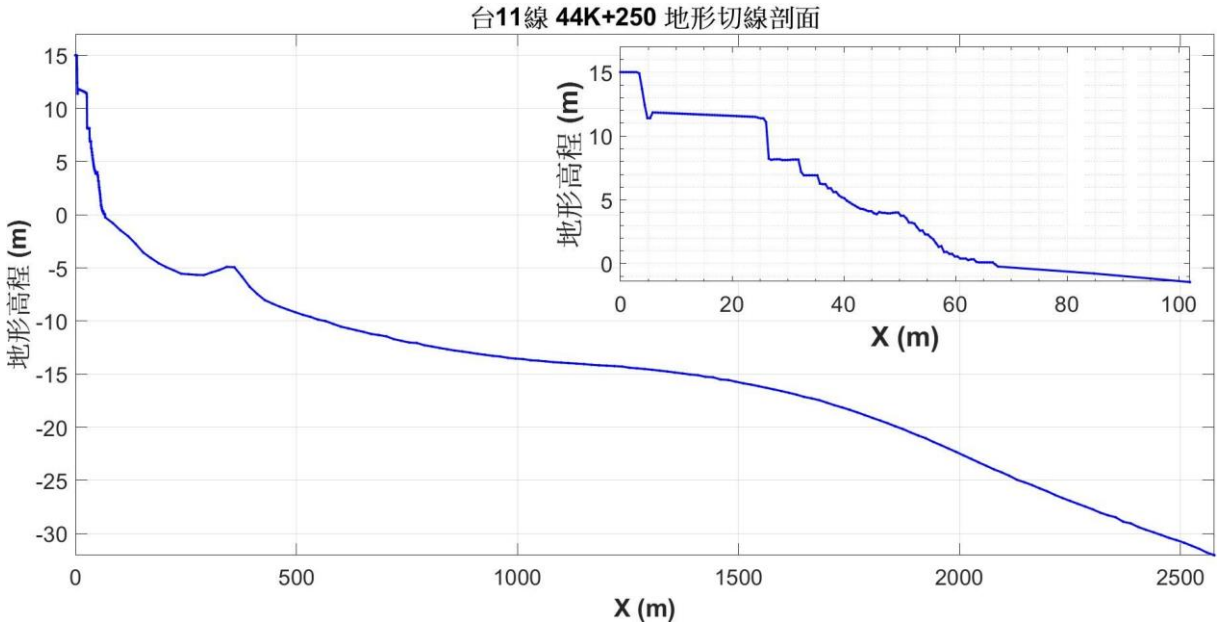


圖 4.8 44K+250 離岸方向的地形剖面

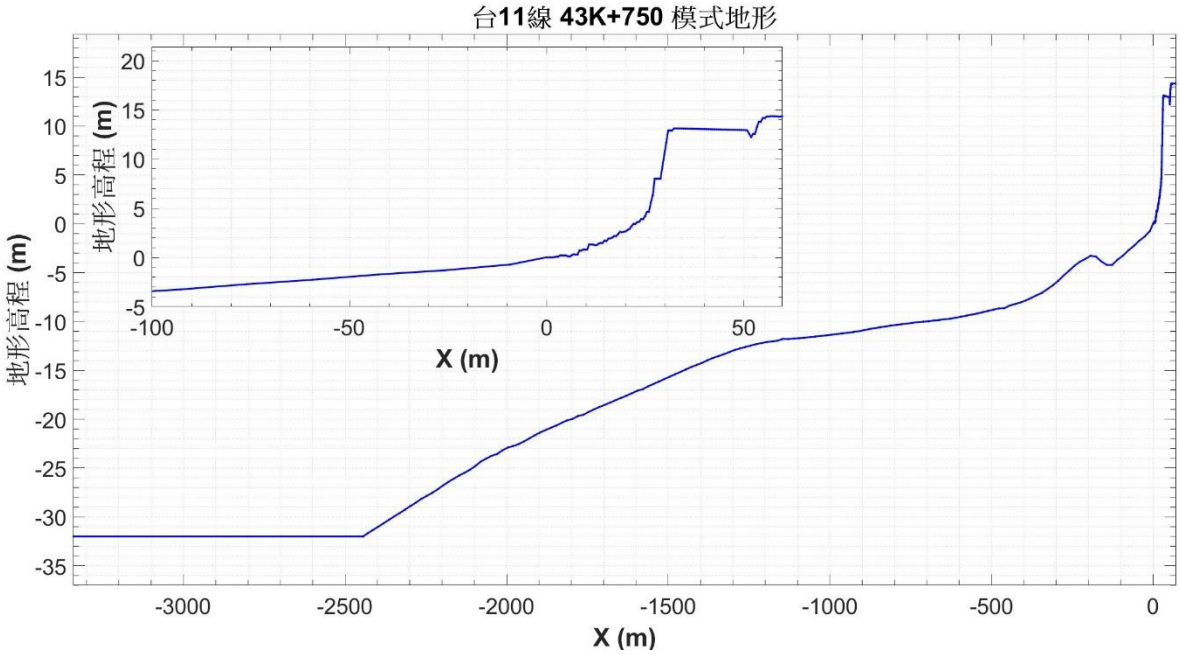


圖 4.9 模式使用的 43K+750 切線地形

4.2 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，如圖 4.9 的 X=-3370 到-2444 m 區間；右側區域為離岸 300m(X=-300)往陸地方向延伸包含到陸地部分，解析度為 0.5m，如圖 4.9 的 X=-300 到 60m 區間；介於水深 32m 到離岸 300m 的中間區域，其解析度左到右由 2m 線性變化到 0.5m，如圖 4.9 的 X=-2444 到-300m 區間。在垂直的 Y 方向解析度皆為 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 4.3 的切線取得，亦即假設 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 8 個正弦波入射。參考上一年度計畫在台 11 線人定勝天段的情境模擬條件組合，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 -0.5 到 3m 等 8 種初始水位條件的組合來模擬浪襲道路(圖 4.10)，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 8 個入射波周期。

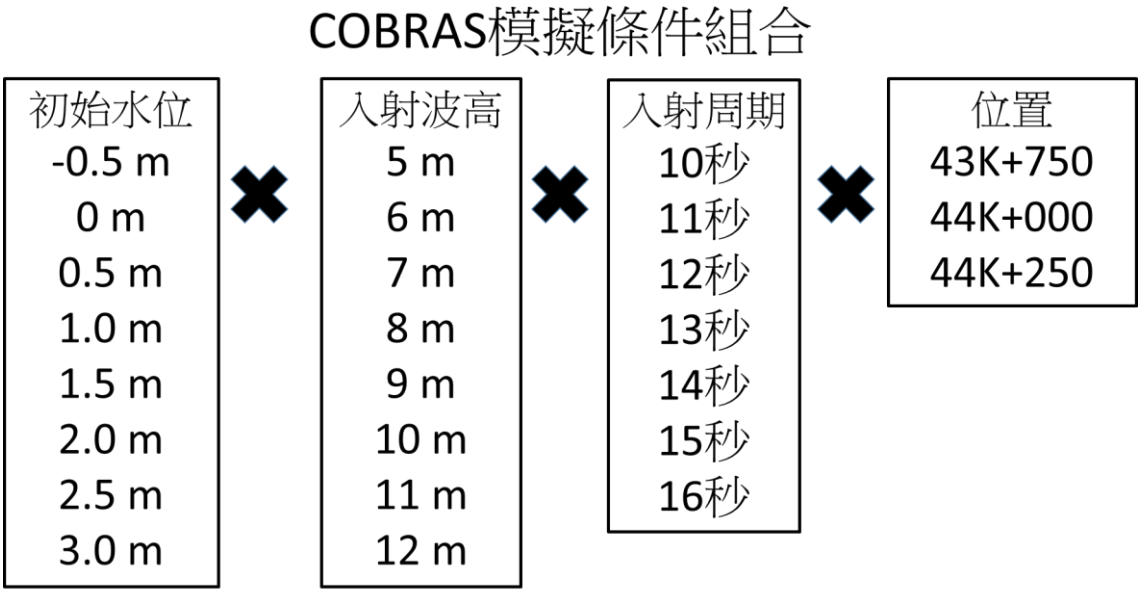


圖 4.10 不同情境模擬的海況條件組合

4.3 模擬流程

模擬流程先考慮 43K+750 的海況條件在初始水位 1m 以及左側邊界入射波波高和週期各為 12m、15 秒的情況進行模擬。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；如果道路平台或道路平台臨海的邊緣未發生溢淹，則調升波高、週期或初始水位後重啟新的模擬。以該方式調整條件直到調整後的海況條件皆已經過模擬或是已達條件的上、下限為止，參照圖 4.11 的流程。而 44K+000 則參考相鄰的 43K+750 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 4.12 所示。44K+250 的模擬流程則與 44K+000 相同。最後分析所有模擬情境在模擬期間的 VOF 空間分布最大值來探討發生道路溢淹的海況條件。

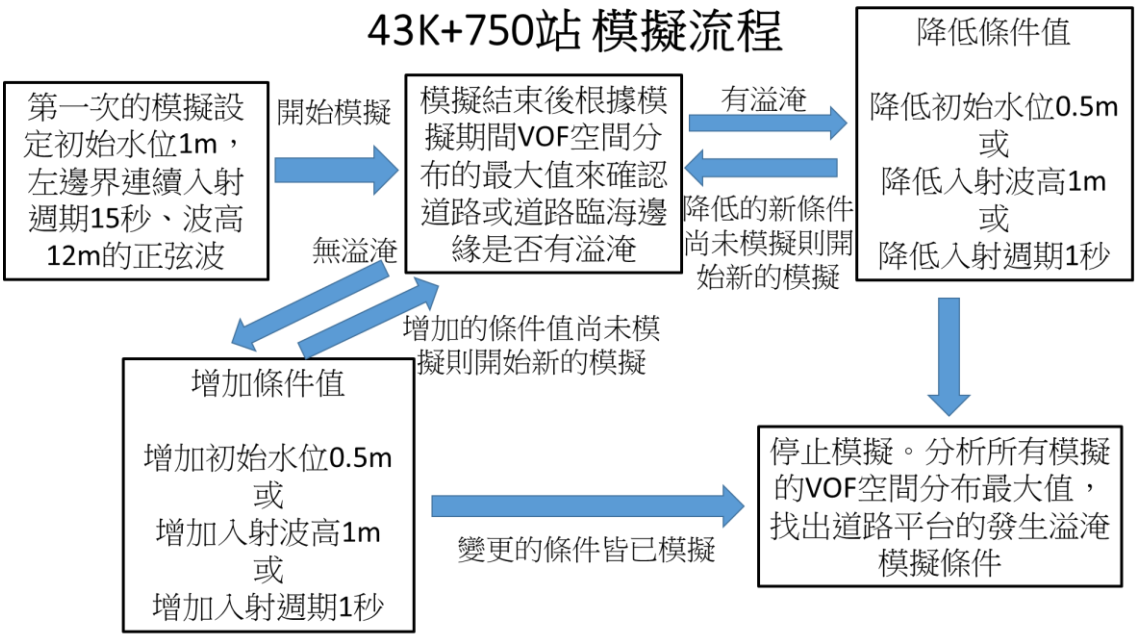


圖 4.11 台 11 線 43k+750 的情境模擬流程圖

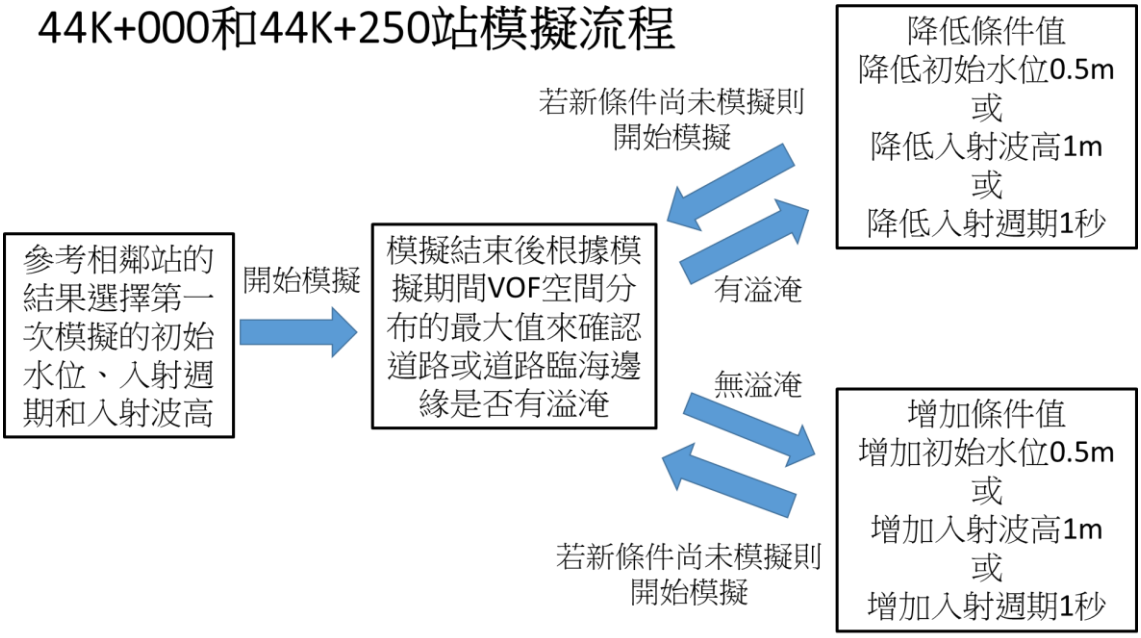


圖 4.12 台 11 線 44K+000 和 44K+250 的模擬流程

以 43K+750 為例，左邊界入射波高 12m、週期 15 秒的連續正弦波且初始水位為 1m 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 4.13。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 4.14。由圖 4.14 下圖可知陸地區域 X 座標 0 到 35.5m 皆有溢淹的狀況，其中 35 到 47m 之間為寬 12m 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：

1.波高 11m，週期 15 秒，初始水位 1.0m

2.波高 12m，週期 14 秒，初始水位 1.0m

3.波高 12m，週期 15 秒，初始水位 0.5m

以此類推，直到不發生溢淹或已達海況條件的上下限為止。此外當滿足平台靠海的邊緣未出現溢淹的海況條件時，在此仍模擬數個海況條件值更小的情境來檢視溢淹情況是否不同；同樣當出現使道路發生溢淹的海況條件時，仍追加模擬數個海況條件更大的情境來檢視道路溢淹的情形。

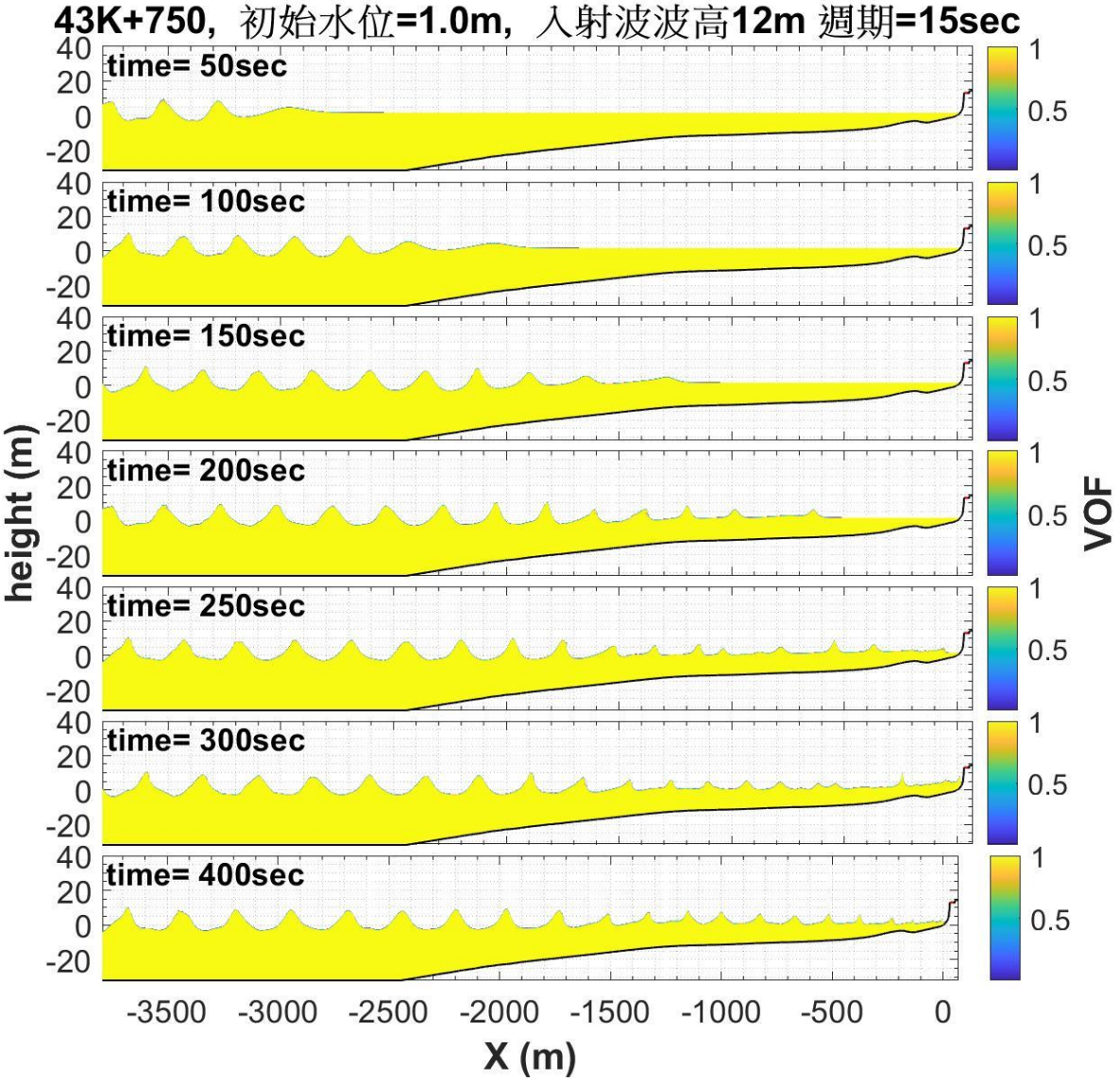


圖 4.13 43K+750 情境模擬 7 個時間段 VOF 空間分布。

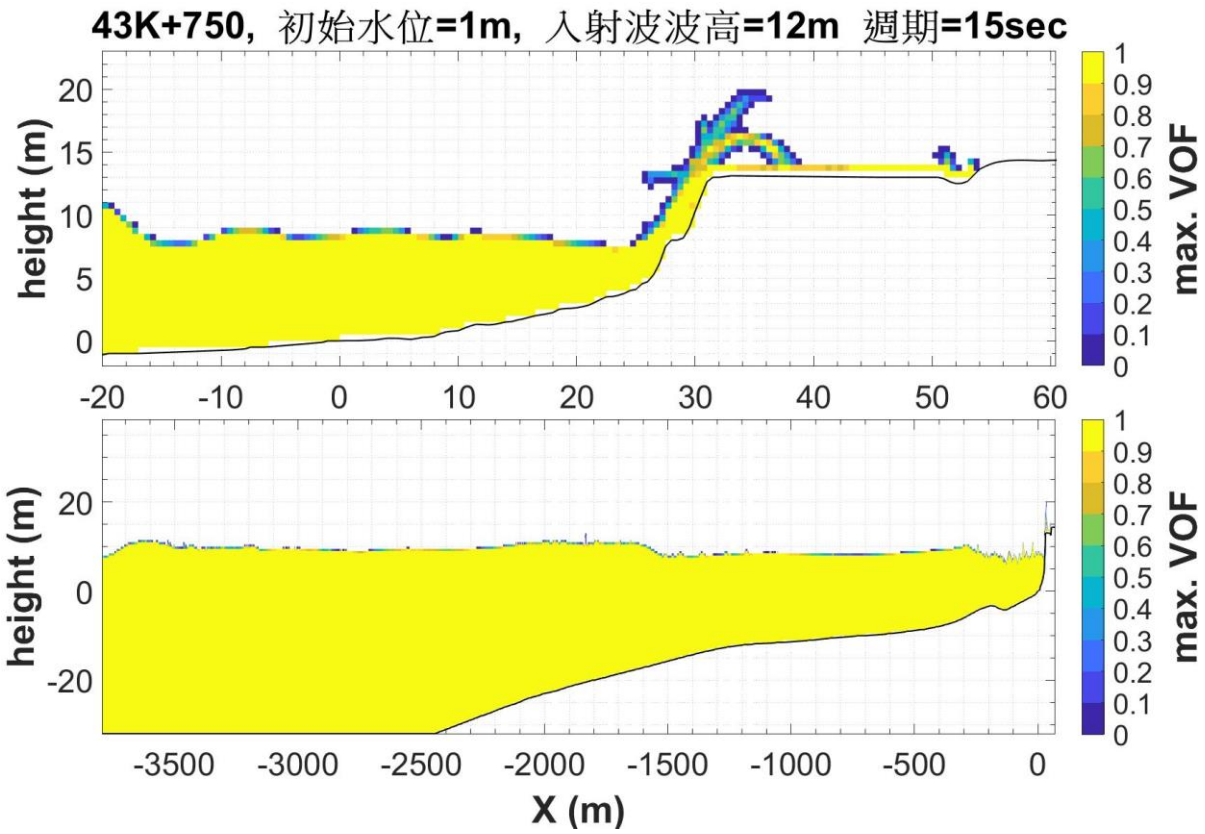


圖 4.14 61K+300 模擬期間的 VOF 空間分布最大值

4.4 模擬結果

本研究對台 11 線豐濱新社路段 43+750K、44+000K、44+250K 等 3 位置依不同海況條件各進行情境模擬。為後續分析道路與道路平台的臨海邊緣的溢淹情形以及考量道路的通行安全，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。各模擬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，而終點為道路的陸側邊緣。針對 12m 路寬另外再定義一個道路溢淹距離，藉以了解是否在雙向車道皆出現溢淹。道路溢淹距離的起點和終點各為道路的靠海和靠陸邊緣，距離值介於 0 到 12m。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。每個里程位置依上述的定義分析各情境數值並於後續 4.4.1 到 4.4.3 節列出，並於 4.4.4 節作討論。

4.4.1 台 11 線 43K+750

豐濱新社路段 43K+750 所在的道路高程約 13m，道路離岸線的水平距離約 35m，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 249 個浪襲道路的情境模擬。結果有 79 個情境發生道路溢淹，所有情境皆溢淹滿整個路寬。圖 4.15 為波高 11m、週期 15 秒以及潮位 1.5m 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 和 4-2b。

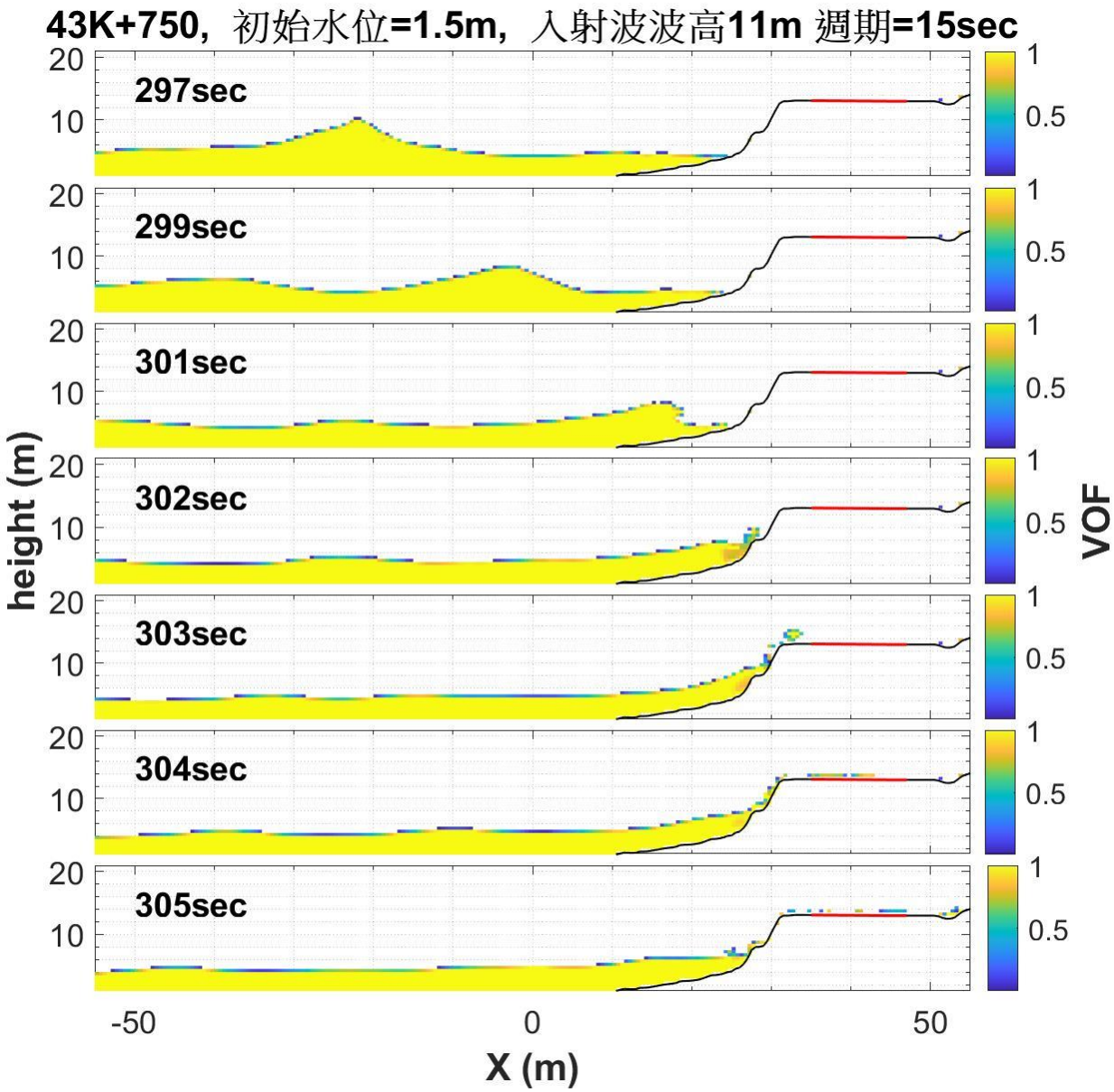


圖 4.15 43K+750 道路溢淹的情境(路面為 X=35 到 47m 紅線處)

表 4-1a 43K+750 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
43K+750	1.0							27					27	28	30
	1.5						30	29				28	28	29	30
	2.0			29	29	29	29	29		28	30	29	29	31	30
	2.5	26	28	29	30	30	30	31	27	30	34	31	30	31	31
	3.0	26	29	30	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	27	30	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)

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
43K+750	0.5						28							27	
	1.0					29	30	28					29	28	30
	1.5				29	30	30	30			28	30	30	31	29
	2.0		28	30	29	30	47 (12)	31	27	29	29	30	47 (12)	47 (12)	31
	2.5	29	30	31	30	31	47 (12)	47 (12)	28	31	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)
	3.0	29	33	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	29	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)

註 1.空白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 12m 的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-1b 43K+750 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
43K+750	0.0				26	26	27	29				27	27	29	30
	0.5			27	28	29	29	30			27	28	28	30	30
	1.0			29	30	31	30	30			30	30	31	31	47 (12)
	1.5		29	30	31	31	31	47 (12)	27	28	29	31	47 (12)	31	47 (12)
	2.0	28	29	35	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	28	30	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)
	2.5	29	30	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	30	30	47 (12)	47 (12)			
	3.0	29	47 (12)	47 (12)					29	47 (12)	47 (12)				

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
43K+750	0.0					29	29	29				27	29	30	30
	0.5			30	29	29	29	29			29	28	30	30	30
	1.0		27	29	31	31	47 (12)	47 (12)			29	31	31	47 (12)	47 (12)
	1.5	28	27	31	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	27	29	33	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)
	2.0	29	30	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	29	31	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)
	2.5	29	47 (12)	47 (12)	47 (12)				29	47 (12)	47 (12)	47 (12)			
	3.0	30	47 (12)	47 (12)					29	47 (12)	47 (12)				

註 1.空白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 12m 的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-2a 43K+750 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
43K+750	1.0							0.0					0.0	0.0	0.0
	1.5						0.0	0.0				0.0	0.0	0.0	11.5
	2.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	16.1	12.0
	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0	17.5	14.2	14.5	13.6	16.5
	3.0	0.0	0.0	12.5	18.0	15.1	19.5	14.0	0.0	11.5	14.5	20.0	20.0	14.2	15.9

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
43K+750	0.5						0.0							0.0	
	1.0					0.0	0.0	0.0					0.0	0.0	11.7
	1.5				0.0	11.5	13.0	0.0			0.0	0.0	0.0	15.0	0.0
	2.0		0.0	0.0	0.0	13.0	15.2	13.5	0.0	0.0	0.0	13.0	14.6	23.0	13.6
	2.5	0.0	12.0	13.7	14.5	15.5	15.5	22.5	0.0	17.0	16.0	17.0	15.0	19.0	22.5
	3.0	0.0	19.0	14.0	15.5	17.5	17.5	19.0	0.0	15.1	16.5	19.2	18.6	18.5	21.0

註 1：空白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 4-2b 43K+750 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
43K+750	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			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.0			0.0	13.0	15.0	13.5	12.5			11.5	12.3	14.0	13.6	14.7
	1.5		0.0	0.0	17.5	14.5	13.6	16.0	0.0	0.0	0.0	13.1	17.5	13.6	15.6
	2.0	0.0	0.0	16.0	19.5	17.5	17.0	14.3	0.0	0.0	13.5	19.5	16.5	18.0	14.3
	2.5	0.0	13.0	15.5	20.5	17.0	19.7	16.5	0.0	15.5	21.0	17.5			
	3.0	0.0	15.5	21.5					0.0	20.0	19.0				

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
43K+750	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			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.0		0.0	0.0	15.5	13.6	14.7	13.8			0.0	13.5	13.6	17.5	16.1
	1.5	0.0	0.0	13.7	13.6	14.5	15.1	15.0	0.0	0.0	18.5	15.0	14.7	21.0	17.0
	2.0	0.0	12.7	15.5	17.9	18.5	21.2	18.0	0.0	24.0	14.0	19.6	16.5	14.6	24.0
	2.5	0.0	16.5	19.1	17.0				0.0	16.3	17.5	17.5			
	3.0	0.0	14.6	21.0					0.0	19.0	21.0				

註 1：空白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。

4.4.2 台 11 線 44K+000

豐濱新社路段 44K+000 所在的道路高程約 11.5m，道路離海岸的水平距離約 45m。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 223 個浪襲道路的情境模擬。結果有 54 個情境發生道路溢淹，所有溢淹情境皆溢淹滿整個路寬。圖 4.16 為波高 12m、週期 16 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。

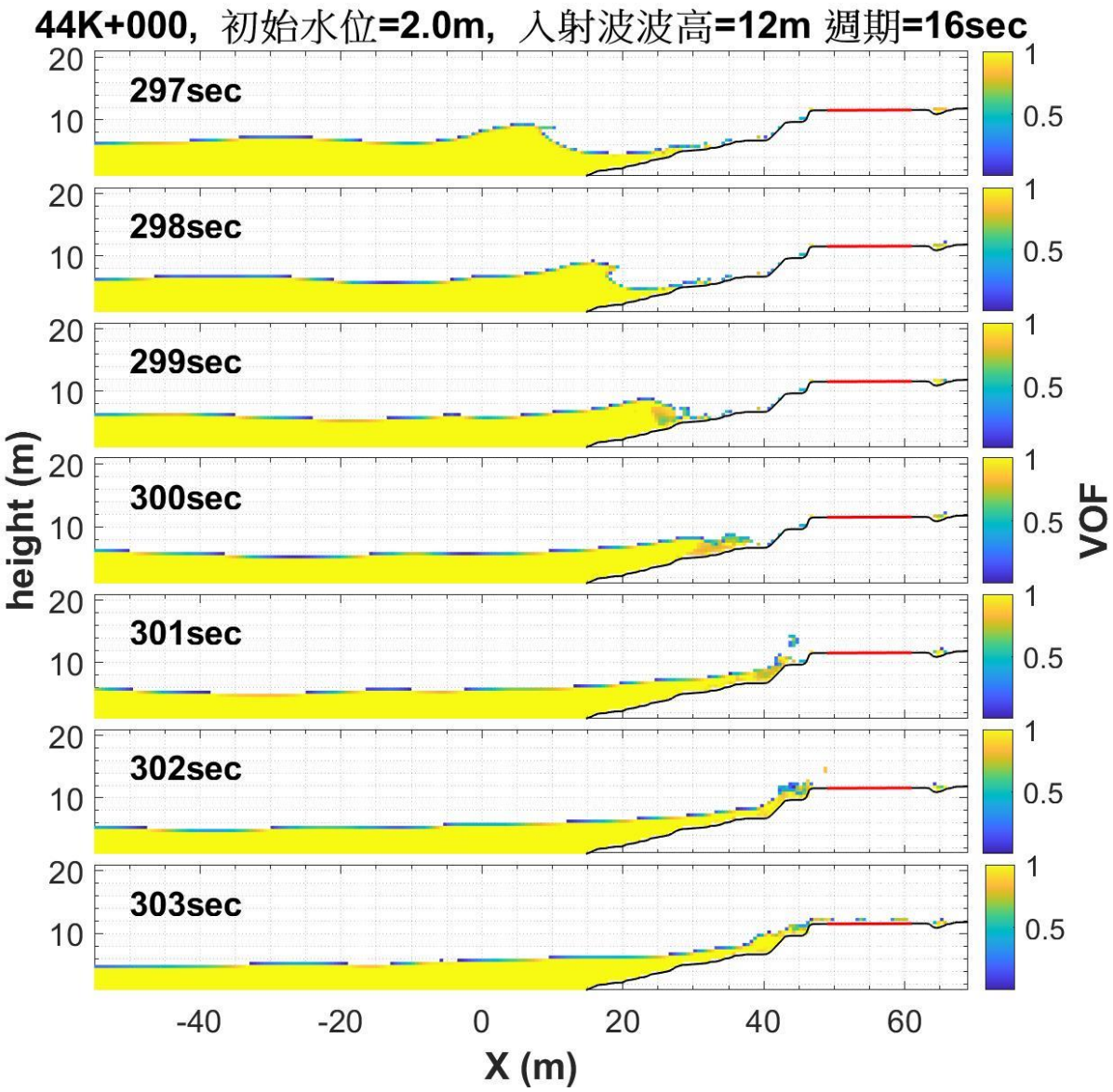


圖 4.16 44K+000 道路溢淹的情境(路面為 X=49 到 61m 紅線處)

表 4-3a 44K+000 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
44K+000	1.5														41
	2.0					41	41	41			42	41	41	41	43
	2.5	32	41	42	43	43	42	43	36	42	43	43	42	42	46
	3.0	32	41	42	43	46	46	47	34	42	46	46	47	46	61 (12)

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
44K+000	1.0						36	41					42	41	41
	1.5					41	41	42				41	41	43	42
	2.0		41	42	41	42	46	46		41	42	42	46	46	47
	2.5	34	43	46	46	46	46	46	41	43	46	46	46	46	61 (12)
	3.0	40	42	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	41	46	47	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)

註 1.空白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 12m 的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-3b 44K+000 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
44K+000	0.5						41							42	42
	1.0				42	42	41	41				43	43	42	42
	1.5		41	41	43	42	47	43		41	42	42	46	46	46
	2.0		43	42	46	46	46	46		42	42	46	46	61 (12)	46
	2.5	42	42	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	41	43	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)
	3.0	41	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)			42	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)		

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
44K+000	-0.5							41							40
	0.0					36	42	41						41	42
	0.5				43	41	42	46			41	44	42	41	46
	1.0			42	43	46	42	46		32	41	42	47	46	47
	1.5		41	42	43	47	46	46		41	47	46	47	46	46
	2.0	41	43	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)	41	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)
	2.5	41	42	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)	42	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)
	3.0	43	61 (12)	61 (12)	61 (12)				42	61 (12)	61 (12)	61 (12)			

註 1.空白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 12m 的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-4a 44K+000 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
44K+000	1.5														0.0
	2.0					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	0.0	11.5
	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	11.0	12.2	0.0	0.0	11.8	19.5	13.5	12.0	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
44K+000	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
	2.0		0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	15.5		0.0	0.0	0.0	11.0	10.7	12.5
	2.5	0.0	0.0	11.3	11.2	11.0	11.4	11.2	0.0	0.0	11.0	11.0	11.7	13.5	12.8
	3.0	0.0	0.0	11.6	12.5	13.5	13.4	16.0	0.0	11.5	12.1	13.5	13.5	17.0	14.2

註 1：空白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 44K+000 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
44K+000	0.5						0.0							0.0	0.0
	1.0				0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0	0.0	0.0
	1.5		0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	0.0		0.0	0.0	0.0	11.0	11.2	11.5
	2.0		0.0	0.0	11.5	11.0	17.2	11.0		0.0	0.0	11.4	12.9	12.8	12.7
	2.5	0.0	0.0	11.0	11.5	13.0	20.5	13.1	0.0	0.0	12.4	12.1	14.5	15.5	22.5
	3.0	0.0	14.0	16.0	23.5	16.1			0.0	14.0	18.5	17.7	18.5		

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
44K+000	-0.5							0.0							0.0
	0.0					0.0	0.0	0.0						0.0	0.0
	0.5				0.0	0.0	0.0	10.7			0.0	0.0	0.0	0.0	11.0
	1.0			0.0	0.0	12.0	0.0	14.3		0.0	0.0	0.0	16.6	12.0	13.7
	1.5		0.0	0.0	0.0	12.1	12.8	13.0		0.0	13.5	12.0	12.5	12.0	12.0
	2.0	0.0	0.0	11.0	13.8	14.0	14.5	14.0	0.0	11.0	11.1	12.8	13.6	13.5	16.0
	2.5	0.0	0.0	13.4	16.5	15.0	15.5	15.5	0.0	12.0	18.0	16.0	15.2	14.5	18.0
	3.0	0.0	20.0	13.1	17.5				0.0	13.2	14.0	15.0			

註 1：空白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。

4.4.3 台 11 線 44K+250

豐濱新社路段 44K+250 所在的道路高程約 11.5m，道路離海岸的水平距離為 49m，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 230 個浪襲道路的情境模擬。結果有 35 個情境發生道路溢淹且皆溢淹滿 12m 路寬。圖 4.17 為波高 12m、週期 16 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 4-5a 和 4-5b。另外道路邊緣的最大水位高程列於表 4-6a 和 4-6b。

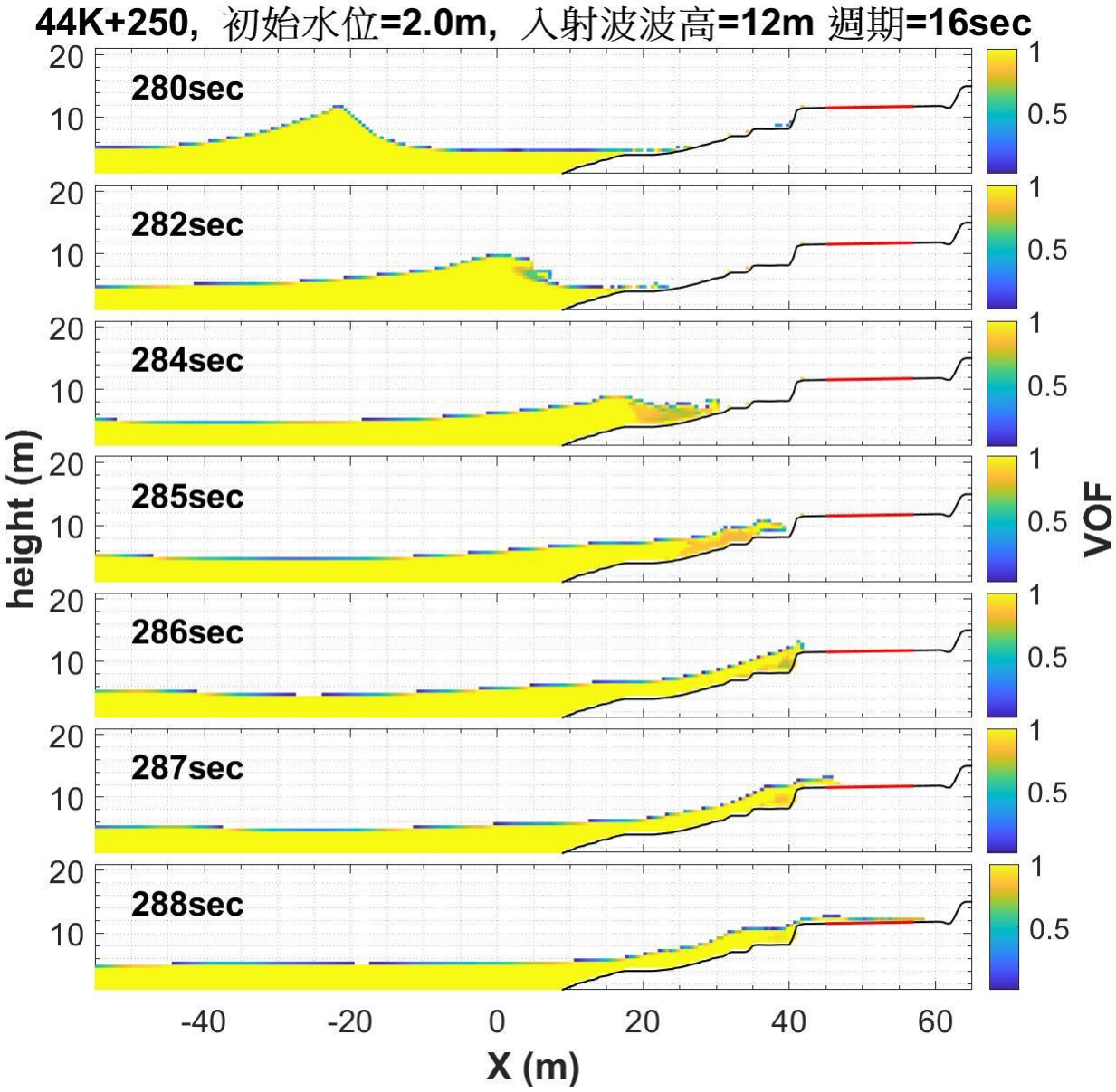


圖 4.17 44K+250 道路溢淹的情境(路面為 X=45 到 57m 紅線處)

表 4-5a 44K+250 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
44K+250	1.5												31	32	34
	2.0				32	40	35	34				34	40	35	40
	2.5	26	31	35	40	40	40	40	28	31	34	40	40	40	40
	3.0	28	35	40	40	42	41	41	29	35	40	41	42	41	41
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
44K+250	1.0													40	35
	1.5					32	34	40			31	35	34	40	40
	2.0			35	35	40	40	40		31	35	40	40	40	41
	2.5	29	35	35	40	40	40	41	31	40	41	40	41	41	42
	3.0	35	40	41	41	42	41	42	31	41	41	41	42	57 (12)	57 (12)

註 1.空白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 12m 的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-5b 44K+250 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
44K+250	0.0														32
	0.5						34	35					40	40	40
	1.0					40	40	40			34	35	40	40	40
	1.5			34	35	40	40	41		32	40	40	40	41	42
	2.0		34	40	40	40	41	41	32	35	40	40	41	42	57 (12)
	2.5	31	40	40	40	41	42	57 (12)	34	40	40	57 (12)	57 (12)	57 (12)	57 (12)
	3.0	34	41	41	41	57 (12)	57 (12)	57 (12)	34	40	42	57 (12)	57 (12)	57 (12)	

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
44K+250	-0.5						32	40						30	32
	0.0					35	34	35					40	40	40
	0.5				34	40	40	40				31	40	35	40
	1.0			31	40	41	40	40				40	40	41	41
	1.5		34	40	40	40	42	57 (12)			40	40	41	57 (12)	57 (12)
	2.0	34	40	40	41	41	42	57 (12)	35	40	40	41	42	57 (12)	57 (12)
	2.5	35	40	41	57 (12)	57 (12)	57 (12)	57 (12)	40	42	41	57 (12)	57 (12)	57 (12)	57 (12)
	3.0	35	40	57 (12)	57 (12)	57 (12)	57 (12)		40	41	57 (12)	57 (12)	57 (12)		

註 1.空白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 12m 的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

表 4-6a 44K+250 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
44K+250	1.5												0.0	0.0	0.0
	2.0				0.0	9.5	0.0	0.0				0.0	9.5	0.0	9.2
	2.5	0.0	0.0	0.0	9.0	9.5	9.0	9.5	0.0	0.0	0.0	10.4	10.4	9.6	11.0
	3.0	0.0	0.0	9.6	10.5	16.0	19.0	22.3	0.0	0.0	9.8	12.0	20.0	20.0	16.9

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
44K+250	1.0													9.5	0.0
	1.5					0.0	0.0	9.5			0.0	0.0	0.0	9.8	9.3
	2.0			0.0	0.0	9.0	9.5	10.5		0.0	0.0	9.5	9.5	13.0	12.0
	2.5	0.0	0.0	0.0	9.9	11.2	10.6	15.5	0.0	9.5	18.5	11.8	12.5	16.5	14.5
	3.0	0.0	9.5	16.0	33.0	14.0	12.7	22.0	0.0	12.0	35.8	28.5	32.0	29.0	28.0

註 1：空白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 4-6b 44K+250 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
44K+250	0.0														0.0
	0.5						0.0	0.0					9.5	9.7	9.7
	1.0					9.5	9.5	9.5			0.0	0.0	9.5	9.9	10.9
	1.5			0.0	0.0	9.7	10.9	12.2		0.0	9.0	9.0	11.5	14.3	15.3
	2.0		0.0	8.8	9.8	10.6	20.5	16.0	0.0	0.0	10.5	11.0	14.0	35.8	20.5
	2.5	0.0	9.9	10.6	11.3	32.5	29.7	32.8	0.0	17.5	11.0	15.5	19.0	19.0	19.0
	3.0	0.0	15.4	14.0	16.7	21.5	36.0	23.5	0.0	10.5	35.9	34.0	22.3	34.5	
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
44K+250	-0.5						0.0	8.6						0.0	0.0
	0.0					0.0	0.0	0.0					9.6	8.6	9.6
	0.5				0.0	10.3	10.2	10.7				0.0	9.5	0.0	11.1
	1.0			0.0	9.6	11.9	11.3	10.6				9.5	10.7	15.5	14.0
	1.5		0.0	9.5	10.5	11.0	15.5	24.0			10.5	10.5	28.0	14.0	13.0
	2.0	0.0	10.2	11.5	13.4	29.5	30.5	21.5	0.0	10.0	10.5	17.5	15.0	18.2	36.0
	2.5	0.0	11.0	27.0	26.0	35.8	24.7	25.4	9.5	18.2	13.8	33.0	24.5	22.5	19.0
	3.0	0.0	11.0	23.0	33.0	35.7	17.5		9.5	17.5	14.5	35.9	21.0		

註 1：空白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。

4.4.4 討論

根據 4.4.1 到 4.4.3 節各里程的陸地溢淹距離表，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，結果顯示當發生道路溢淹時，溢淹範圍皆會佈滿整個 12m 路寬。主要是因為海浪溯上(或飛濺)的水體

只要抵達道路平台後，皆會持續往道路內側流動。另外根據上述幾節中各里程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、週期和潮位等三個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。

為了解豐濱新社路段 3 個里程斷面發生道路溢淹條件之間的差異，在此根據各里程的所有道路溢淹的情境條件，以固定潮位的方式，每個斷面列出每個入射波周期會發生溢淹的入射波高下限值。在 8 種潮位條件中至少需要 1m 才會發生道路溢淹，其發生溢淹的入射波波高和週期下限如圖 4.18 到 4.20。當潮位為在 1m 以上時，波高至少需要 10m 以上，同時週期需 15 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。

由圖 4.18 到 4.22 可知，整體上在同樣潮位條件下，道路出現溢淹所需的波高和週期下限值以 43K+750 最小，其次為 44K+000，最大為 44K+250。如果將低下限值視為容易溢淹的話，則大致以 43K+750 最容易發生道路溢淹，而 44K+250 最不容易發生溢淹。43K+750 道路高程 13m 雖比其他 2 位置高 1.5m，但其道路離岸水平距離為 35m 離海岸較近，相對於 44K+000 的 49m 和 44K+250 的 45m，可能是最易發生道路溢淹的原因。

44K+000 和 44K+250 在離岸距離與道路高程雖然皆相近，但在潮位 1.5m 時，44K+250 需在波高 11m 以上且週期 15 秒以上才會發生道路溢淹，44K+000 則未出現道路溢淹；而在潮位 2m 以上則是 44K+000 較易溢淹，其發生溢淹的條件差異可能與此 2 斷面的近岸地形不同有關。

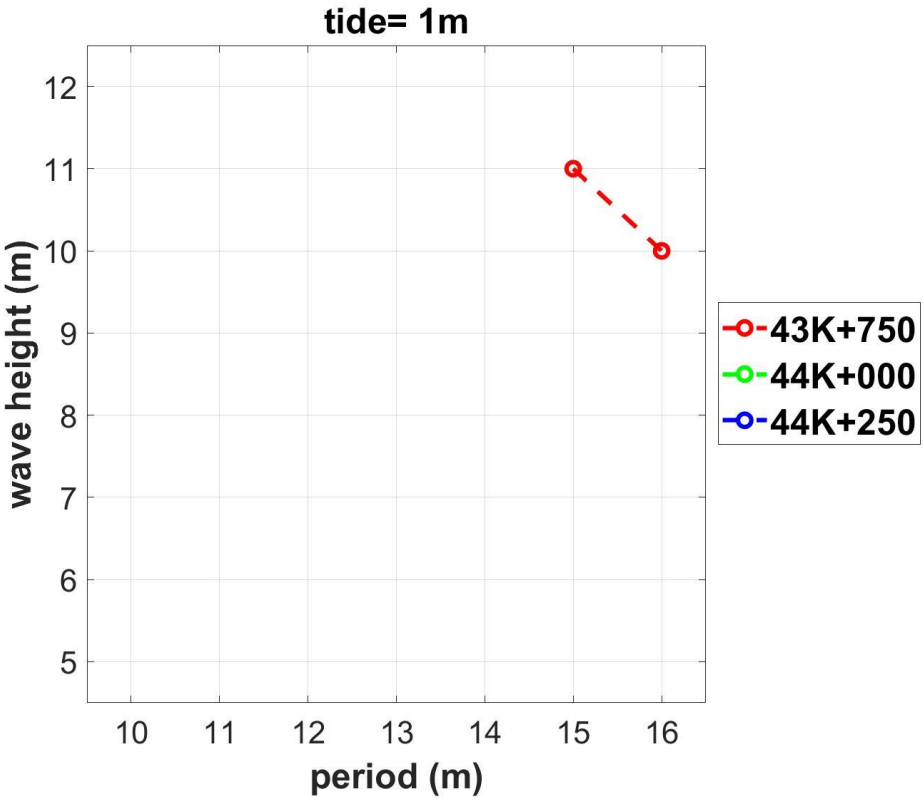


圖 4.18 當潮位 1m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限

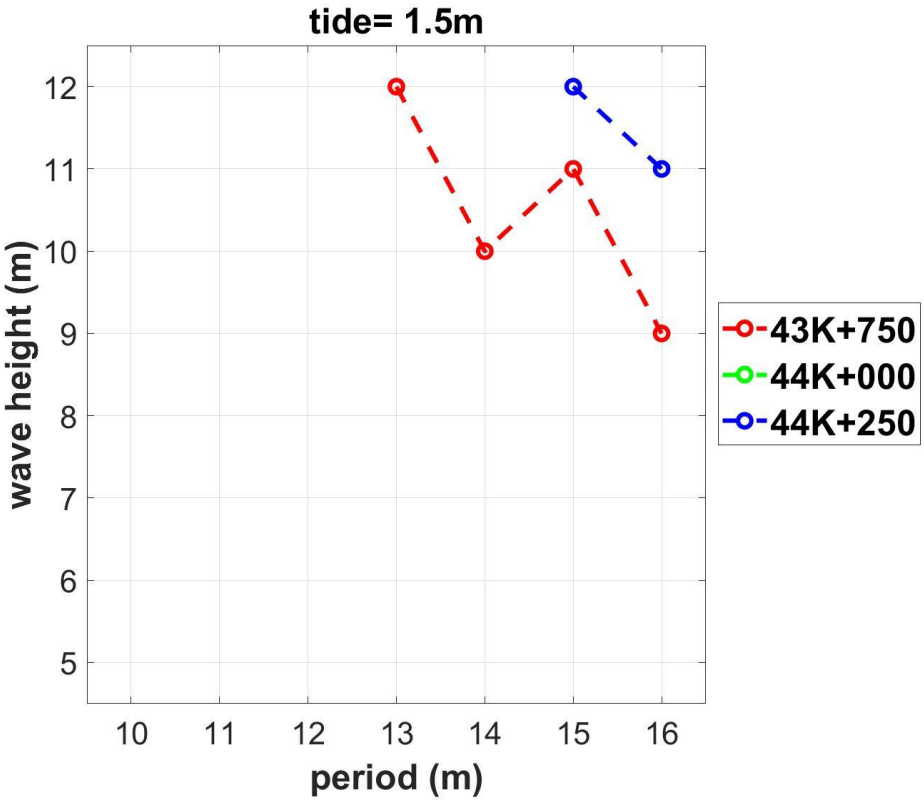


圖 4.19 當潮位 1.5m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限

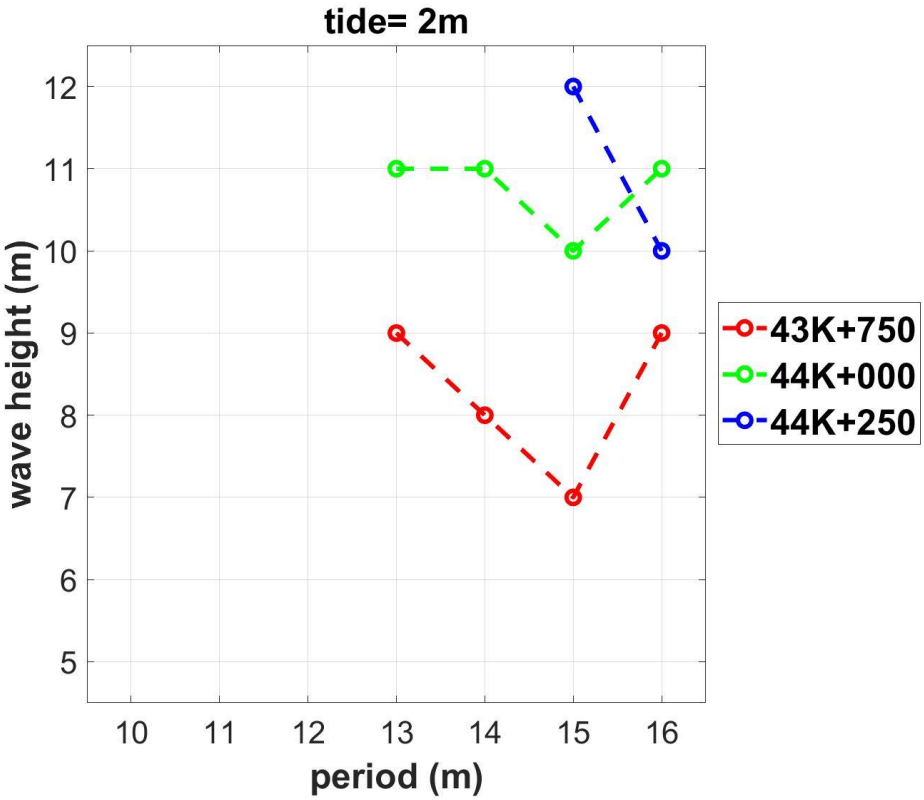


圖 4.20 當潮位 2m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限

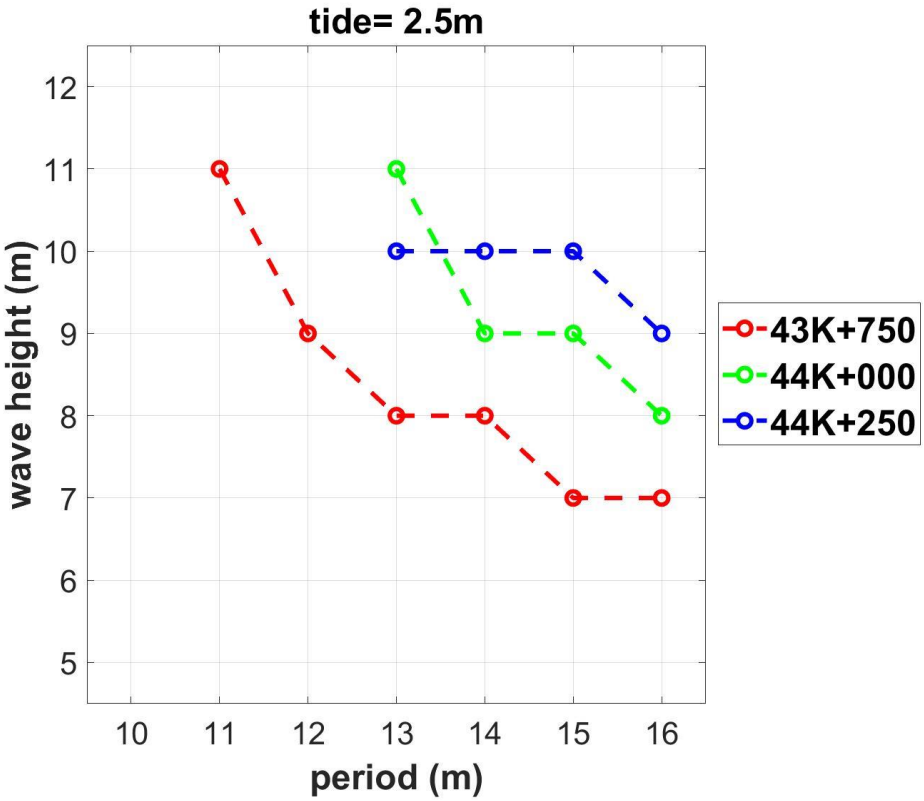


圖 4.21 當潮位 2.5m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限

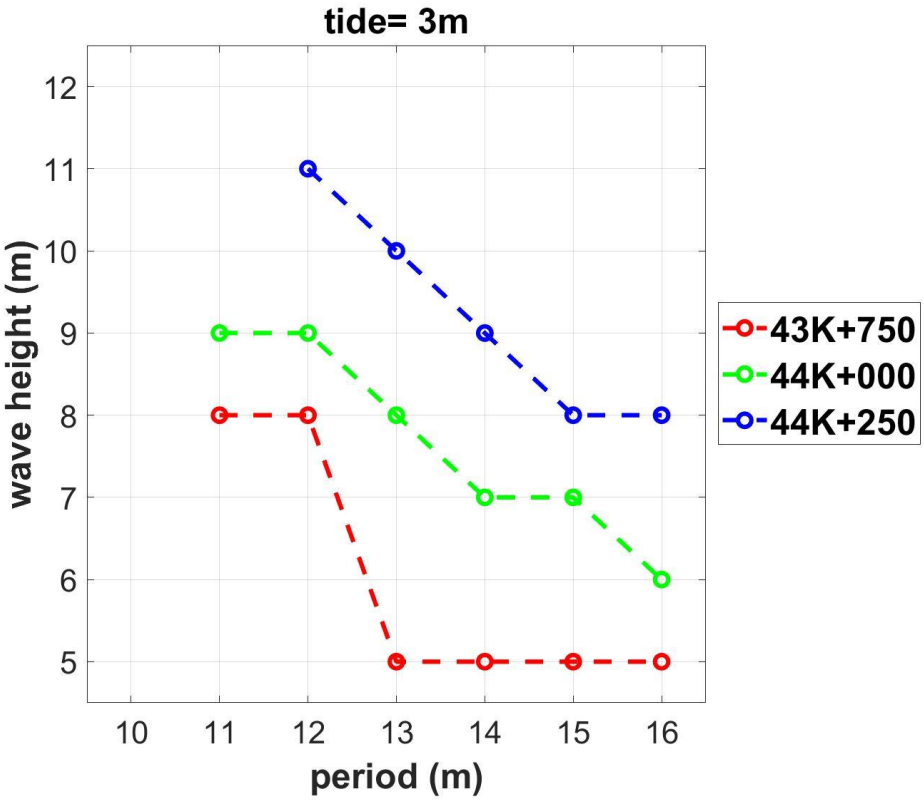


圖 4.22 當潮位 3m 時，各週期對應發生道路溢淹的波高下限

4.5 花蓮海岸公路浪襲預警系統擴充

4.5.1 浪襲警戒燈號定義

根據豐濱新社路段 3 個里程位置的情境模擬結果，本文參考上年度交通部運輸研究所合作研究計畫(陳等，2020)在台 11 線人定勝天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)低於道路平台高程-1m。

黃色：接近道路邊緣的水位(或浪花)高於道路平台高程-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 4.23 為例，其潮位條件皆為 2m，入射波週期皆為 15 秒，由上至下的入射波波高各為 6m、9m、10m，按上述的燈號定義分別對應了警戒燈號綠、黃和紅，圖中 X=49 到 61m 的紅線區為道路範圍。根據上述定義，豐濱新社路段 3 個里程所有情境所對應的燈號列於圖 4.24 到圖 4.26。

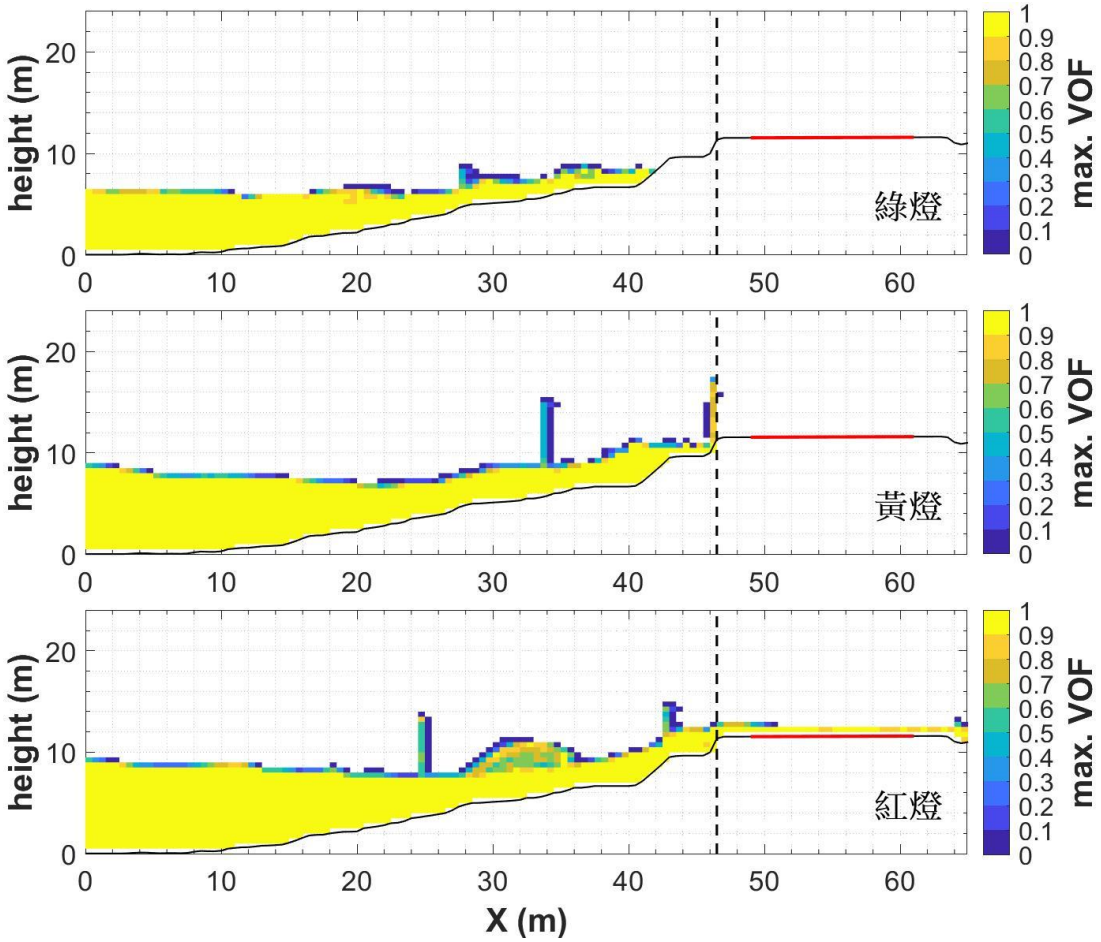


圖 4.23 44K+000 之 VOF 空間分布最大值(上至下對應綠、黃和紅 3 種燈號)

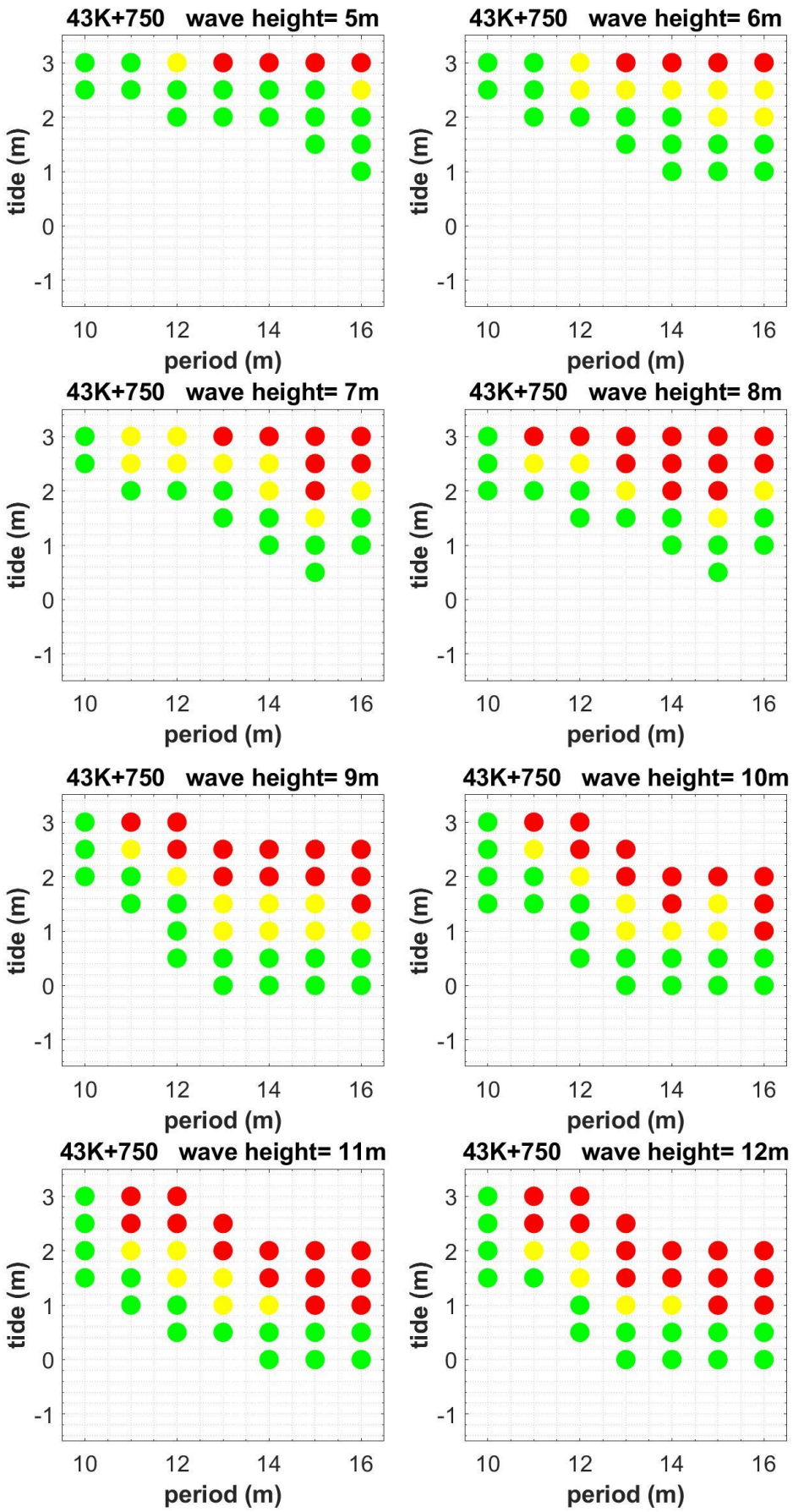


圖 4.24 43K+750 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

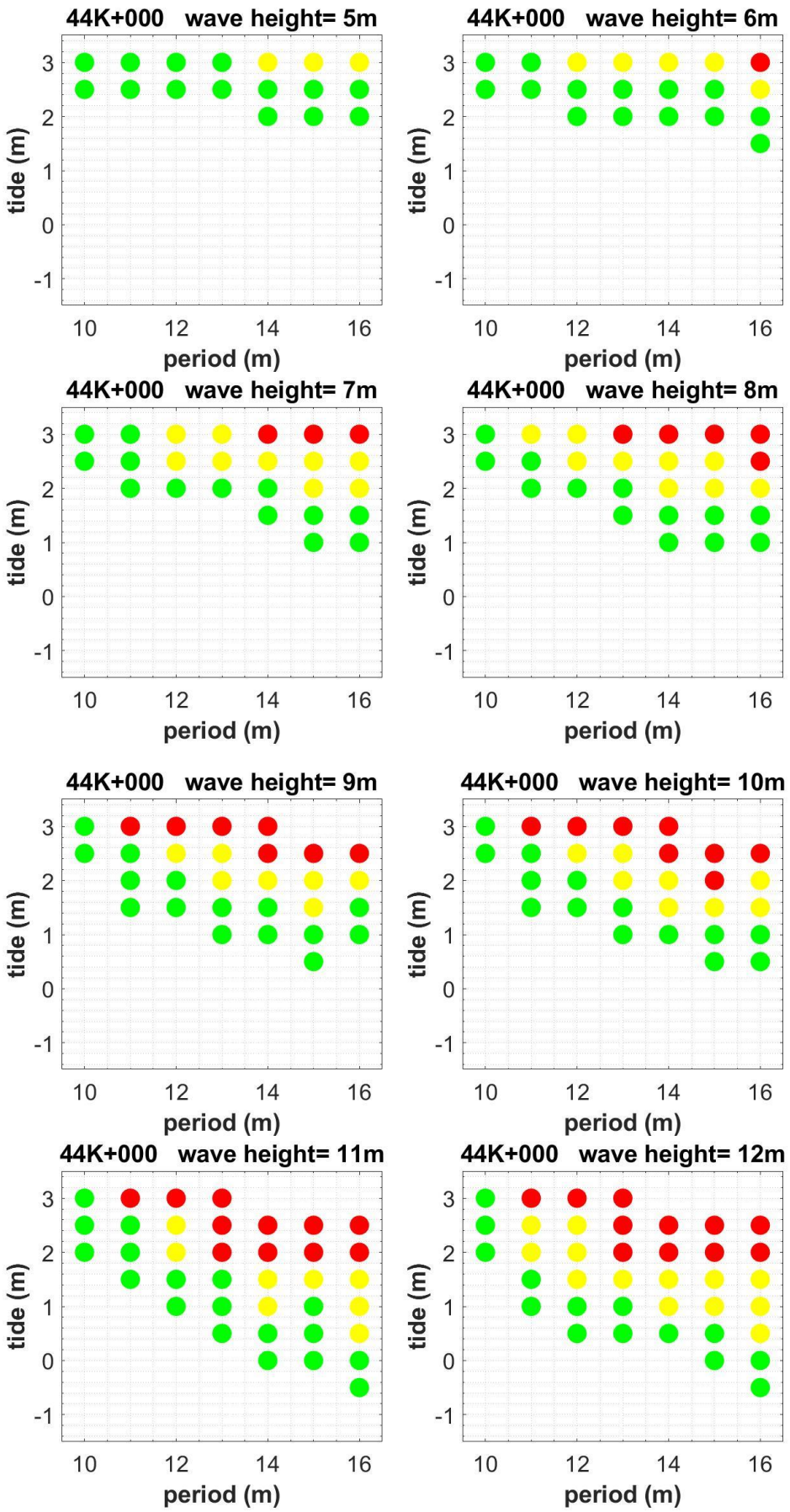


圖 4.25 44K+000 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

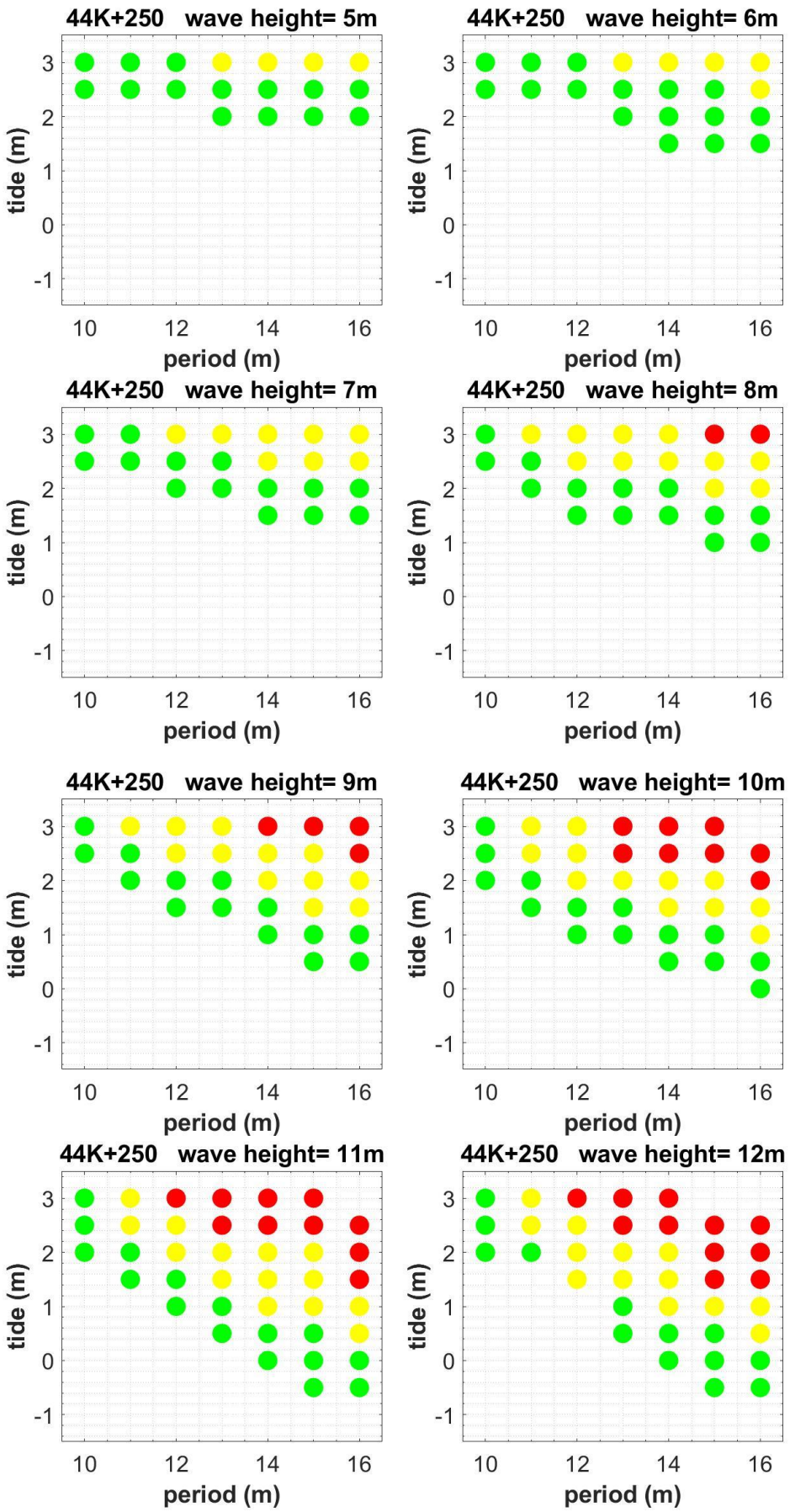


圖 4.26 44K+250 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

4.5.2 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 TaiCOMS(Taiwan Coastal Operational Modeling System)模式在台 11 線 44K 外海的波浪和潮位預報，預報位置如圖 4.4 綠三角所示。利用示性波高、尖峰週期和潮位預報值來決定三個條件，並藉此產生台 11 線豐濱新社路段的海岸公路浪襲警戒預報檔，如圖 4.27。

第1-4欄	第5-7欄			第8-10欄			第11-19欄									第20欄
2020 10 29 01	1.318	4.432	0.463	5.0	10.0	0.0	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0			1
2020 10 29 02	1.346	4.519	0.461	5.0	10.0	0.0	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0			1
2020 10 29 03	1.391	4.607	0.358	5.0	10.0	0.0	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0			1
2020 10 29 04	1.420	4.754	0.173	5.0	10.0	0.0	1	0.00	0.0	...	1	0.00	0.0			1
2020 10 29 05	1.446	4.905	-0.049	5.0	10.0	-0.5	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0			1
2020 10 29 06	1.475	4.997	-0.257	5.0	10.0	-0.5	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0			1
2020 10 29 07	1.481	5.024	-0.406	5.0	10.0	-0.5	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0			1
2020 10 29 08	1.461	5.015	-0.461	5.0	10.0	-0.5	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0			1

圖 4.27 豐濱新社路段浪襲警戒預報檔內容

圖 4.27 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 欄：預報的示性波高(m)對應最接近的情境入射波高條件。

第 9 欄：預報的尖峰週期(sec)對應最接近的情境入射週期條件。

第 10 欄：預報的潮位(m)對應最接近的情境潮位條件。

第 11 到 19 欄：第 11 到 13 欄各為省道里程 43K+750 的燈號、道路平台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 6 個欄位與第 11 到 13 欄意義相同，分屬於里程 44K+000 和 44K+250。

第 20 欄：43K+750、44K+000 和 44K+250 三里程中最嚴重的燈號值。

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 3 種條件對預報的示性波高修正值、尖峰周期和潮位進行陸地溢淹距離或道路臨海邊緣的水位高程的內插，最後根據內插值決定浪襲

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4.10)，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，則視為等同情境下限值的情況。

SWAN 預報的示性波高在利用情境資料庫內插之前需先經過兩項修正。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，由於預報點的水深約為 48m，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(4.1)式根據不同的波高和周期來計算由水深 48m 傳遞到 32m 的淺化係數K_s，再將預報的示性波高值乘上K_s。

$$\mathrm{H}_2 = \mathrm{H}_1 K_s \tag{4.1}$$

其中$K_s = \sqrt{\frac{C_{g_1}}{C_{g_2}}}$，下標 1 和 2 各代表水深 48m 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 $L_o = 1.56T^2$。

綜合上述 2 種修正，預報的示性波高修正值如(4.2)式。

$$H_s^{修正值} = 2H_s^{預報值} K_s \tag{4.2}$$

以圖 4.27 第 1 行 2020 年 10 月 29 日 1 時的 43K+750 為例。當示性波高為 1.318m(第 5 欄)、 尖峰週期為 4.432 秒(第 6 欄)、潮位 0.463m(第 7 欄)時，利用 4.2 式對示性波高進行修正可得 2.636m，並將該值當作情境的入射波高條件。由於 2.636m 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 0m(第 8 到 10 欄)，且該模擬情境為綠燈。由於 2020 年 10 月 29 日 1 時的波高、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 11 欄)，並給予道路臨海邊緣的最大水位高程(第 12 欄)和道路溢淹距離(第 13 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 4.28 所示。網頁上圖可展示台 11 線 44K 3 處位置的顏色燈號；中間圖展示波高，包括花蓮港的氣象局浮標即時觀測值及豐濱新社路段外海的 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豐濱新社路段外海的 TaiCOMS 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。

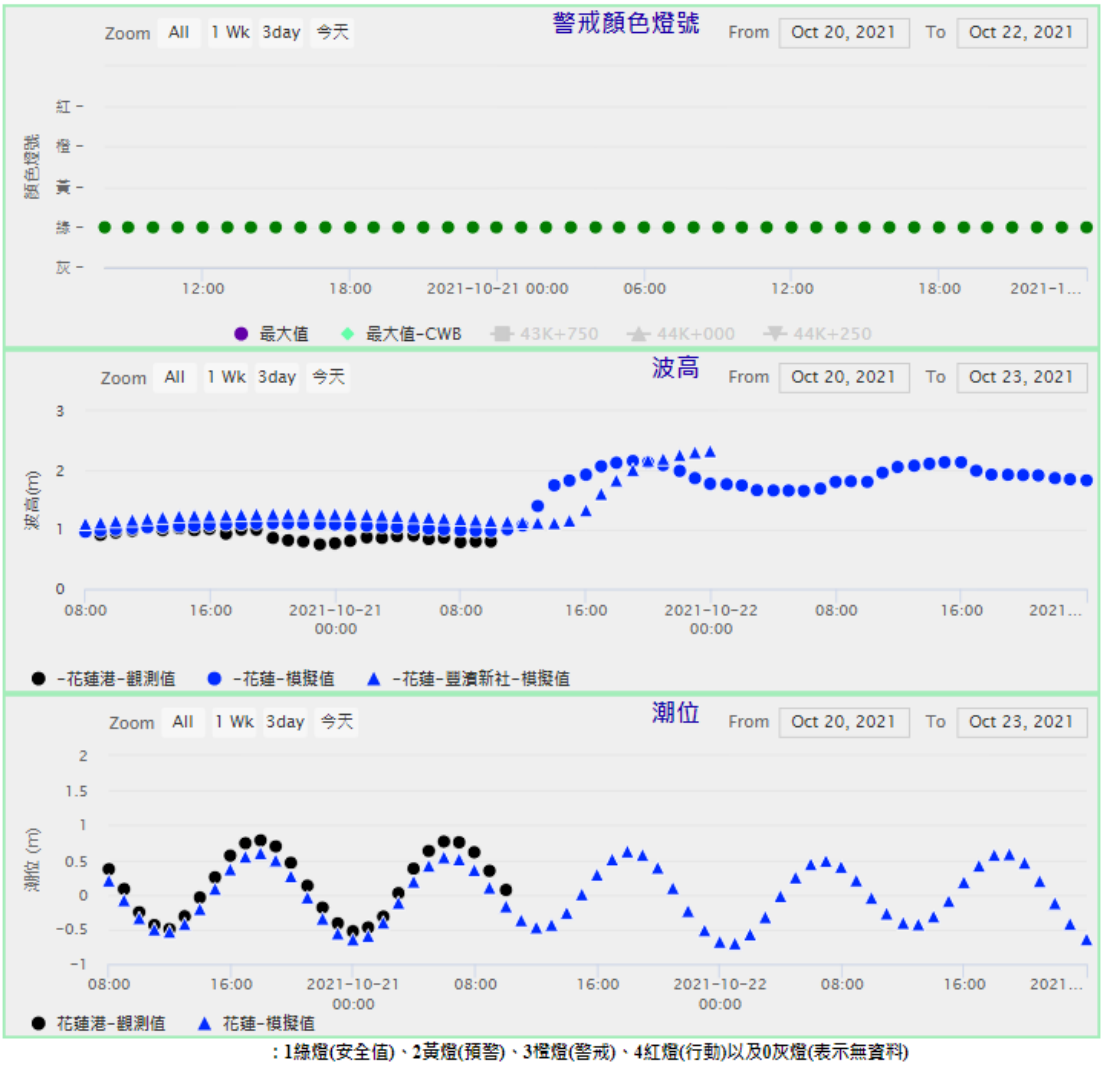


圖 4.28 花蓮海岸公路浪襲預警系統豐濱新社路段網頁

4.5.3 台 11 線豐濱新社路段浪襲評估

為了進一步評估豐濱新社路段 3 處斷面可能受到浪襲影響的程度，本節使用港灣技術研究中心過去 2021 年 7 月 7 日到 2021 年 9 月 30 日期間在豐濱新社路段外海所預報的 TaiCOMS 潮汐資料(東經 121.5636、北緯 23.6313)以及 SWAN 波浪資料(東經 121.56，北緯 23.64)搭配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 4.29 由上至下依序為浪襲警戒燈號、示性波高預報值、平均和尖峰週期預報值，最後是潮汐預報值。由於豐濱新社路段 3 位置有各自的浪襲警戒燈號，僅取 3 位置之中最嚴重的燈號作顯示。另外根據中央氣象局的長浪警戒交標準，將示性波高大於等於 1.5m 且平均週期大於等於 8 秒的時段在圖中以紅圈標示提供參考。由圖可知此期間最嚴重的燈號僅在 7 月 23 日 5 時出現一次黃燈(圖 4.30)，意即道路邊緣出現高於道路高程-1m 的水位但尚未出現道路溢淹。此時為煙花颱風接近台灣期間(圖 3.11)，其示性波高預報為 4.6m、尖峰週期 14.3 秒，而潮位約 1m，發生地點在 43K+750。另外列出 9 月燦樹颱風期間的燈號如圖 4.31，此期間雖然在 9 月 12 日 7 時的示性波高最大值達 5.9m，但尖峰週期和潮位各為 13 秒和 0.2m，與煙花颱風相較其未出現黃燈的主因為潮位過低(參照表 4-2b)。另外燦樹颱風於 11 日 13 時到 23 時之間在人定勝天段出現橙、紅燈(圖 3.20)，並出現浪襲事件(圖 3.21)，相較於豐濱新社路段更容易發生浪襲的原因可能是人定勝天段道路高程僅 7 到 9m 且離岸最近僅約 20m，另外個別對豐濱新社路段 3 位置進行統計的警戒燈號時數表如表 4-7 所示。

表 4-7 2021 年 7 月到 9 月預報值搭配情境資料庫的燈號時數

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		
43K+750	2000	1	0	0	0	13
44K+000	2001	0	0	0	0	11.5
44K+250	2001	0	0	0	0	11.5

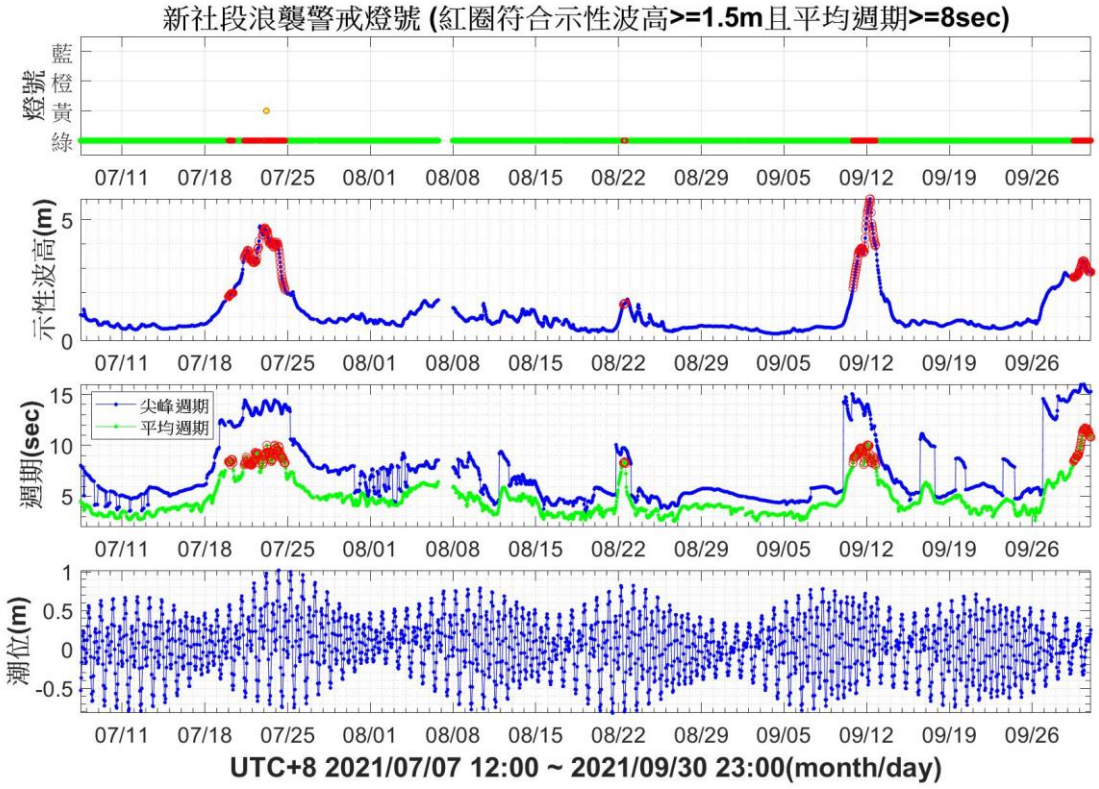


圖 4.29 豐濱新社路段的燈號(上)、示性波高(中上)、週期(中)和潮位(下)

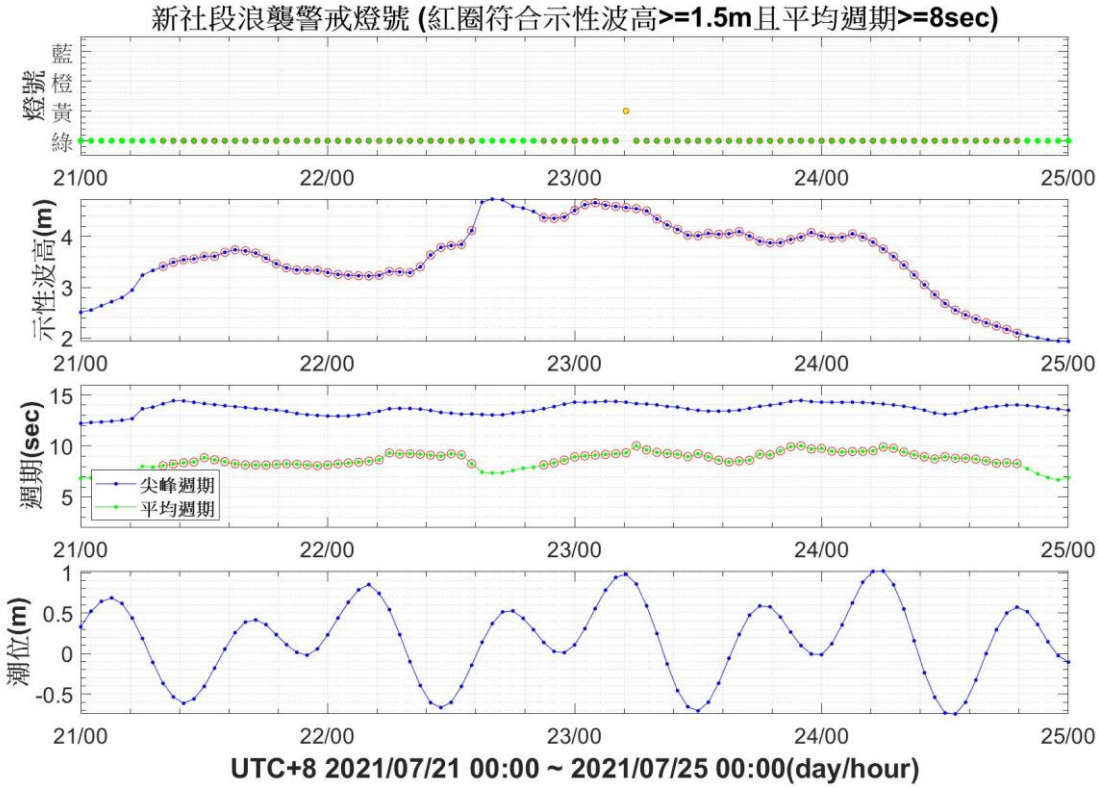


圖 4.30 煙花颱風期間豐濱新社路段的浪襲警戒燈號

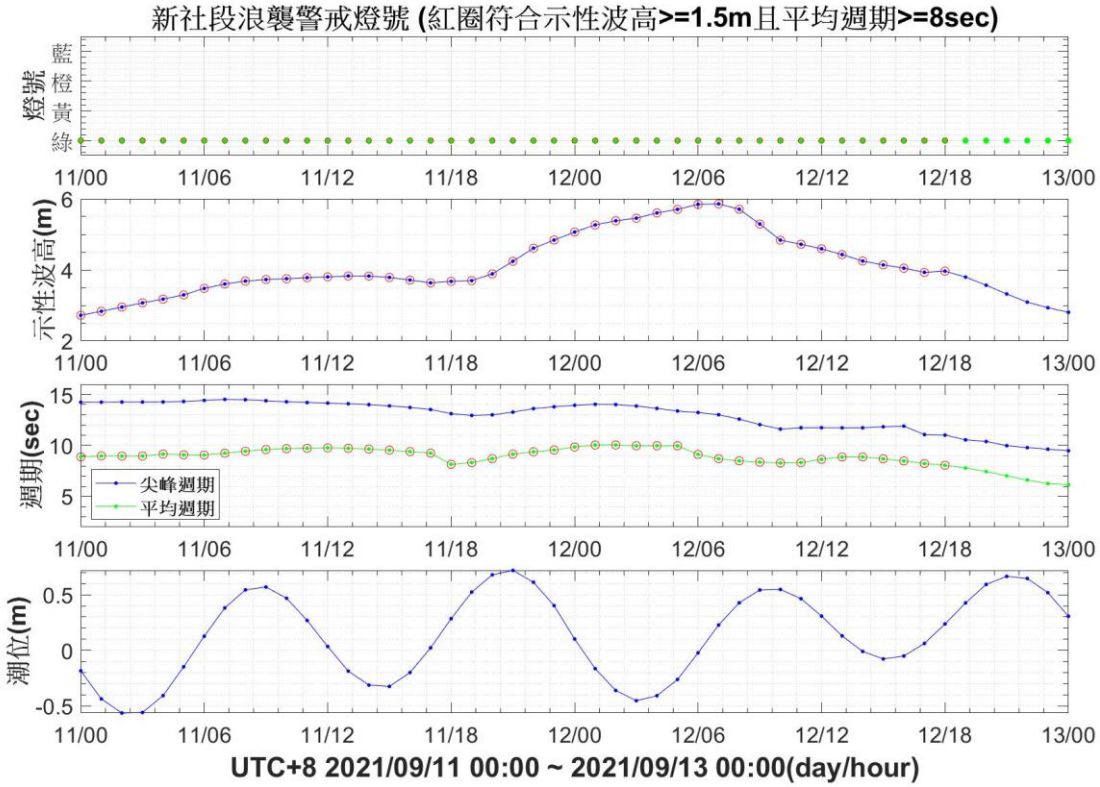


圖 4.31 燦樹颱風期間豐濱新社路段的浪襲警戒燈號

4.6 浪襲系統整合 CWB 的 QPEplus 網頁之可行性評估

計畫預計將花蓮海岸公路浪襲系統整合至中央氣象局 QPEplus 網頁，並將浪襲系統目前使用的港灣技術研究中心(IHMT)示性波高、尖峰週期和潮位預報改為使用氣象局(CWB)預報值。圖 4.32 和 4.33 各為 2021 年 8 月 25 日至 9 月 1 日在石門和新社站示性波高和尖峰周期的預報值，由圖可知大部分時間的 CWB 波高和週期預報皆高於 IHMT。

由於 COBRAS 情境模擬對消波塊區假設為不透水層，地形條件較保守的條件，如改用 CWB 的預報值作為波浪條件可能會高估道路浪襲的情況，故決定延用 IHMT 預報值。另外由於氣象局和公路局兩方目前尚無多餘人力可參與系統整合以及後續的系統維運作業，故暫不考慮整合進 QPEplus 網頁，之後仍由港灣技術研究中心維運浪襲系統。

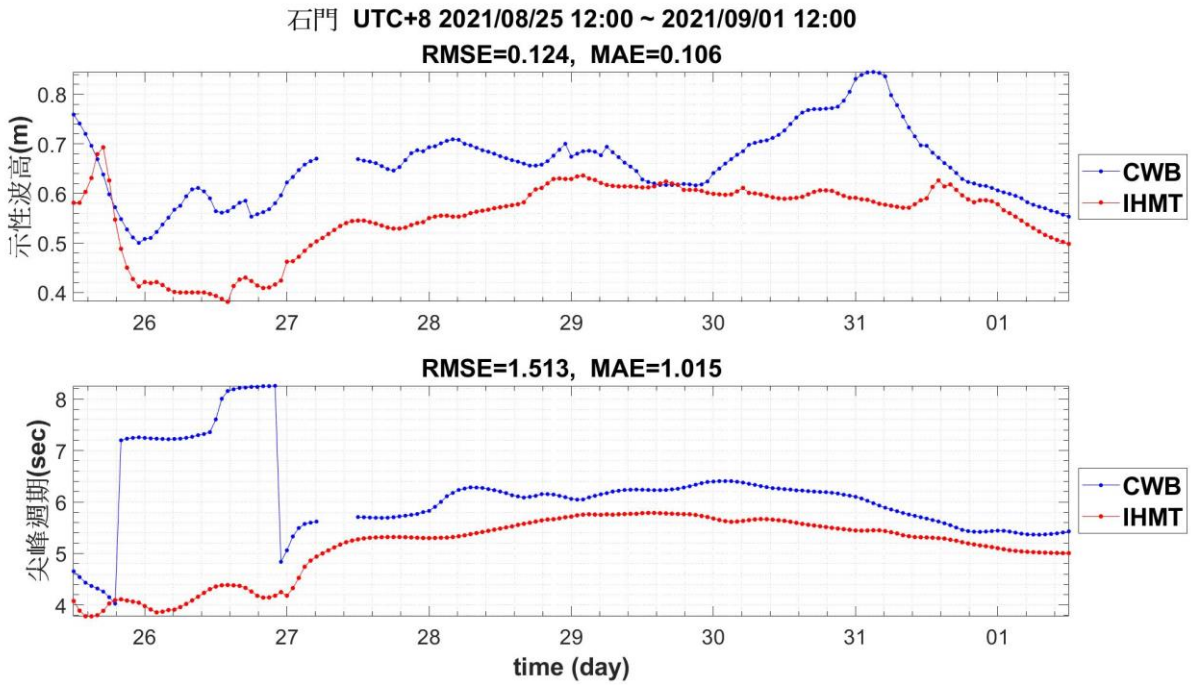


圖 4.32 CWB 和 IHMT 在石門的示性波高和尖峰週期預報值

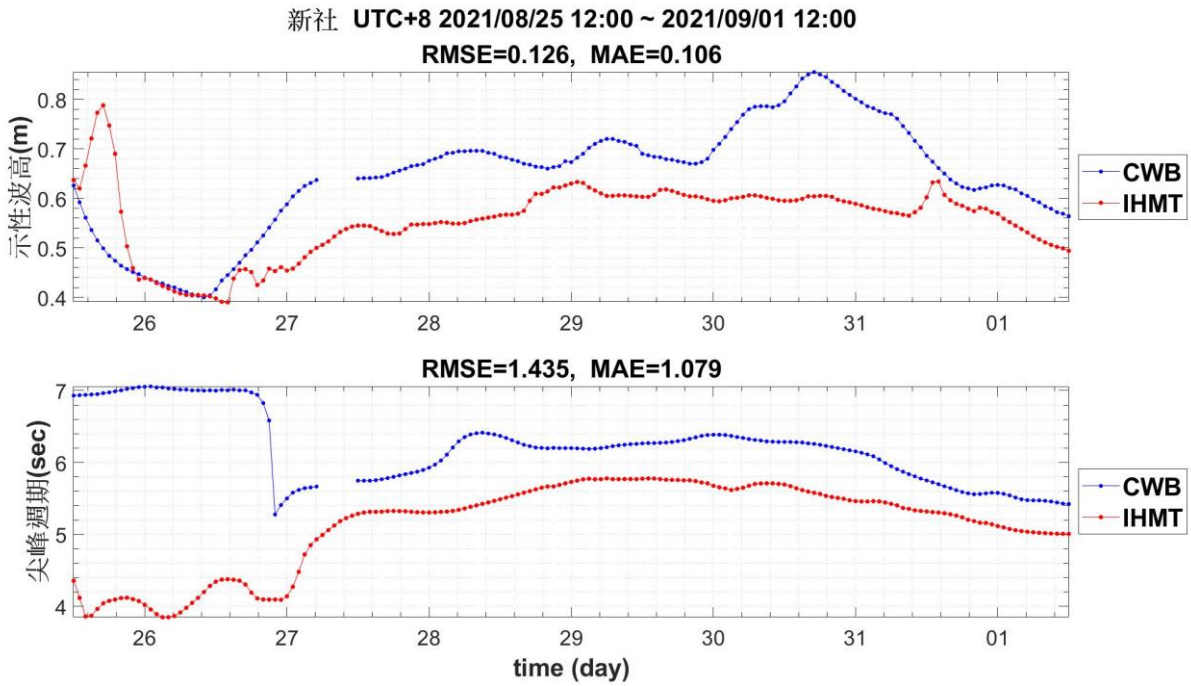


圖 4.33 CWB 和 IHMT 在新社的示性波高和尖峰週期預報值

第五章　結論與建議

本計畫利用 COBRAS 及 XBeach 兩種模式在人定勝天段外海不同的水深位置設置離岸潛堤，由情境模擬來了解沿岸所受到颱風長浪的影響，藉由模擬結果分析長浪溯上距離以及長浪作用力的影響範圍，再參考花蓮海岸二級防護計劃來研擬人定勝天段的海岸防護對策。此外使用歐等的最佳內插法將花蓮、蘇澳和臺東等氣象局的近岸浮標站觀測資料對港灣技術研究中心的示性波高預報進行資料同化，評估是否能改善花蓮海岸公路浪襲預警系統的預報輸入值，藉以精進系統的預警能力。另外公路總局第四區養護工程處指出台 11 線豐濱新社路段 44K 附近在颱風期間似有浪襲情況出現，而上年度計畫的 XBeach 水平 2 維模式所模擬的浪襲情境顯示入射波示性波高 5m、週期 15 秒且在潮位在 2 m 以上時，波浪溢淹範圍鄰近道路邊緣。故本計畫利用 COBRAS 垂直 2 維模式建立長浪溯上數值模式來瞭解台 11 線 44K 附近受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。藉由該路段 3 個道路斷面不同浪襲條件的模擬來分析在何種海況條件之下較易出現道路浪襲，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。

5.1 結論與成果

(1) 本文以潛堤堤寬 10m 且堤頂低於平均水位 0.5m 的條件進行 COBRAS 和 XBeach 所有模擬。對人定勝天段 7 處斷面進行 126 個 COBRAS 浪襲模擬。情境結果顯示當潮位 0m 時，相對於無潛堤的情況下，潛堤深度設置在水深 5 到 7m 對於水平距離海岸公路 0 到 5m 的區域能使波浪侵襲的壓力值有較佳的降幅。而當潮位為 1m 時，潛堤深度則以水深 6 到 7m 有較佳的壓力降幅。所有情境模擬的最大壓力值在近道路區和潛堤區皆未超過 102 kgf/cm^2，潛堤建造建議使用抗壓強度 140kgf/cm^2 以上等級的混凝土。

(2) 對 61K+300 使用 COBRAS 模式模擬潛堤深度 6m 且堤頂寬度 5、10 和 20m 等三種情境條件，與無潛堤的情境比較最大壓力的結

果顯示在鄰近道路的第 3 區，三種寬度的最大壓力比起無潛堤條件約有 280 到 620 kPa 的降幅，以寬度 5 和 10m 的壓力降幅較大。另外利用 XBeach 模式模擬設置潛堤長度 50m 和 80m 的結果顯示兩種長度在 61K+300 切線方向的最大壓力值差異不大，相對於無潛堤的情況下，下降幅度皆為 350 到 700 N/m^2。

(3) 利用 XBeach 模式各於人定勝天段設 7 站外海設置離岸潛堤進行模擬的結果顯示，大致上對各站靠近岸邊的陸地最大壓力值以無配置潛堤的情況值最大，潛堤位置配置 A 方案次之，B 方案最小。另外亦顯示 61K+300、61K+380、61K+500 和 61K+580 等 4 站不管是潛堤配置 A 或 B 的情況下，與無潛堤相較的最大壓力值在潮位 1m 會比潮位 0m 降幅小，表示潛堤的降壓能力可能隨潮位增加而降低。

(4) 花蓮站利用 2021 年 4 月 15 天短期觀測資料對示性波高預報值進行同化修正的結果雖顯示 RMSE 約比修正前下降了 6.6%，但對於 2021 年 4 月到 9 月更長期的資料卻使 RMSE 上升 9%。而人定勝天段外海的石門段雖沒有觀測資料可供比對，但由於鄰近花蓮站，如將同樣的資料同化方式應用在石門站，可能無法達到預期的修正作用。

(5) 本研究在豐濱新社路段之 3 個道路斷面總共進行 702 個浪襲道路的情境模擬。整體而言，潮位至少需要 1m，波高至少需要 10m 以上，且週期需在 15 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。在同樣潮位下，道路出現溢淹所需的波高和週期下限值以 43K+750 最小，其次為 44K+000，最大為 44K+250。43K+750 道路高程 13m 雖比為其他兩處高 1.5m，但其道路離岸水平距離為 35m 離海岸較近，相對於 44K+000 的 49m 和 44K+250 的 45m，可能是最易發生道路溢淹的原因。44K+000、44K+250 的離岸距離與道路高程雖然相近，但在潮位 1.5m 時，44K+250 需在波高 11m 以上且週期 15 秒以上才會發生道路溢淹，44K+000 則未出現道路溢淹；當潮位到達 2m 則是 44K+000 較易溢淹，其發生溢淹的條件差異可能與 2 里程位置的近岸地形不同有關。根據表 4-

4 到 4-6 海況條件所對應的溢淹距離或是花蓮海岸公路通行安全預警之網頁視窗，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。

5.2 建議

(1) 如需在人定勝天段外海建立離岸潛堤作為海岸防護的措施，本計畫的模擬可作為潛堤建造長度、水深配置位置以及混凝土強度等級選用的評估參考。

(2) 由於海岸公路外海架設與維護具有即時傳輸資料功能的波浪觀測計需耗費相當的人力物力，導致公路外海的波浪資料取得不易。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豐濱新社路段旁架設攝影機來監控是否有浪襲事件發生，例如最近公路局於台 11 線人定勝天段架設了即時影像監控觀測樁，可於日後颱風期間檢視影像資料，藉以進一步驗證花蓮浪襲預警系統的燈號預報準確性。

(3) 歐等人(2004)提到對他們的風浪模式作資料同化時，觀測站的數量增加能讓降低模式與觀測值的相對誤差，直到超過 7 站時，相對誤差達到穩定。對花蓮站進行示性波高同化時，由於附近僅有蘇澳和臺東 2 個測站，可能因測站數量不足，導致花蓮站同化修正無法降低與觀測值之間的誤差，如對石門站採相同方式進行同化，可能亦無法改善示性波高預報的正確性。在未來如有新的觀測站加入同化計算，將有助於改善同化的結果。

5.3 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區段颱風長浪作用力分析。
2. 完成花蓮海岸公路易致災區段受颱風波浪侵襲時之溯上及長浪作用力影響範圍的評估。

3. 完成從近岸浮標站觀測資料，以最佳內插法進行資料同化，調整入射處之模擬條件。
4. 完成維運浪襲預警系統，並利用資料同化技術精進系統預警能力。
5. 完成花蓮海岸公路易路基流失致災路段成因探討以及研擬因應對策。

(2)應用情形：

1. 以模擬離岸潛堤的方式提供道路護岸受到長浪作用力相關評估與溯上溢淹範圍，可供花蓮人定勝天路段海岸公路進行浪襲防護措施時的規劃參考。
2. 建立花蓮海岸公路豐濱新社路段因颱風波浪之通行安全評估的技術及資料庫。
3. 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。並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。
4. 提供港灣研究中心及單位相關人員教育訓練，使其熟悉操作花蓮海岸公路豐濱新社路段易致災路段通行安全浪襲預警系統。

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. 陳冠宇、蔡立宏、李俊穎、陳鈞彥(2020)，「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」，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。
4. 劉正琪、李兆芳、傅怡釧、李俊穎、謝佳紘、江朕榮(2020)，109 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。
5. 中央氣象局 2020 年潮汐表(2019)。
6. 花蓮縣二級海岸防護計畫(草案)，花蓮縣政府(2019)
7. 李俊穎、謝佳紘、陳鈞彥、傅怡釧、羅冠顯(2019)，「花蓮港 2016、2017 年度觀測長浪特性分析」，第 41 屆海洋工程研討會論文集，第 78-83 頁。
8. 蔡雅婷、洪景山、陳依涵、方偉庭、邵彥銘、江琇瑛、馮欽賜(2019)，「WRF 三維變分雷達資料同化個案研究」，大氣科學，第四十七期第一號。
9. 屏東縣海洋及漁業事務管理所(2019)，福安宮海岸復育工程委託規劃設計期末成果報告書。
10. 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。
11. 莊文傑、曾相茂(2018)，「颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用」，交通部運輸研究所。
12. 劉志權、林忠義、洪景山、江晉孝、蔡雅婷(2018)，「WRF 多重解析度四維變分資料同化方法之研究」，大氣科學，第四十六期第四號。

13. 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。

14. 陳逸儒(2017)，越波對防波堤受力分析，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。

15. 整體海岸管理計畫，內政部(2017)。

16. 蔡立宏、許弘莒、許城榕、李孟學(2016)，「越波對直立式防波堤安定性分析的影響研究」，海洋工程學刊第十六卷第二期，第 67-79 頁。

17. 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」，第二十六屆海洋工程研討會論文集，第 206-213 頁。

18. 鄭明典(2001)，「數值天氣預報近期的發展趨勢」，物理雙月刊廿三卷三期。

19. Bertino, L., Evensen, G., & Wackernagel, H. (2003). Sequential data assimilation techniques in oceanography. International Statistical Review, 71(2), 223-241.

20. COBRAS user’s manual version 1.01(2002).

21. Gandin, L.S. (1963) Objective Analysis of Meteorological Fields, Gidrometeoizdat, Leningrd,p. 242.

22. Ghil, M., & Malanotte-Rizzoli, P. (1991). Data assimilation in meteorology and oceanography. In Advances in geophysics (Vol. 33, pp. 141-266): Elsevier.

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. Launder, B.E. and Spalding, D.B. (1974). "The numerical computation of turbulent flows". Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 3 (2): 269–289. doi:10.1016/0045 -7825(74)90029-2.

25. Lee, J. Y. (2006) Influence of Seabed Change on the ynamic Behavior of Vertical Breakwater, Master Thesis, Nation Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan. (In Chinese)

26. Lin P. and P.L.-F. Liu (1998). A numerical study of breaking waves in the surf zone. Journal of Fluid Mechanics, pp. 359, 239-264.

27. 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.

28. 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), 322-330.

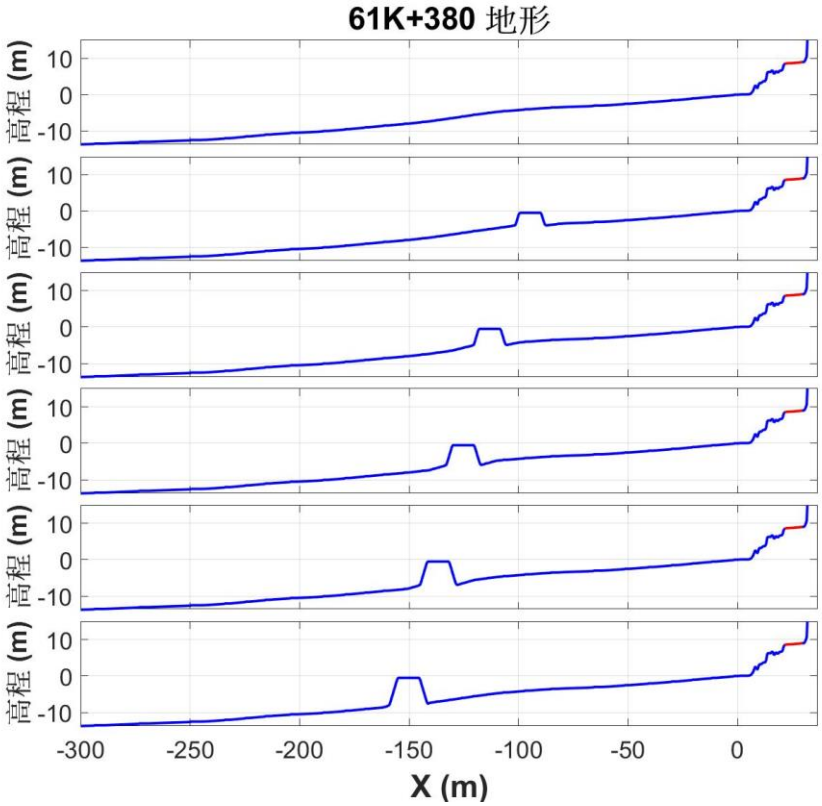
29. Lu, W.-S., Wu, H.-L., Hu, K.-C., Chen, Y.-L., Chen, W.-B., Hsiao, S.-C., . . . Tsai, L.-H. (2020). The Characteristics of Coastal Highway Wave Attack and Nearshore Morphology: Provincial Highway No. 9, Taiwan. Water, 12(11), 3274.

30. 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

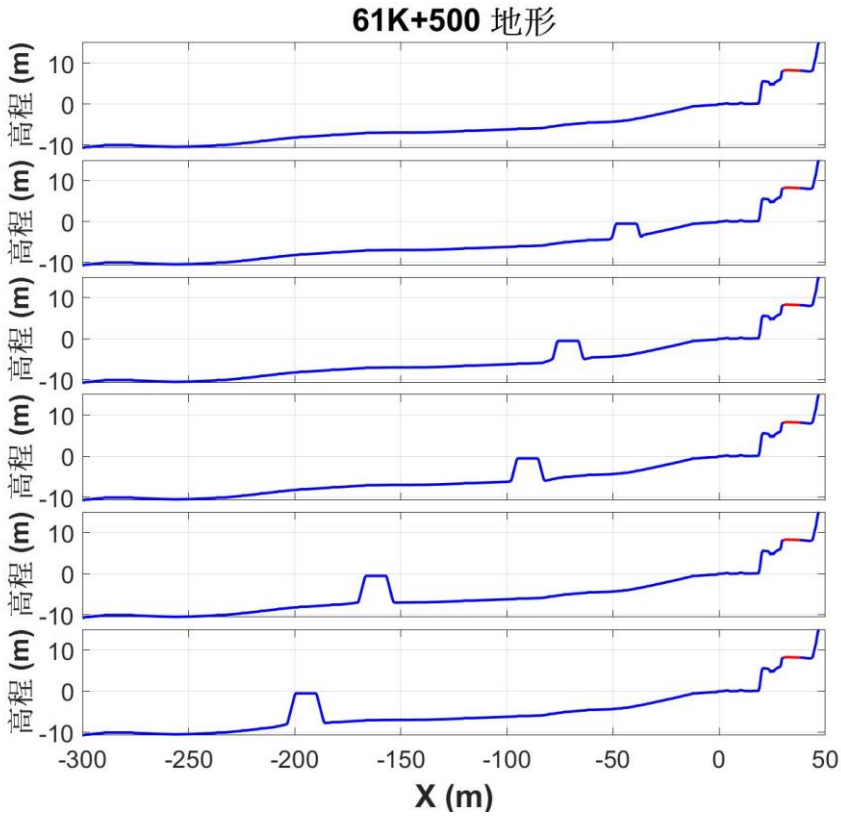
31. Shih, H.-J., Chen, H., Liang, T.-Y., Fu, H.-S., Chang, C.-H., Chen, W.-B., Su, W.-R., Lin, L.-Y. (2018). Generating potential risk maps for typhoon-induced waves along the coast of Taiwan. Ocean Engineering, p. 163, 1-14.

附錄一

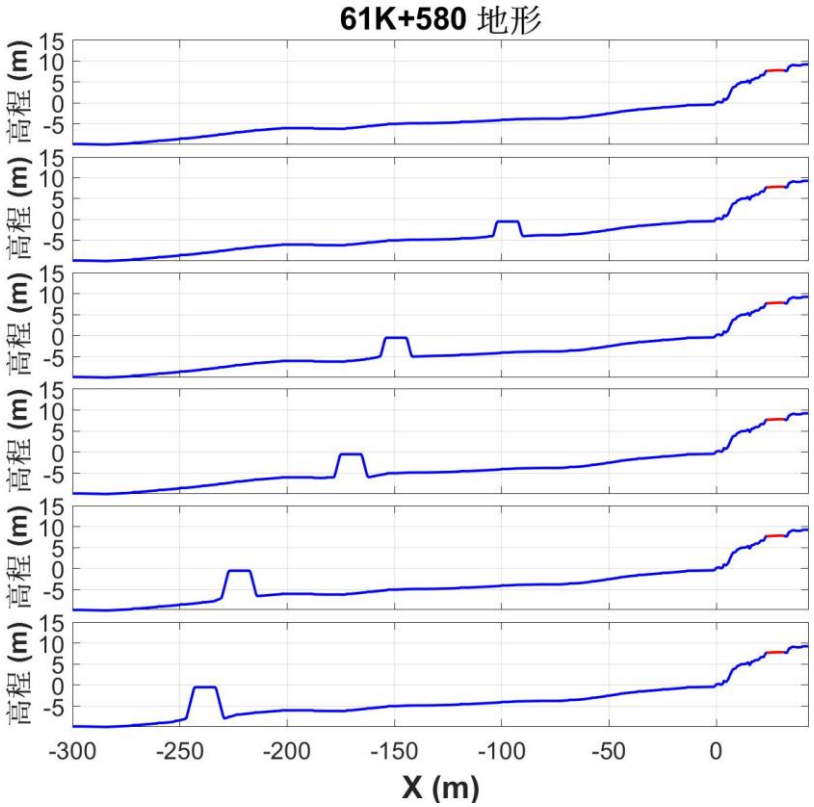
61K+380 到 62K+220 之離岸潛堤地形配置圖



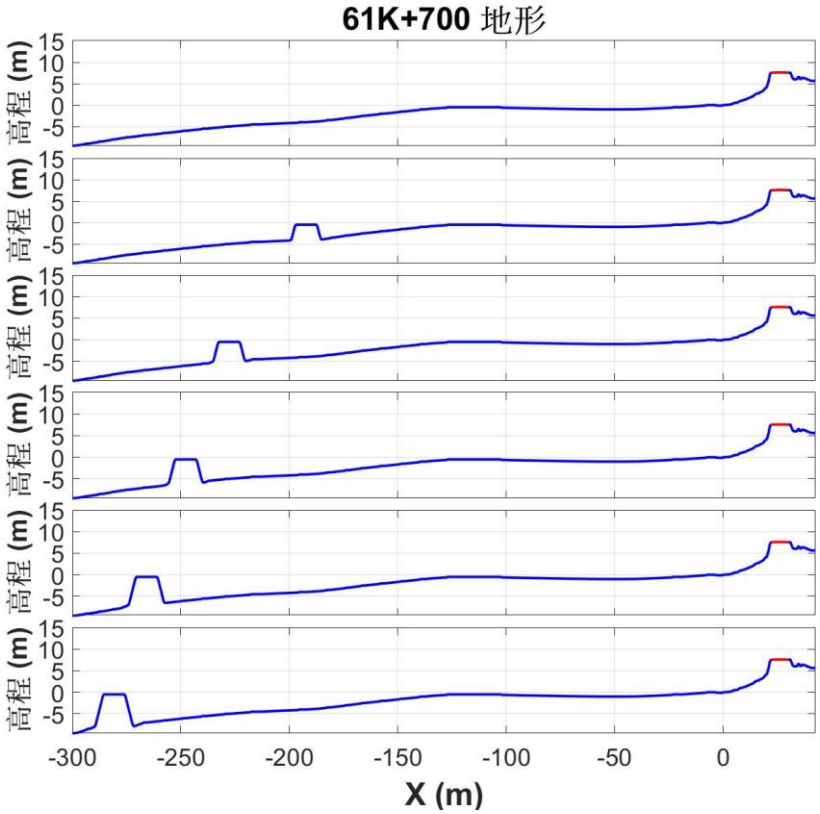
附圖 1.1 61K+380 的 6 種離岸潛堤地形配置(紅線為道路)



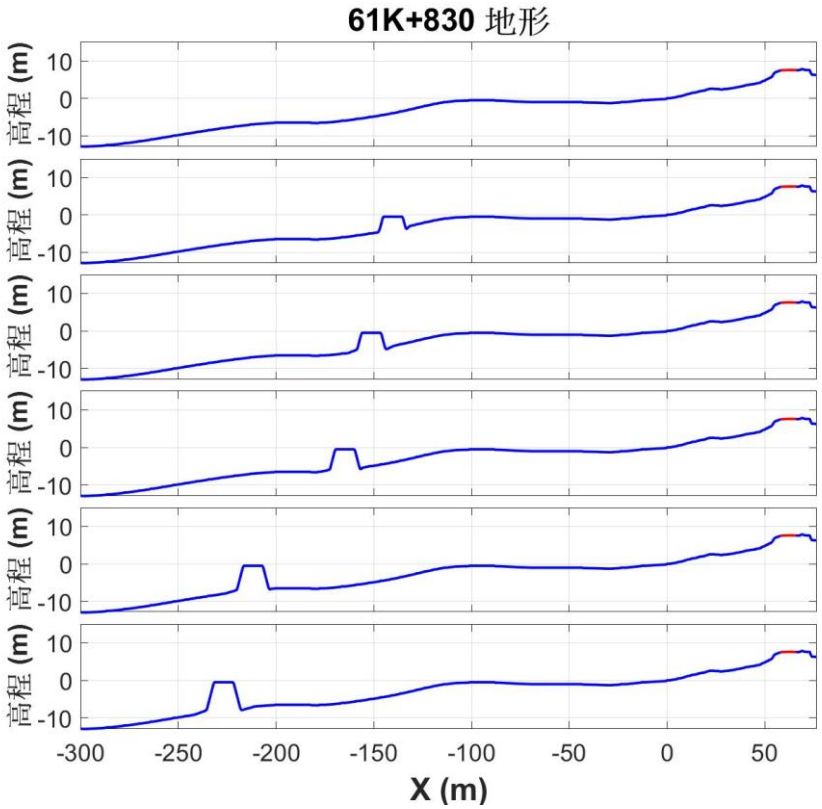
附圖 1.2 61K+500 的 6 種離岸潛堤地形配置(紅線為道路)



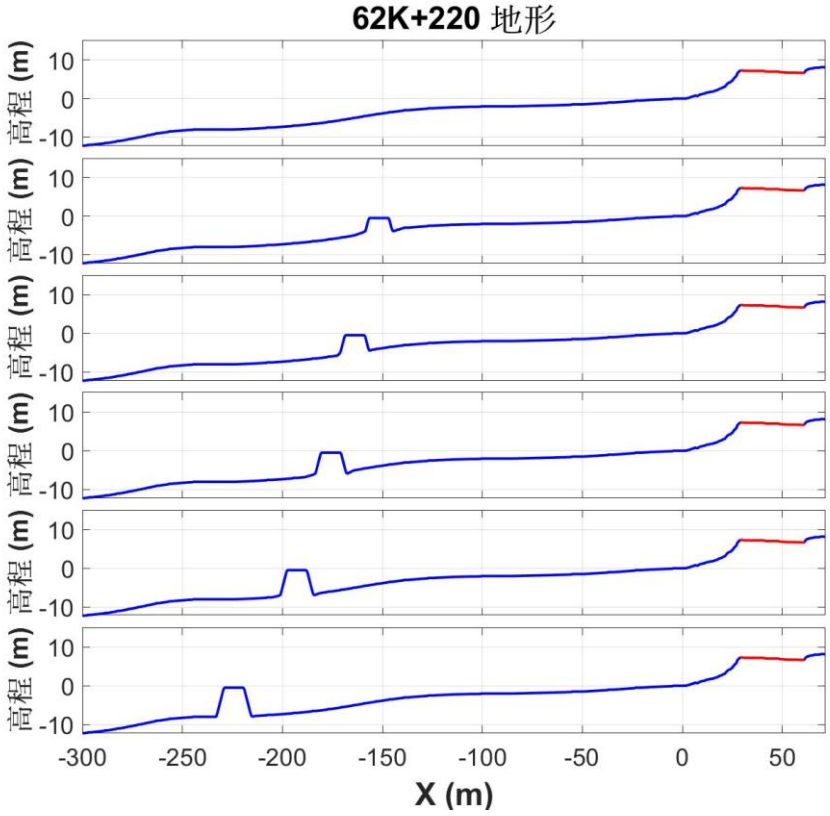
附圖 1.3 61K+580 的 6 種離岸潛堤地形配置(紅線為道路)



附圖 1.4 61K+700 的 6 種離岸潛堤地形配置(紅線為道路)



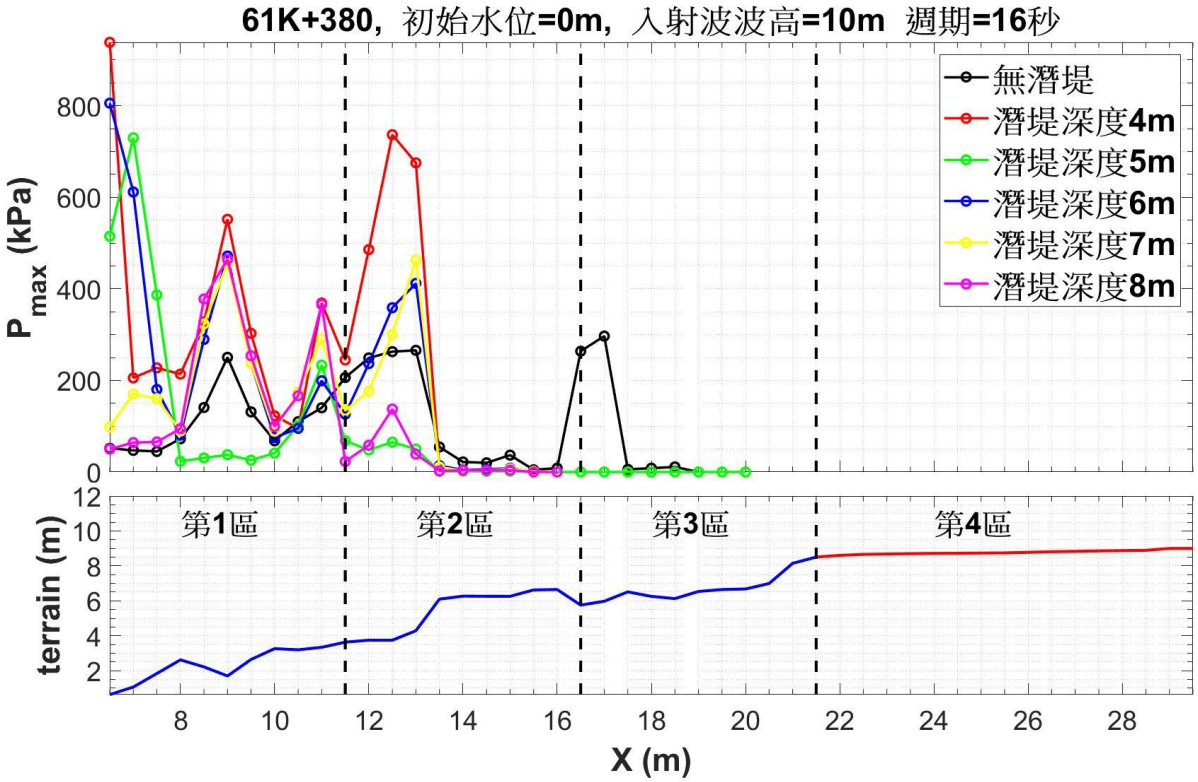
附圖 1.5 61K+830 站的 6 種離岸潛堤地形配置(紅線為道路)



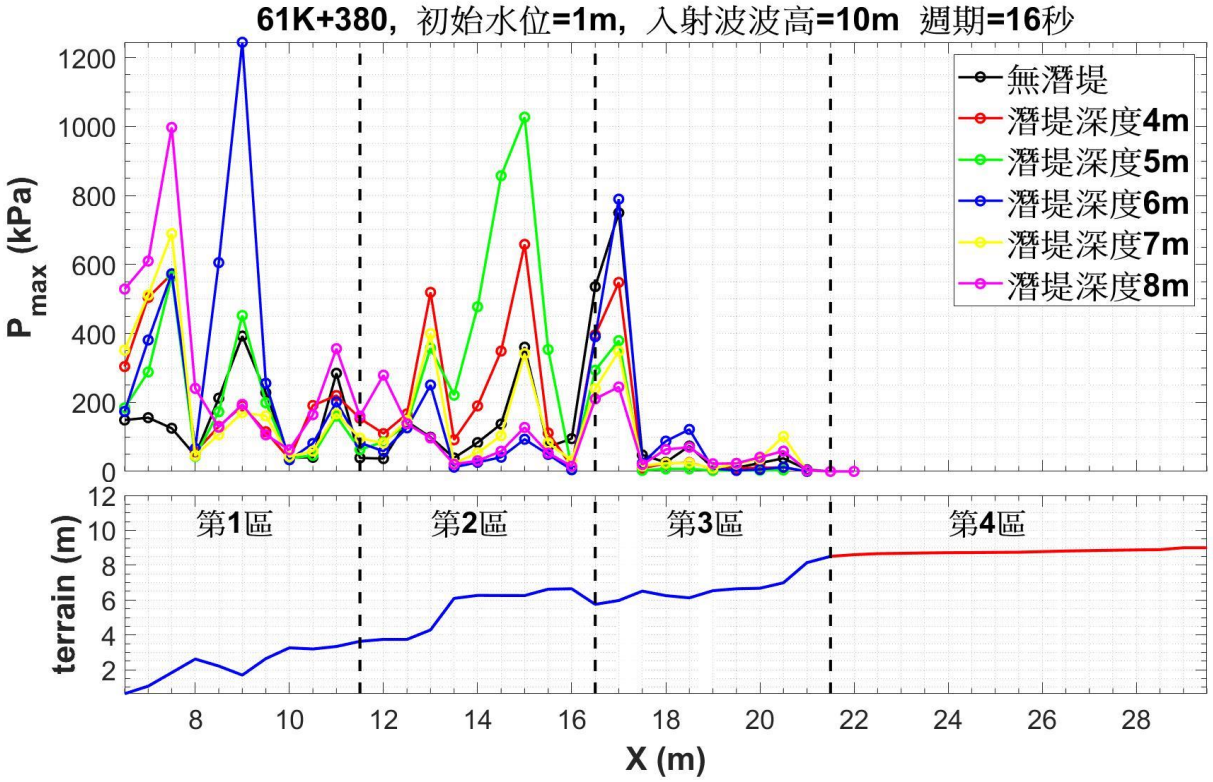
附圖 1.6 62K+220 站的 6 種離岸潛堤地形配置(紅線為道路)

附錄二

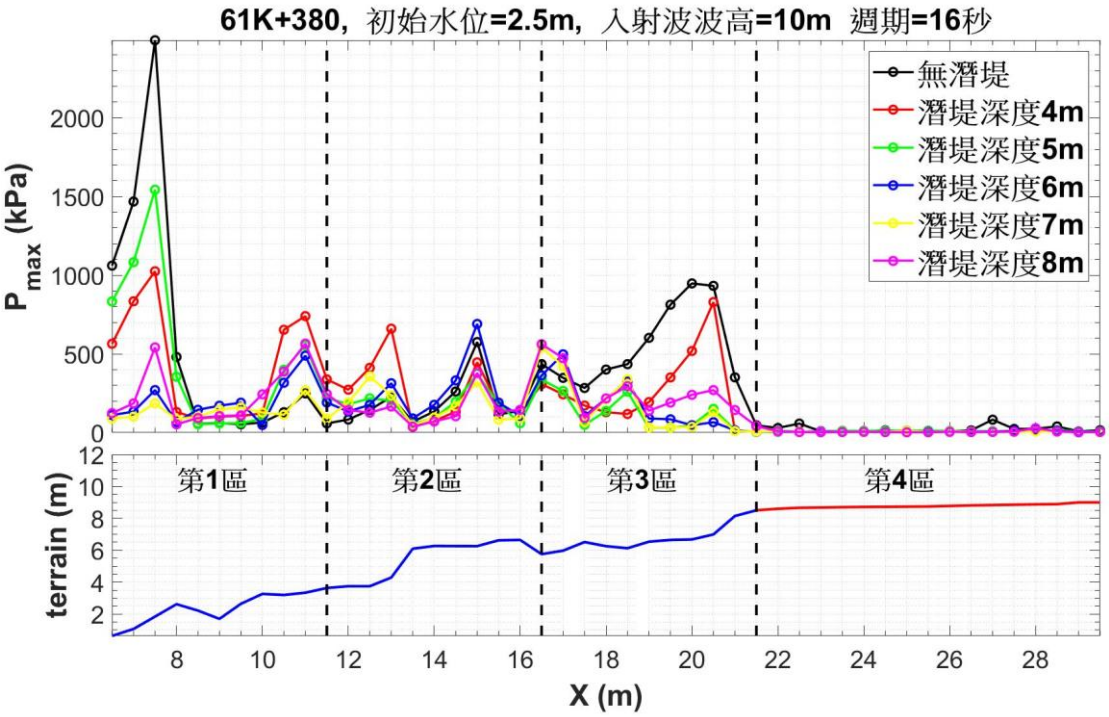
61K+380 到 62K+220 等 6 站近道路區的地表最大壓力圖



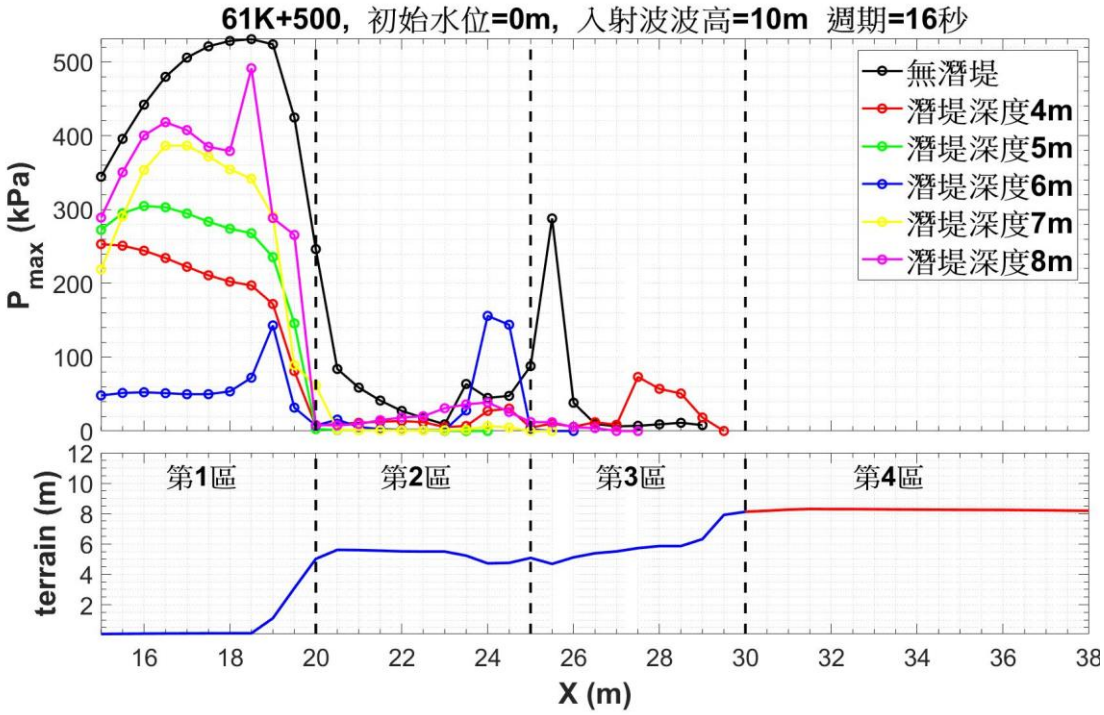
附圖 2.1 61K+380 站在潮位 0m 時，近道路區的地表最大壓力



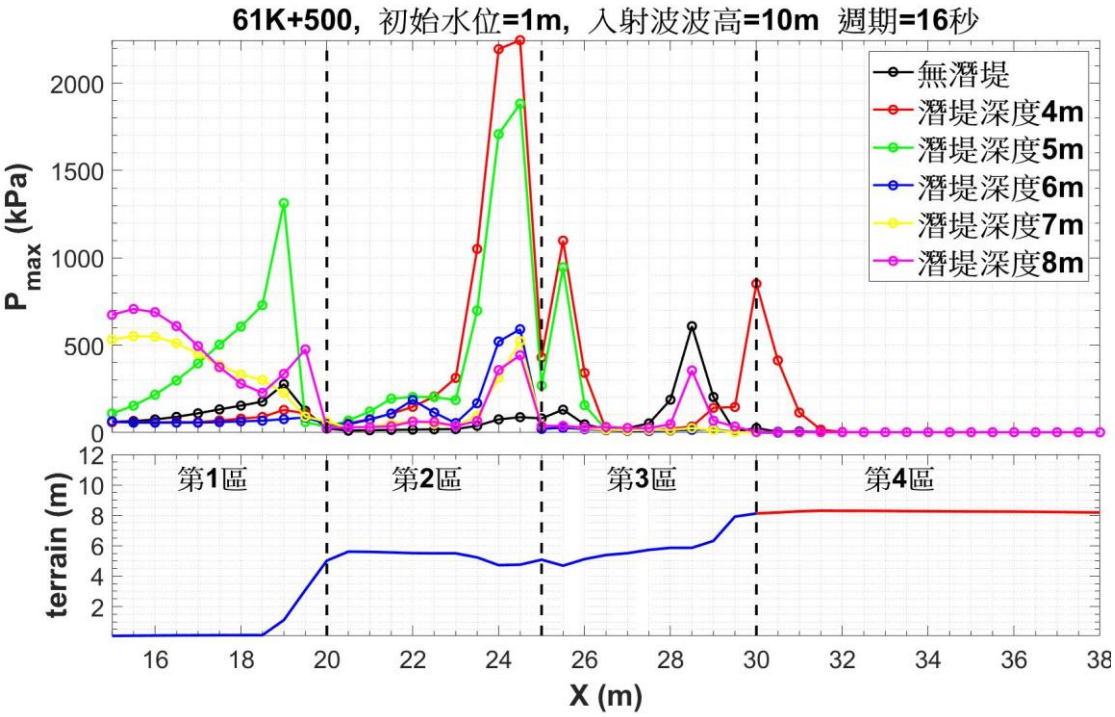
附圖 2.2 61K+380 站在潮位 1m 時，近道路區的地表最大壓力



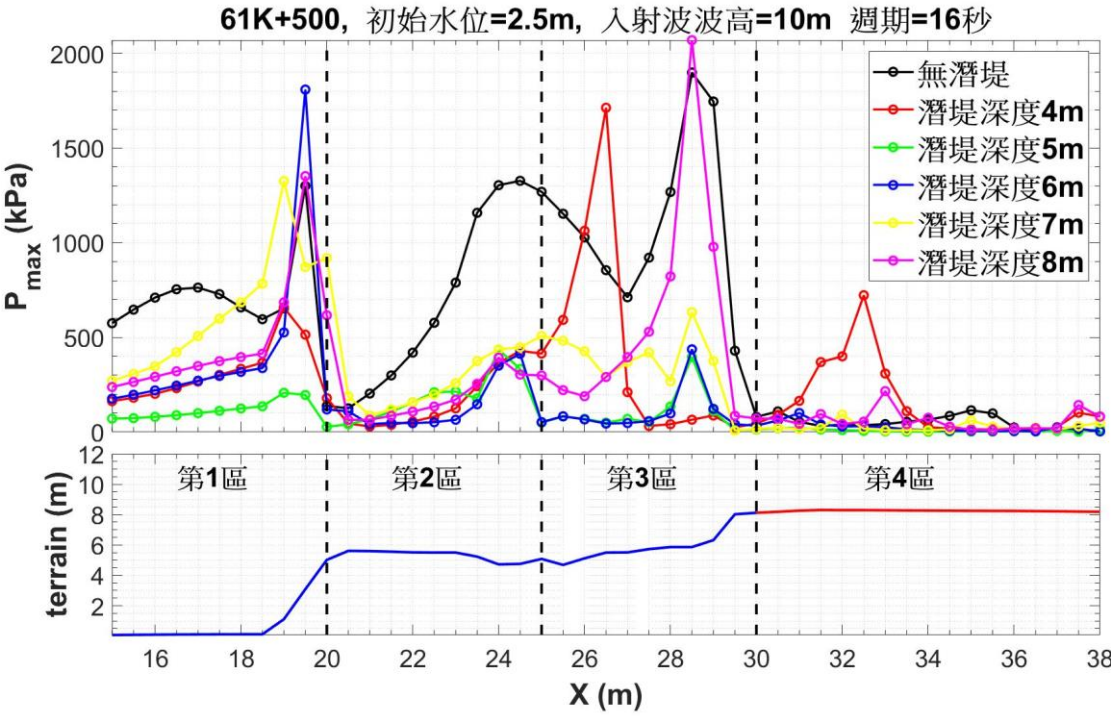
附圖 2.3 61K+380 站在潮位 2.5m 時，近道路區的地表最大壓力



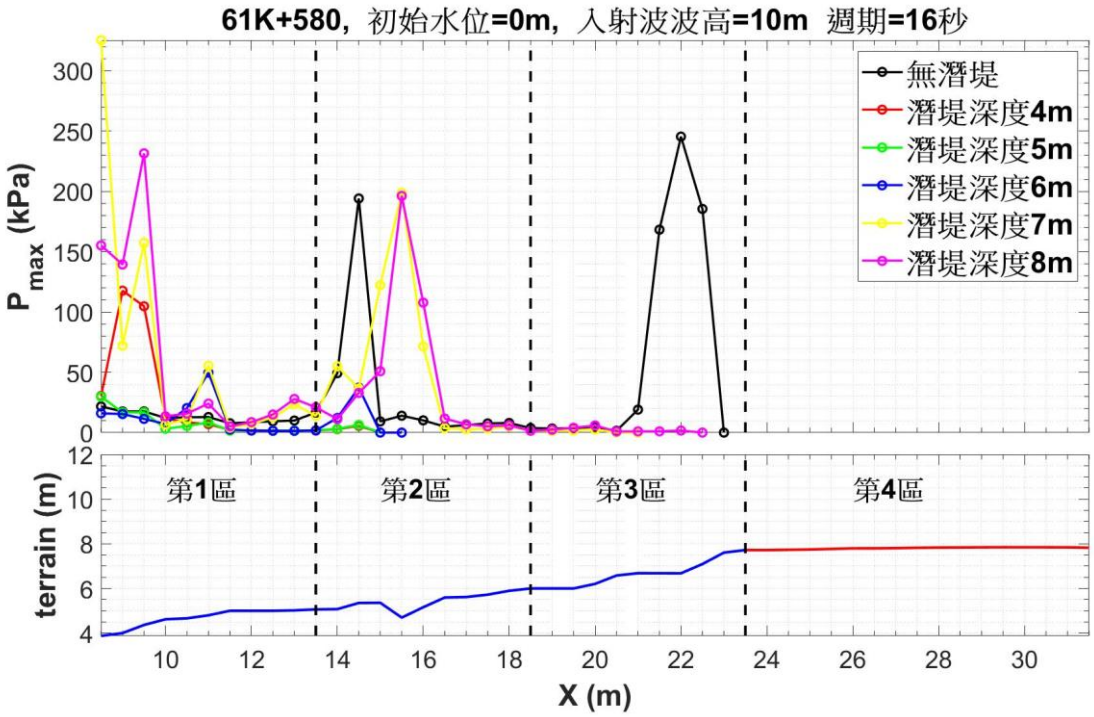
附圖 2.4 61K+500 站在潮位 0m 時，近道路區的地表最大壓力



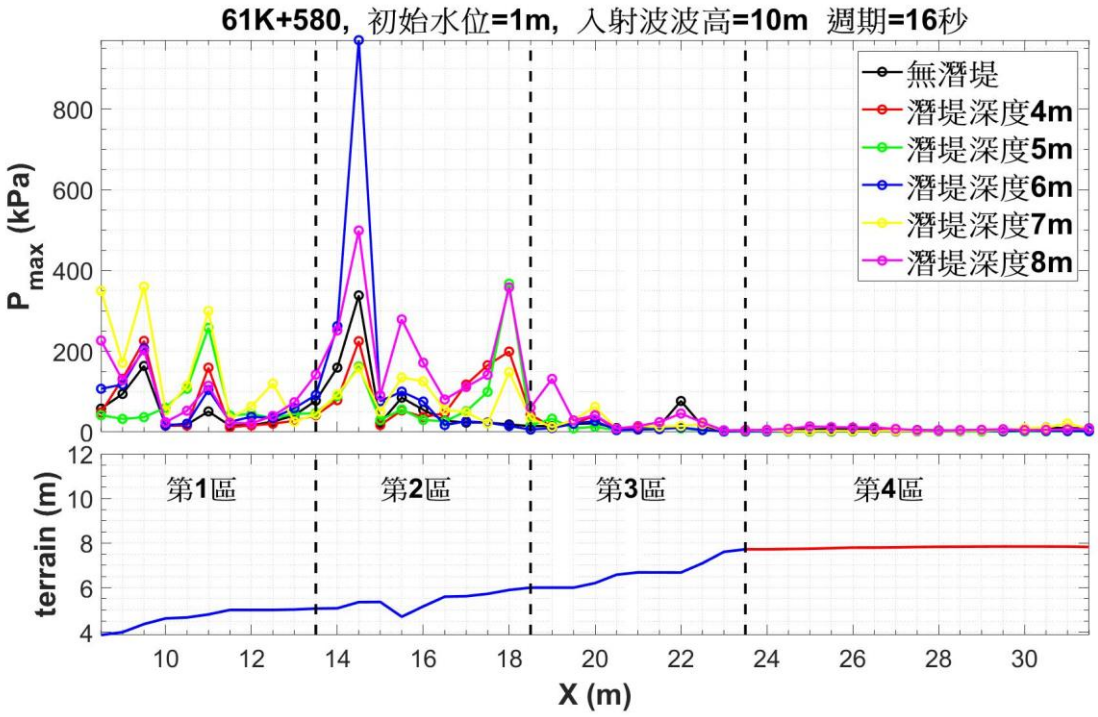
附圖 2.5 61K+500 站在潮位 1m 時，近道路區的地表最大壓力



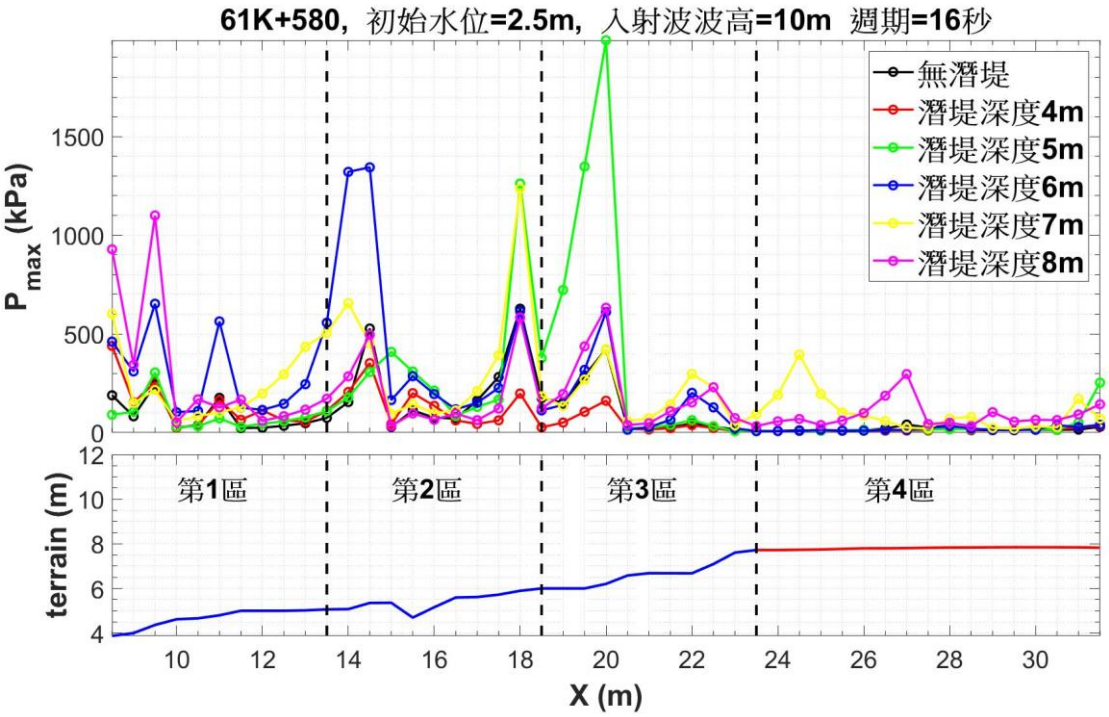
附圖 2.6 61K+500 站在潮位 2.5m 時，近道路區的地表最大壓力



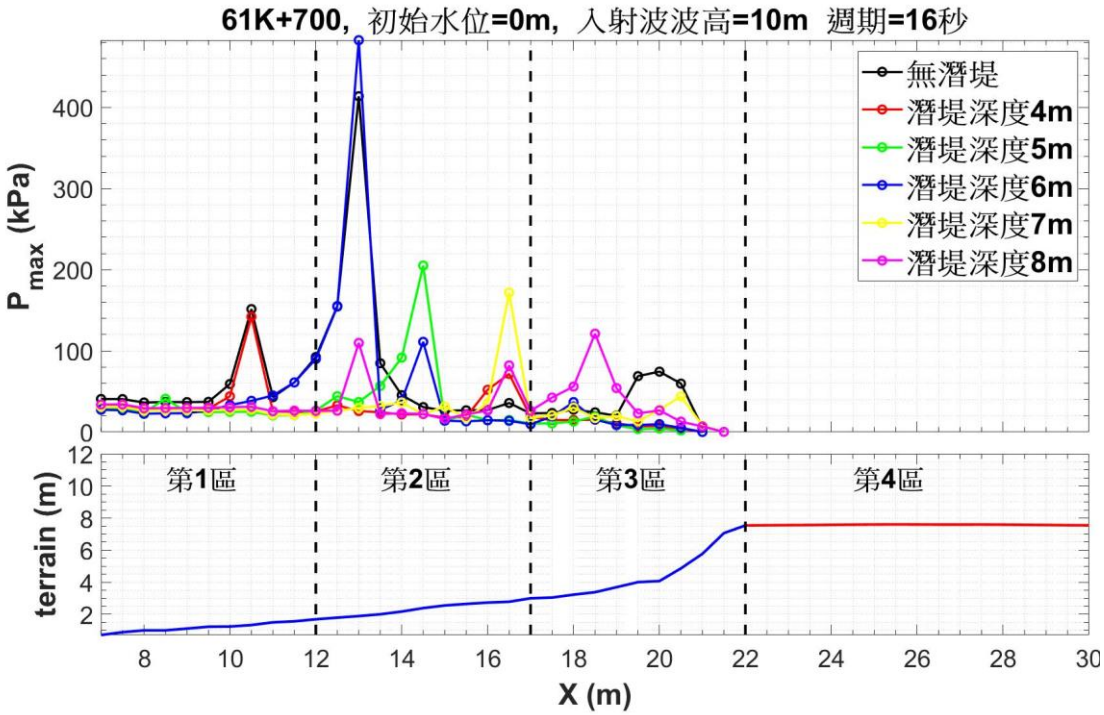
附圖 2.7 61K+580 站在潮位 0m 時，近道路區的地表最大壓力



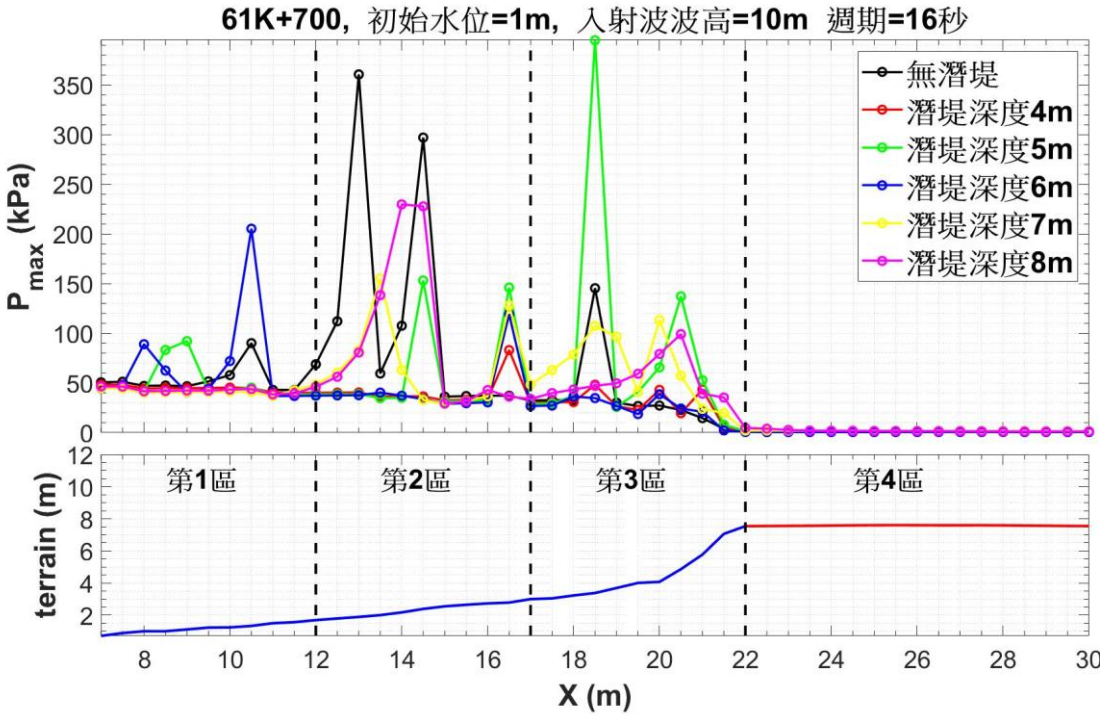
附圖 2.8 61K+580 站在潮位 1m 時，近道路區的地表最大壓力



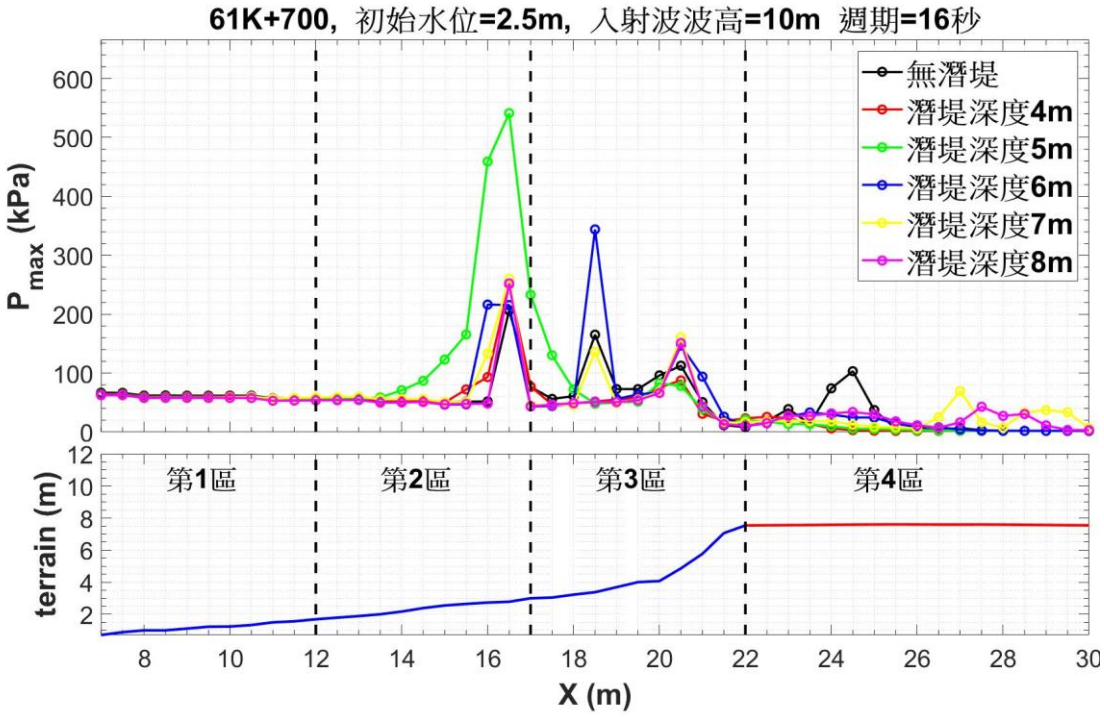
附圖 2.9 61K+580 站在潮位 2.5m 時，近道路區的地表最大壓力



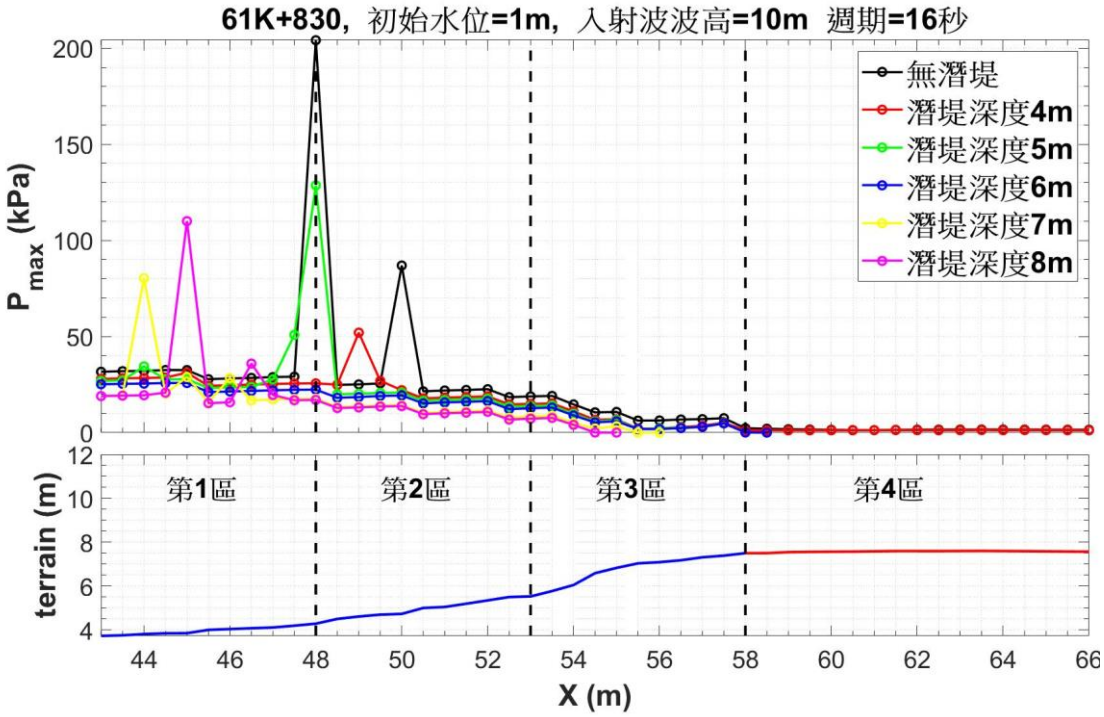
附圖 2.10 61K+700 站在潮位 0m 時，近道路區的地表最大壓力



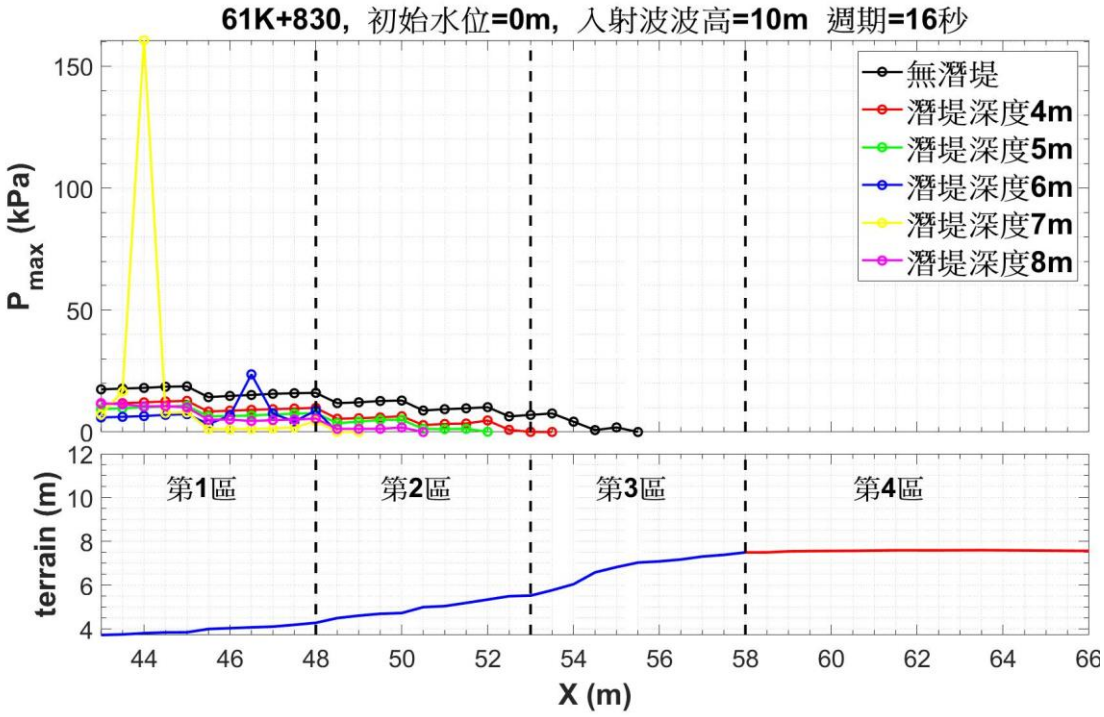
附圖 2.11 61K+700 站在潮位 1m 時，近道路區的地表最大壓力



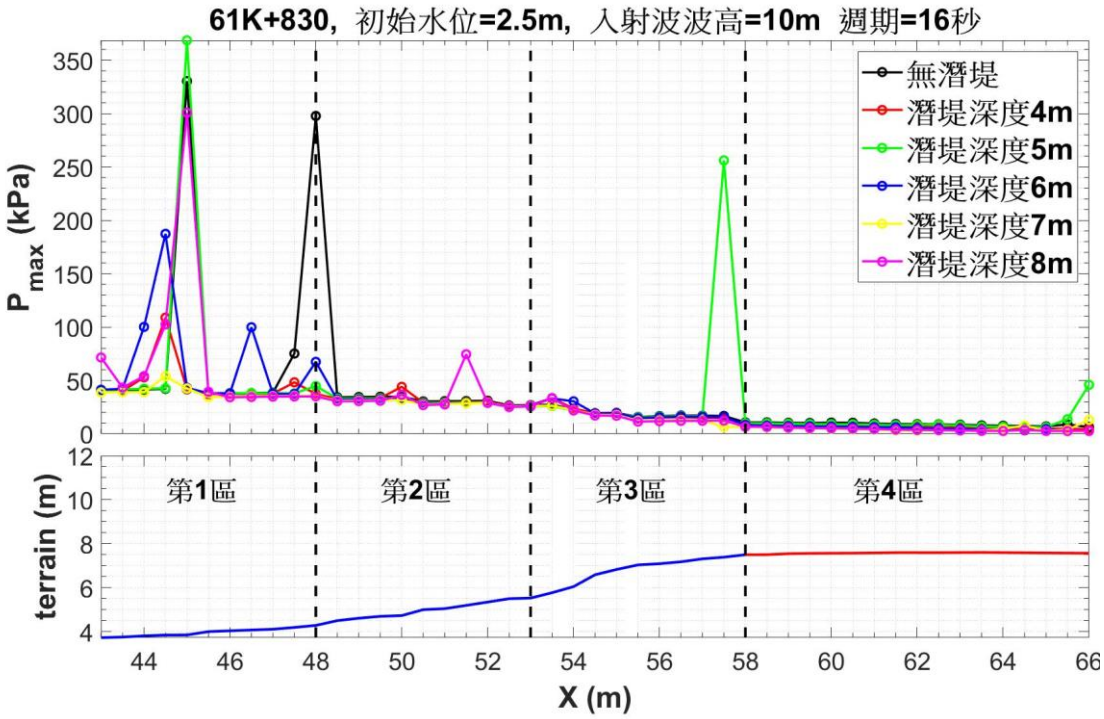
附圖 2.12 61K+700 站在潮位 2.5m 時，近道路區的地表最大壓力



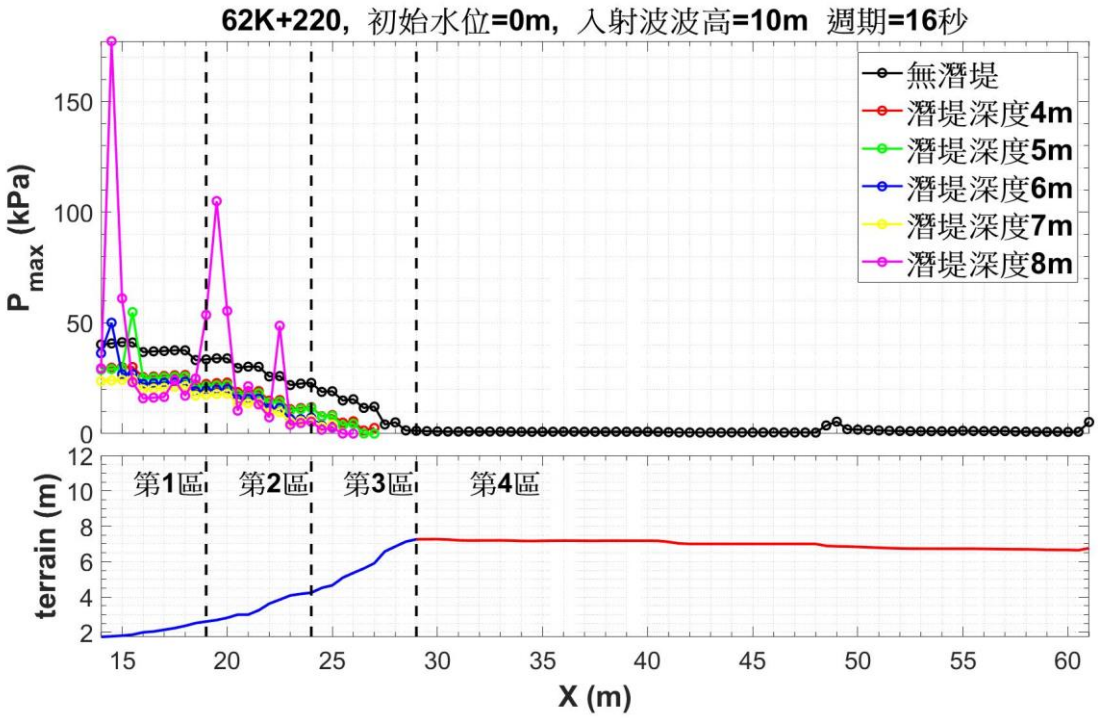
附圖 2.13 61K+830 站在潮位 0m 時，近道路區的地表最大壓力



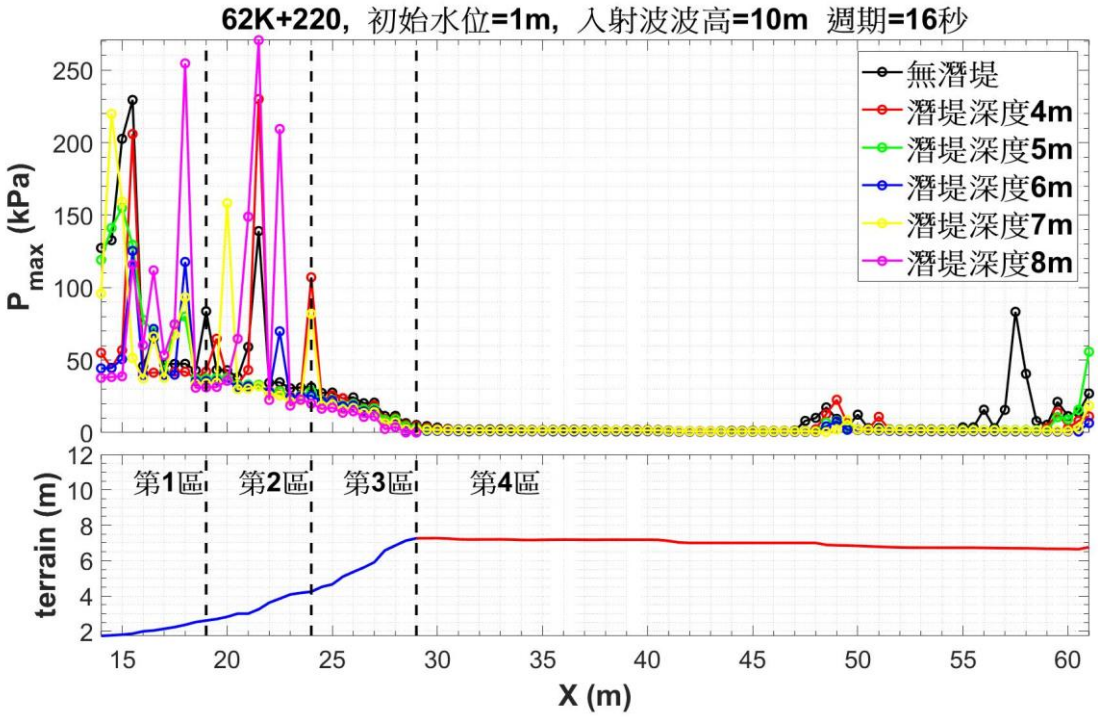
附圖 2.14 61K+830 站在潮位 1m 時，近道路區的地表最大壓力



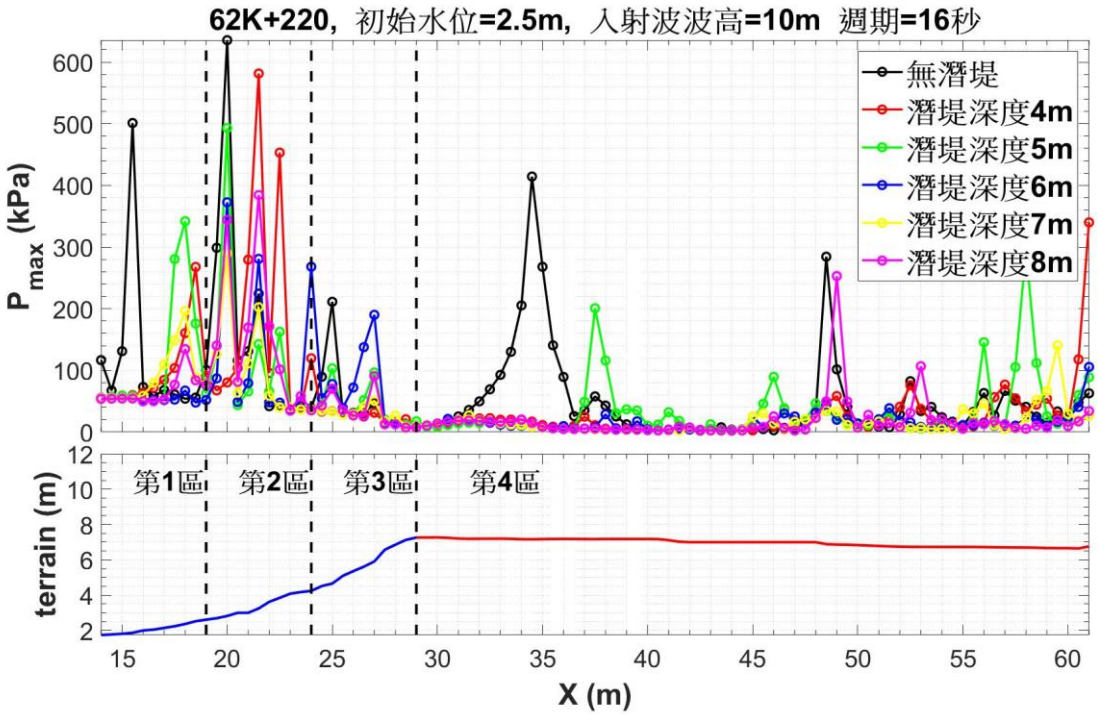
附圖 2.15 61K+830 站在潮位 2.5m 時，近道路區的地表最大壓力



附圖 2.16 62K+220 站在潮位 0m 時，近道路區的地表最大壓力



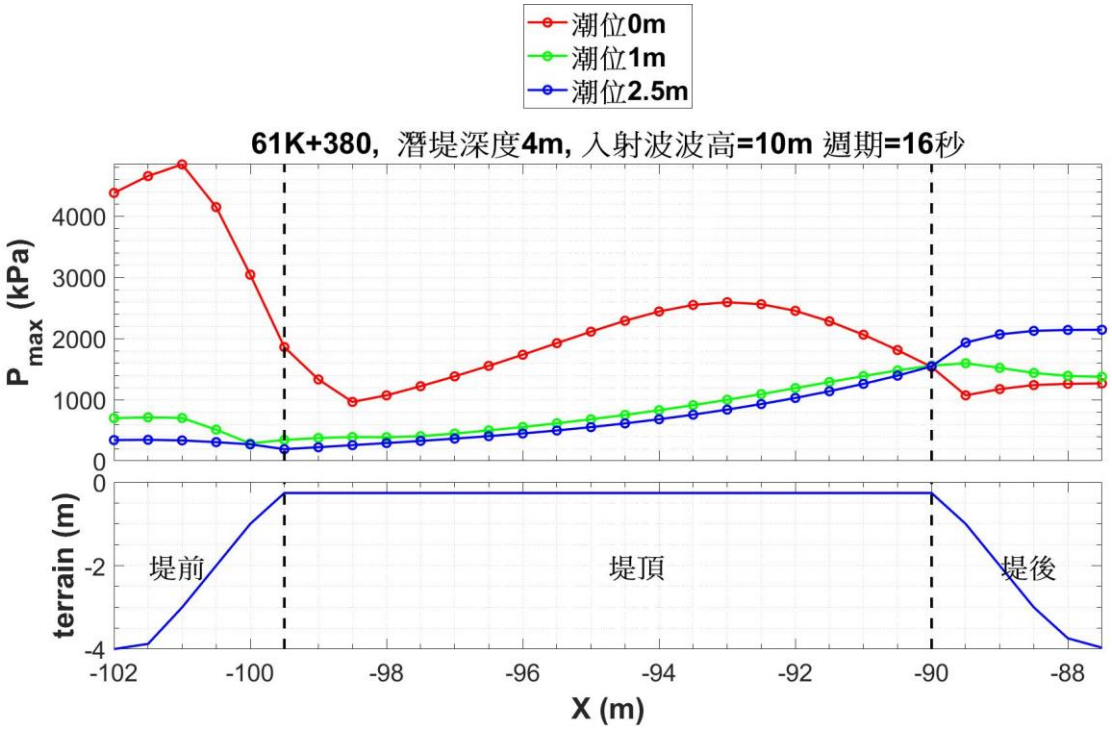
附圖 2.17 62K+220 站在潮位 1m 時，近道路區的地表最大壓力



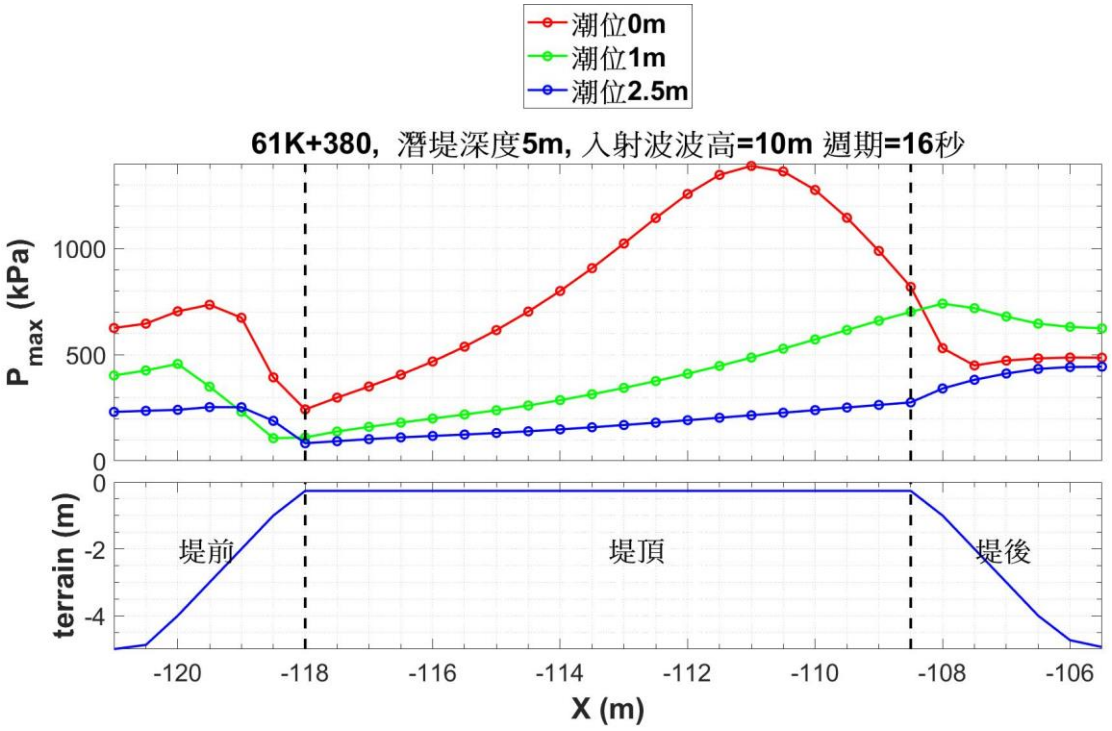
附圖 2.18 62K+220 站在潮位 2.5m 時，近道路區的地表最大壓力

附錄三

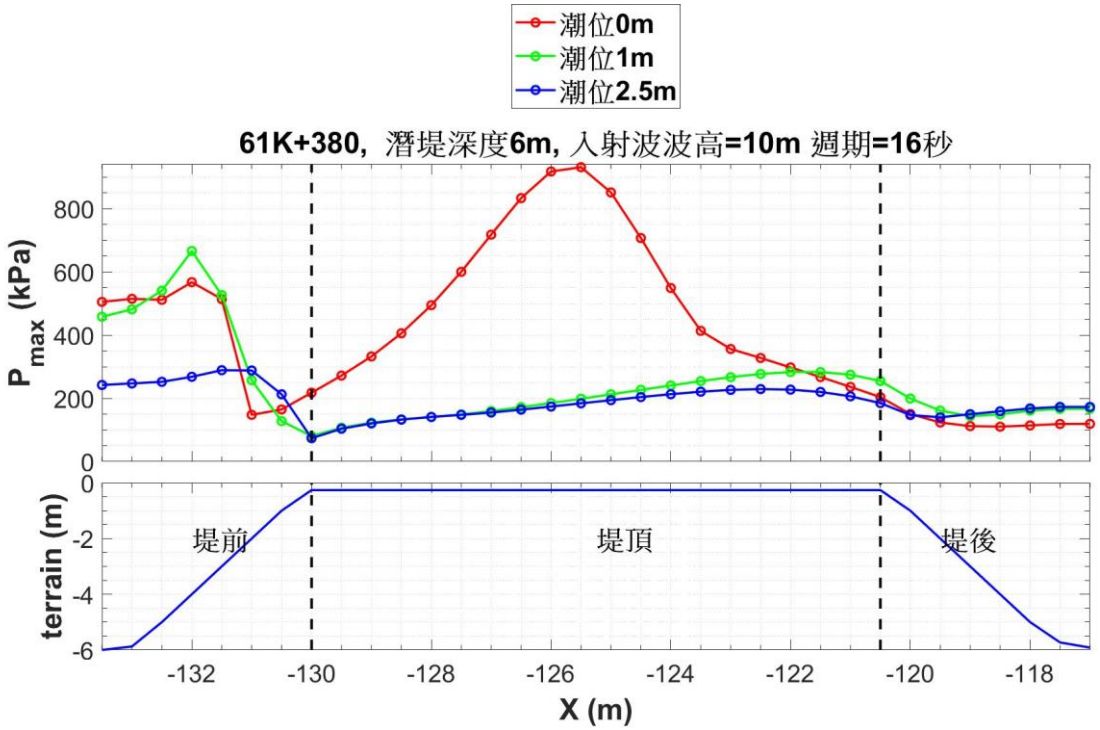
61K+380 到 62K+220 外海潛堤區潛堤表面最大壓力圖



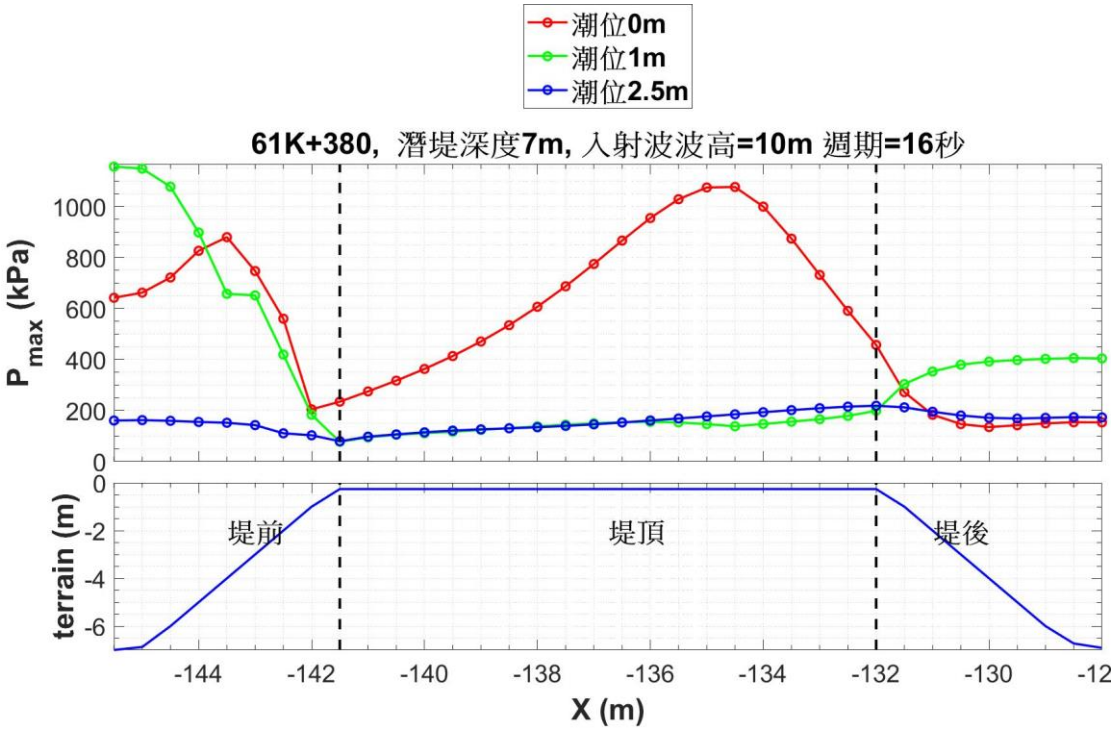
附圖 3.1 61K+380 潛堤深度 4m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



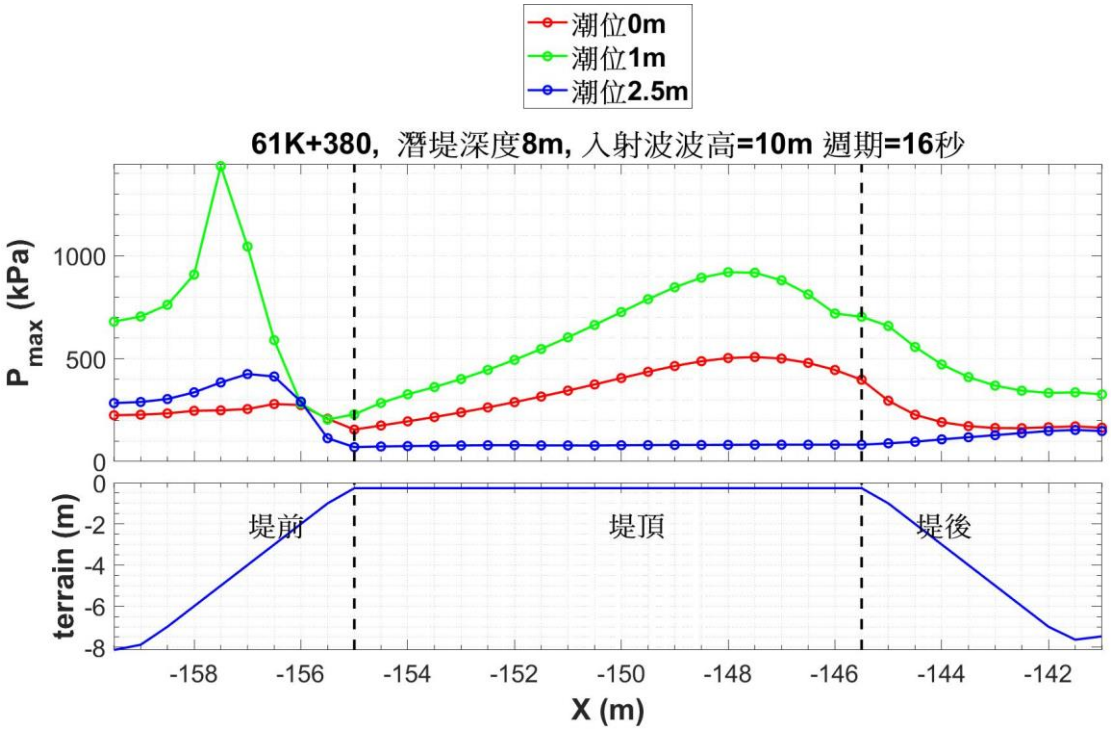
附圖 3.2 61K+380 潛堤深度 5m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



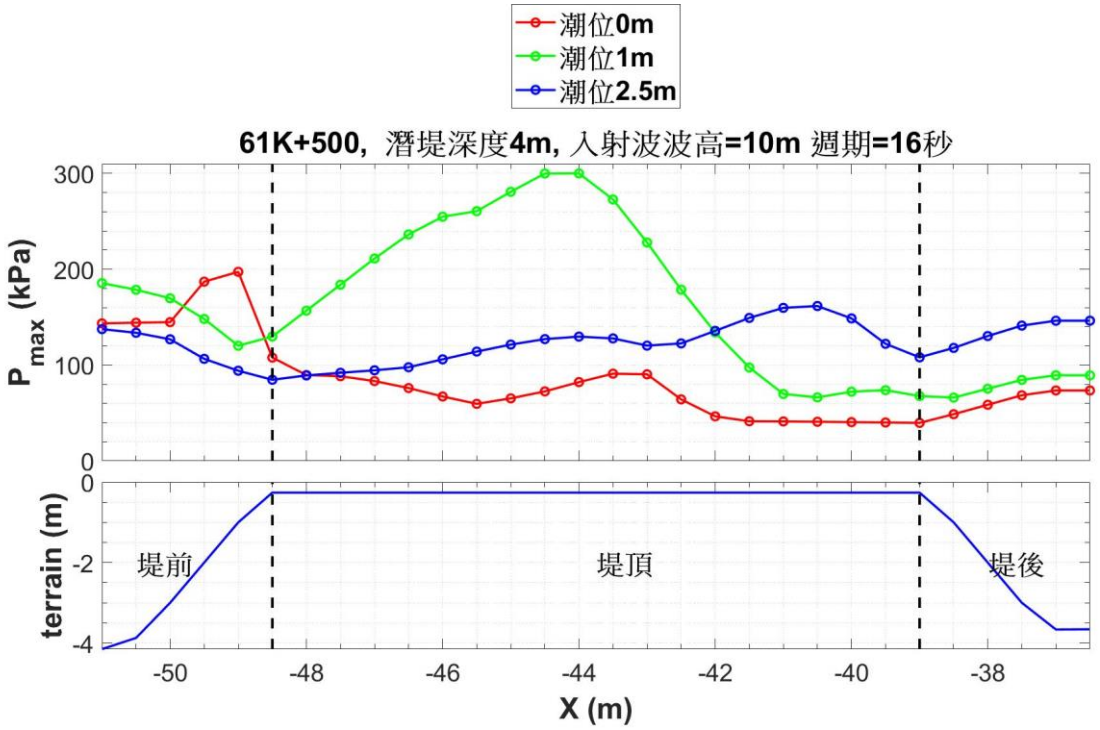
附圖 3.3 61K+380 潛堤深度 6m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



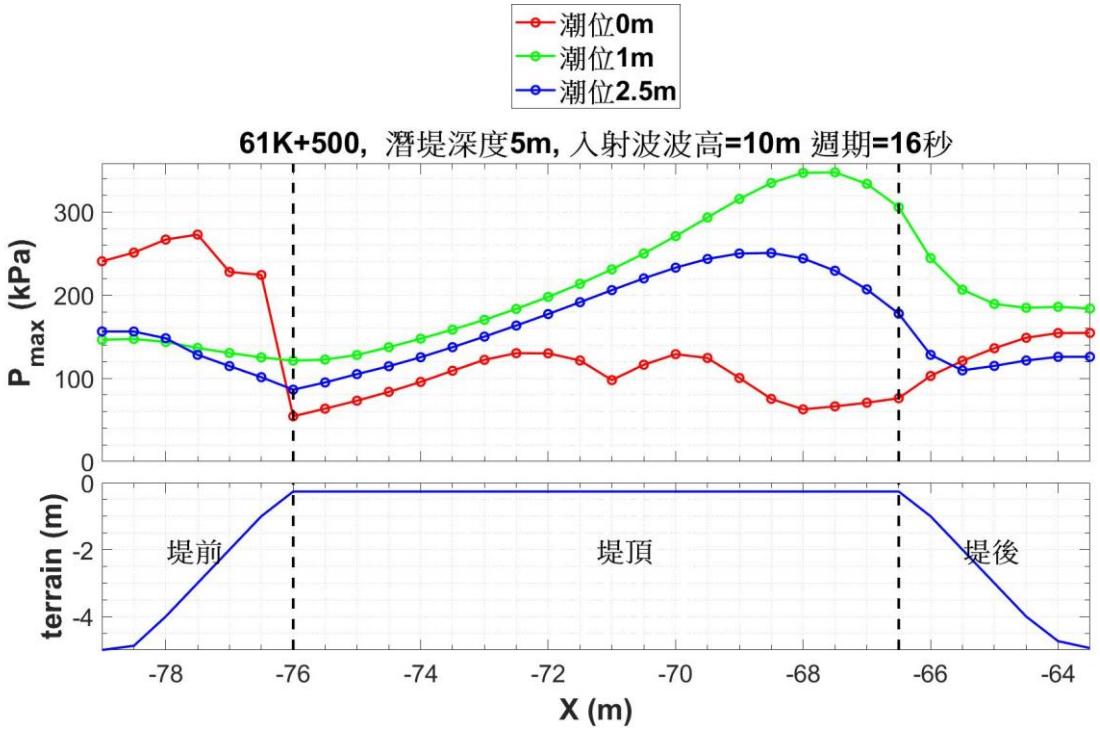
附圖 3.4 61K+380 潛堤深度 7m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



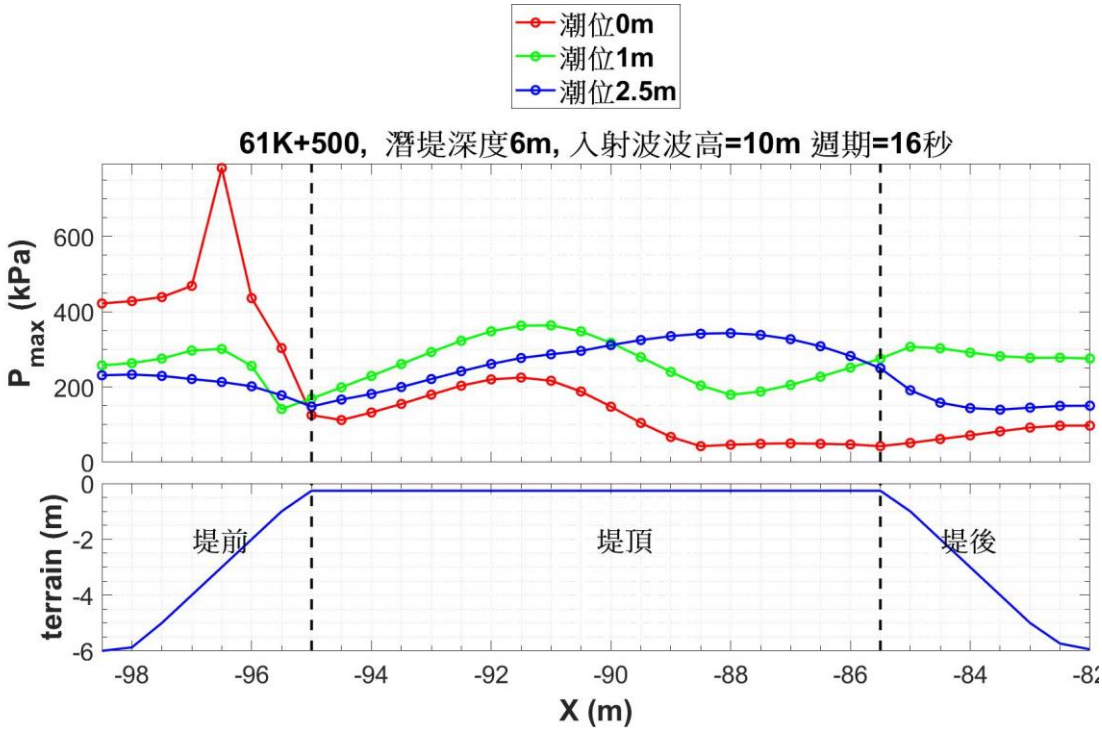
附圖 3.5 61K+380 潛堤深度 8m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



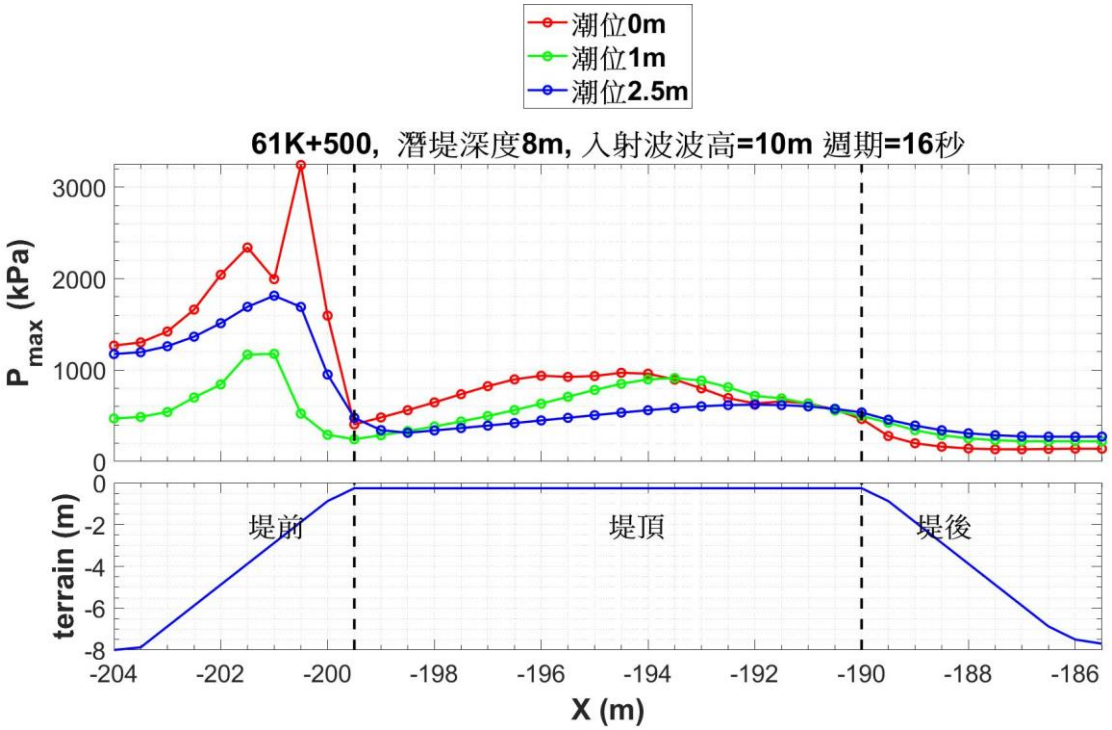
附圖 3.6 61K+500 潛堤深度 4m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



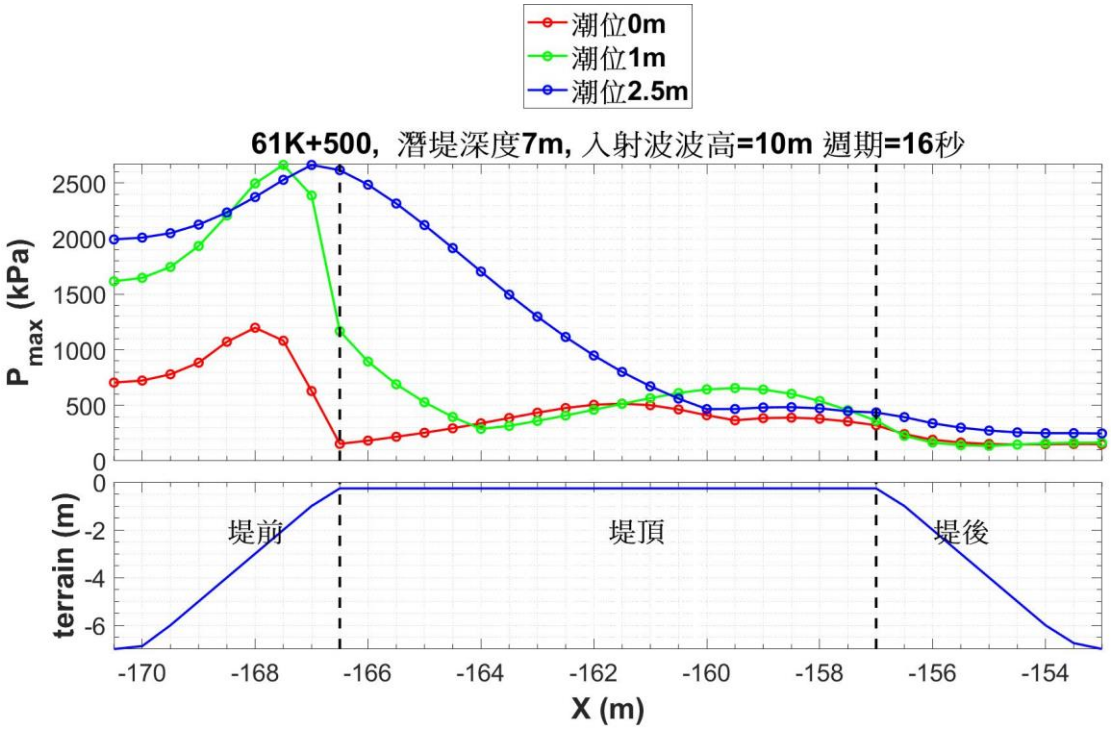
附圖 3.7 61K+500 潛堤深度 5m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



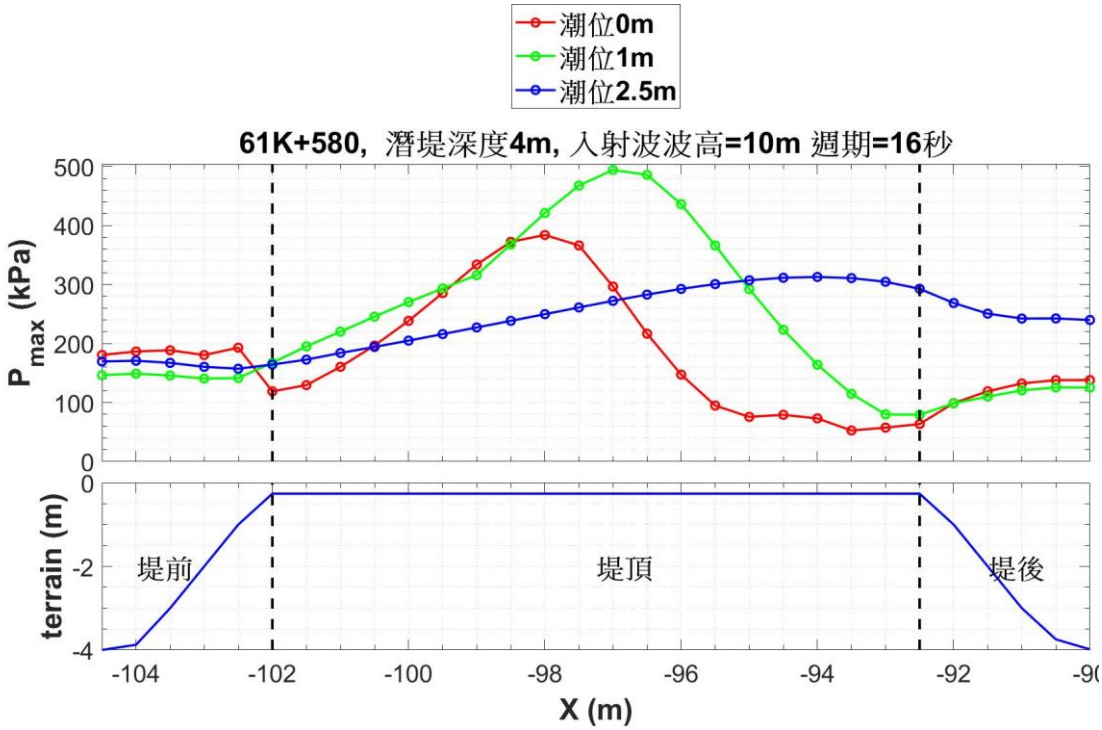
附圖 3.8 61K+500 潛堤深度 6m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



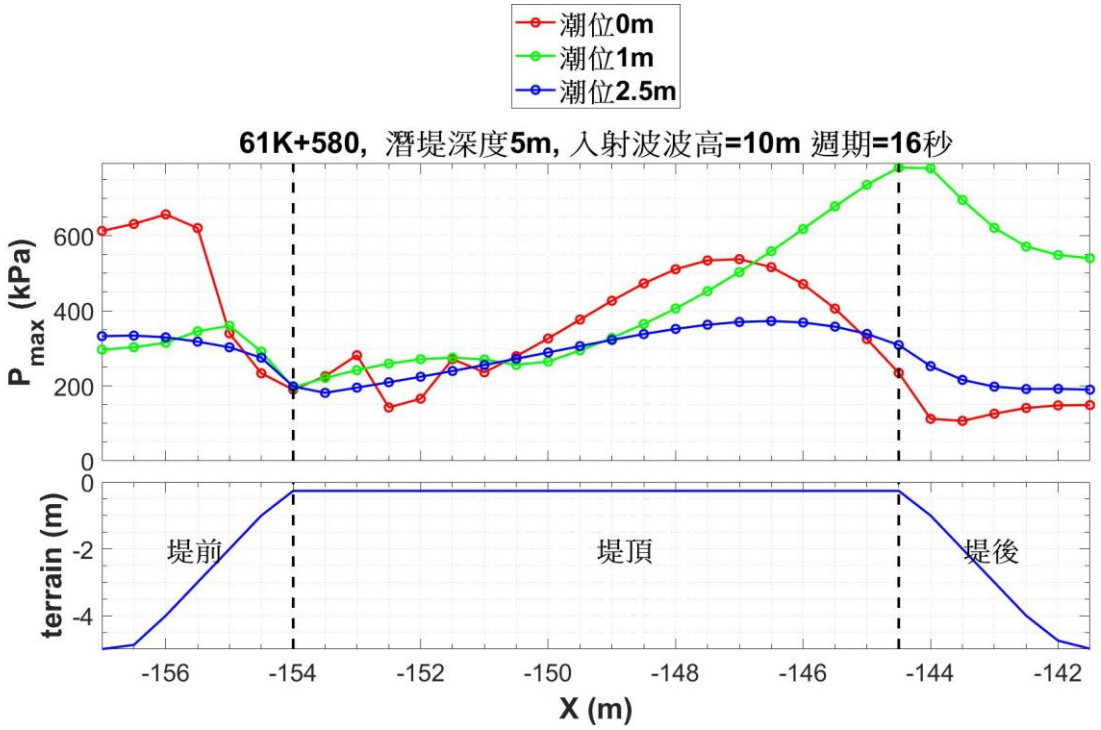
附圖 3.9 61K+500 潛堤深度 7m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



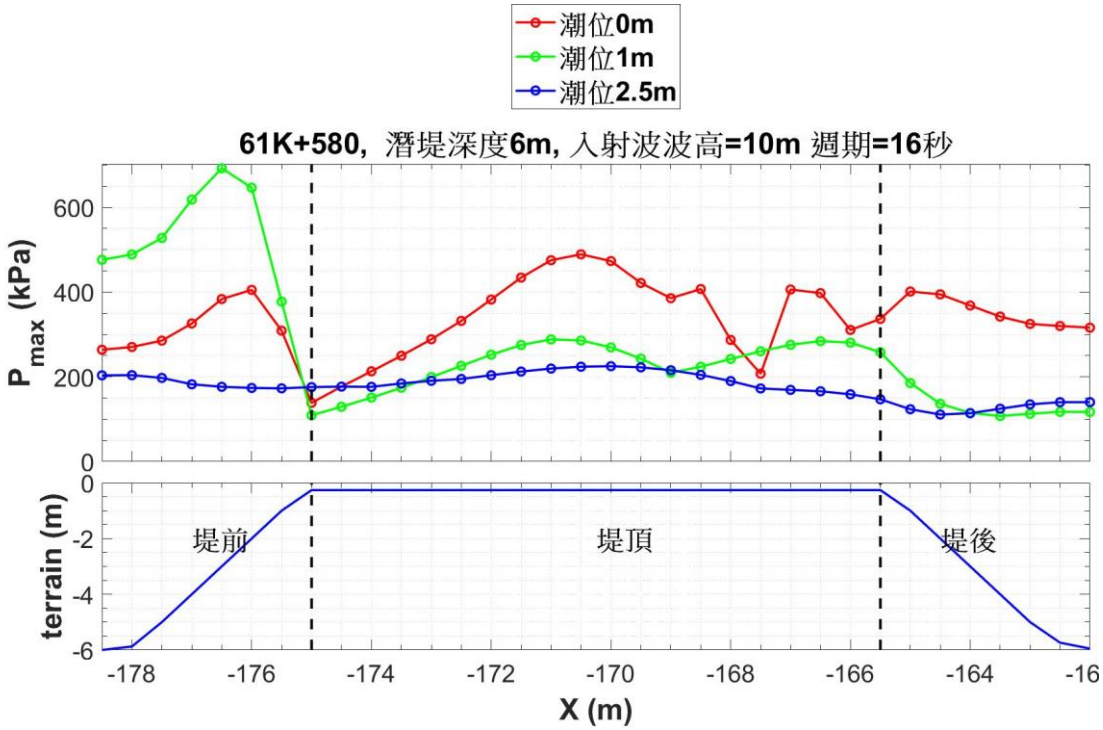
附圖 3.10 61K+500 潛堤深度 8m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



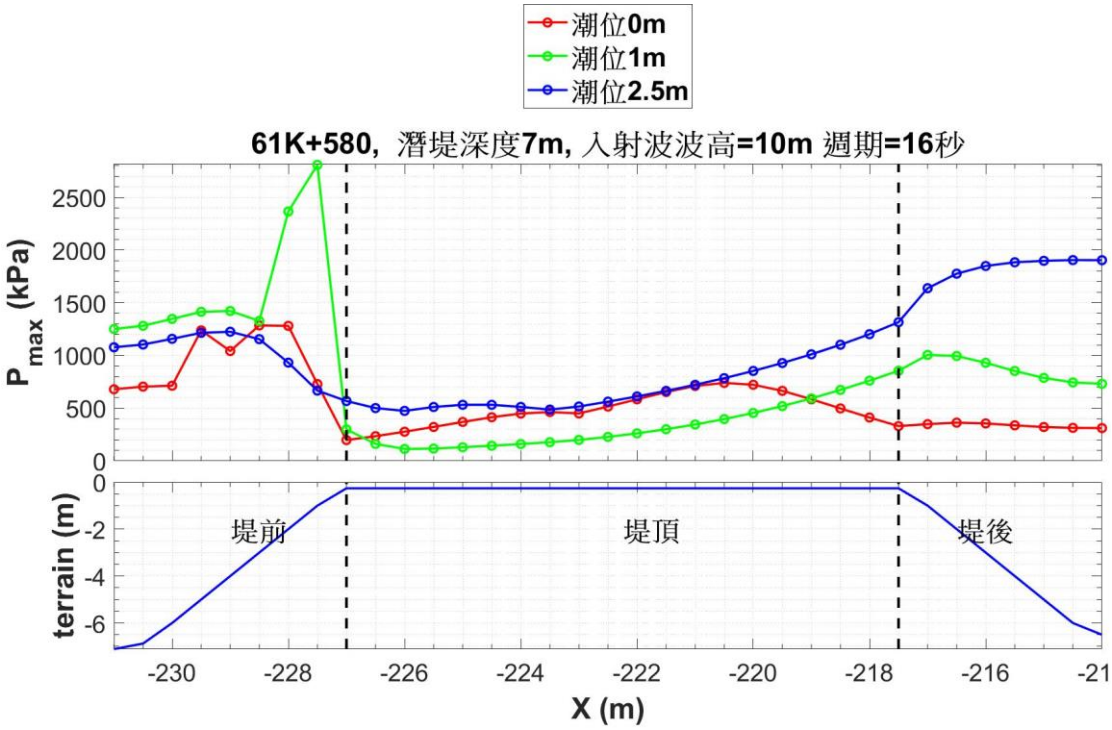
附圖 3.11 61K+580 潛堤深度 4m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



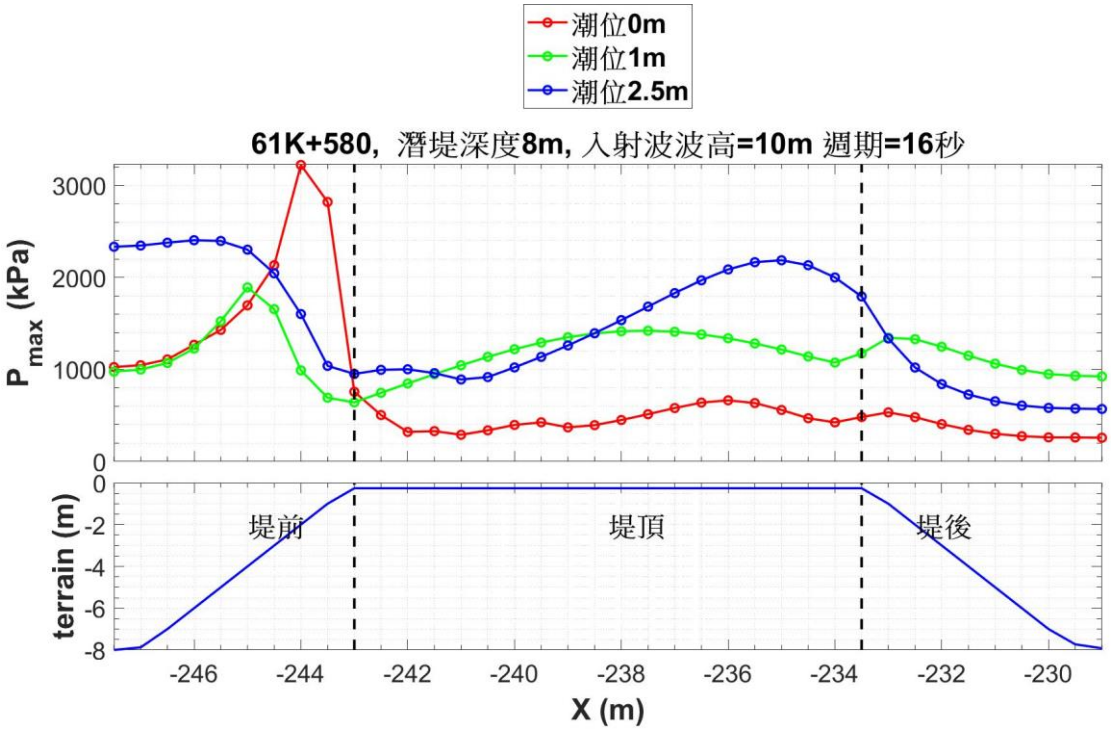
附圖 3.12 61K+580 潛堤深度 5m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



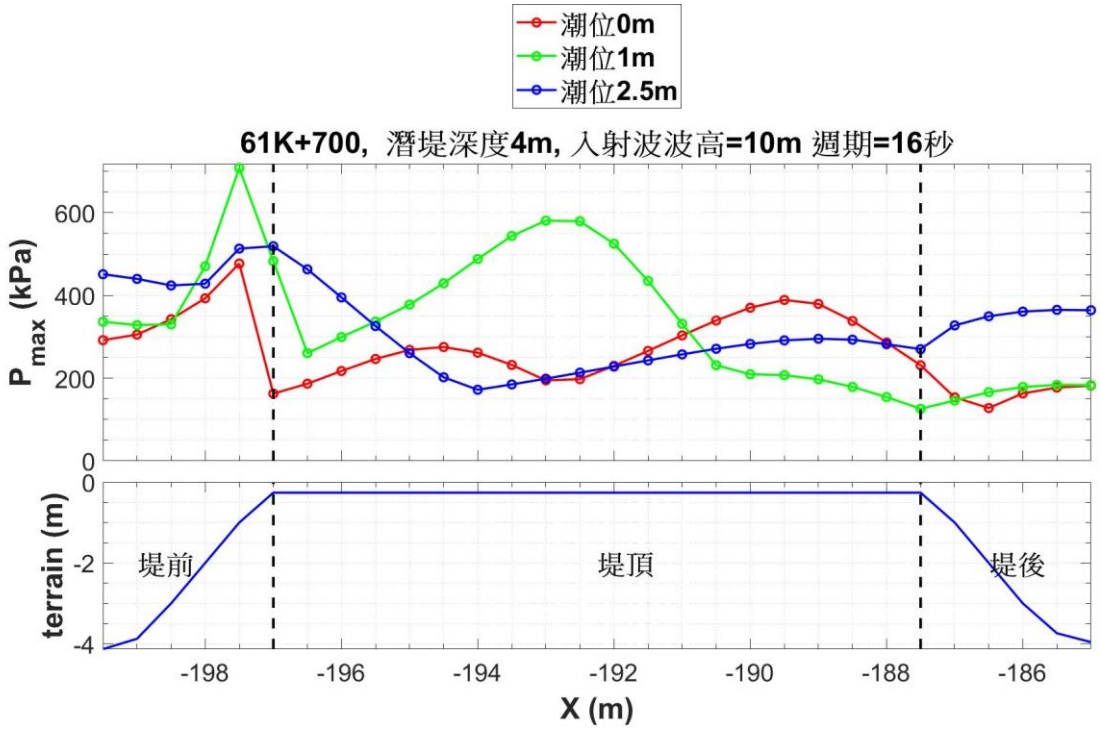
附圖 3.13 61K+580 潛堤深度 6m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



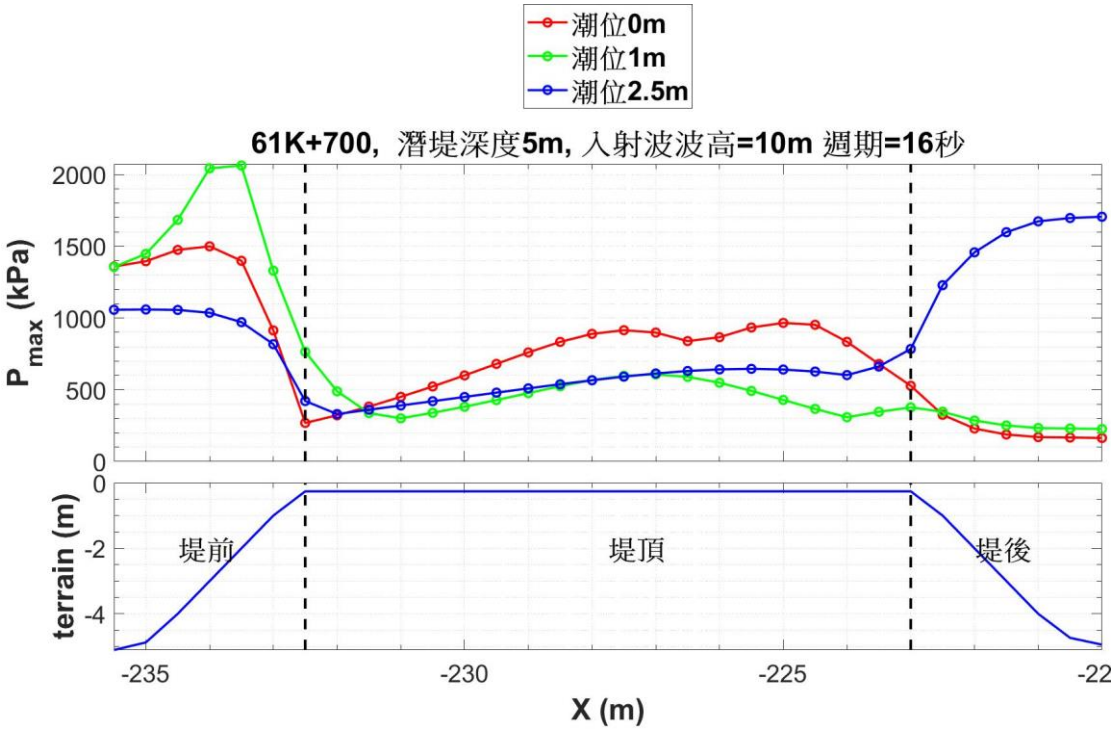
附圖 3.14 61K+580 潛堤深度 7m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



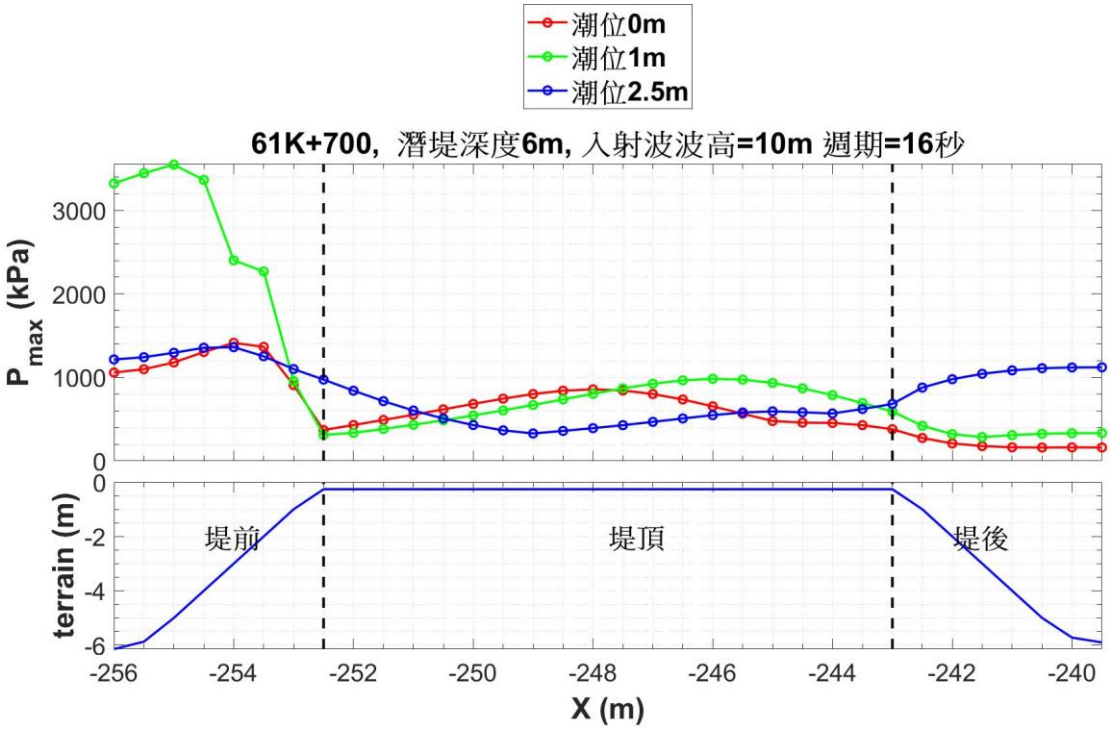
附圖 3.15 61K+580 潛堤深度 8m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



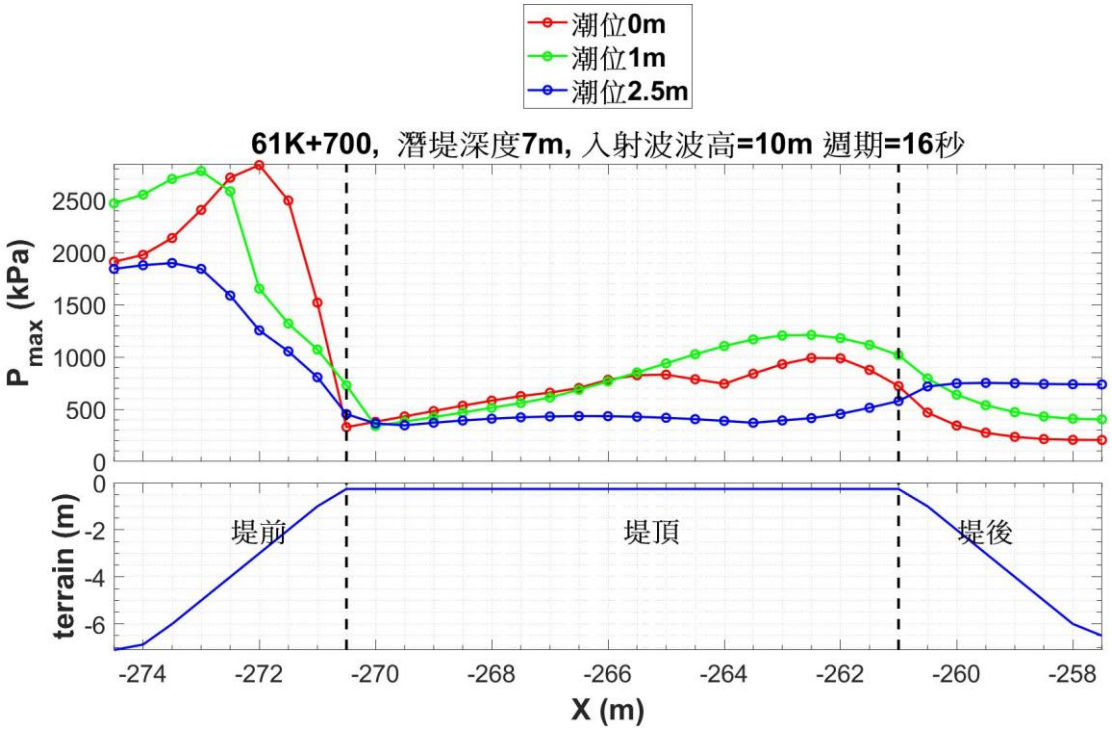
附圖 3.16 61K+700 潛堤深度 4m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



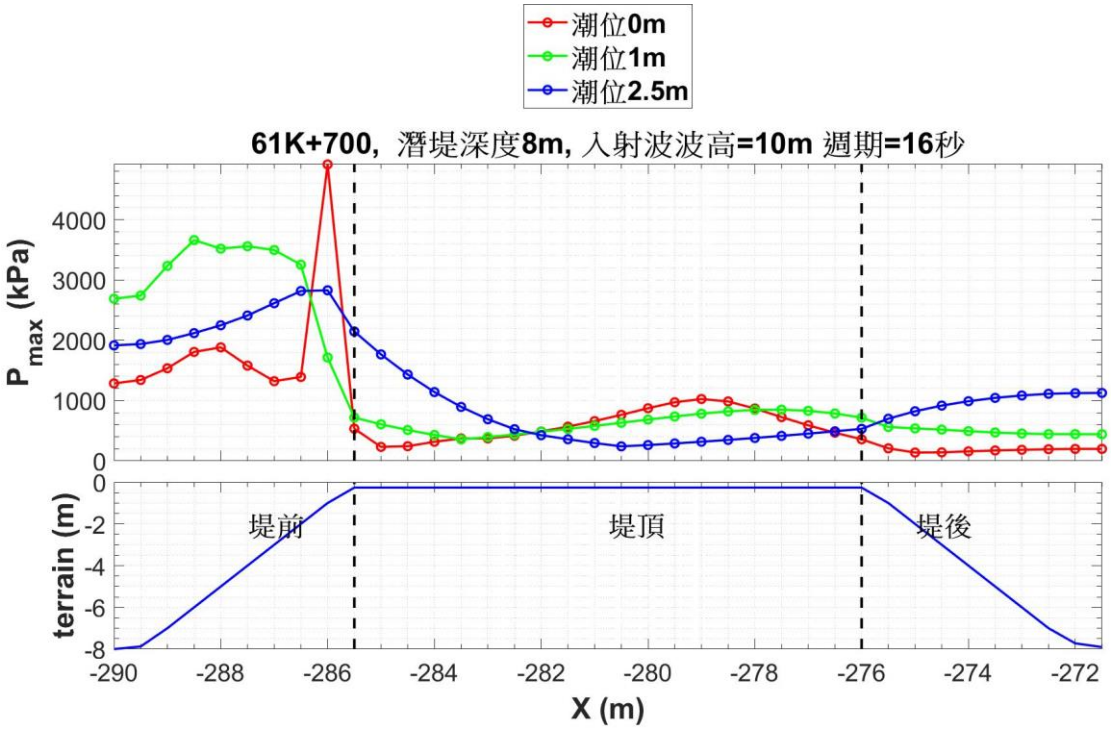
附圖 3.17 61K+700 潛堤深度 5m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



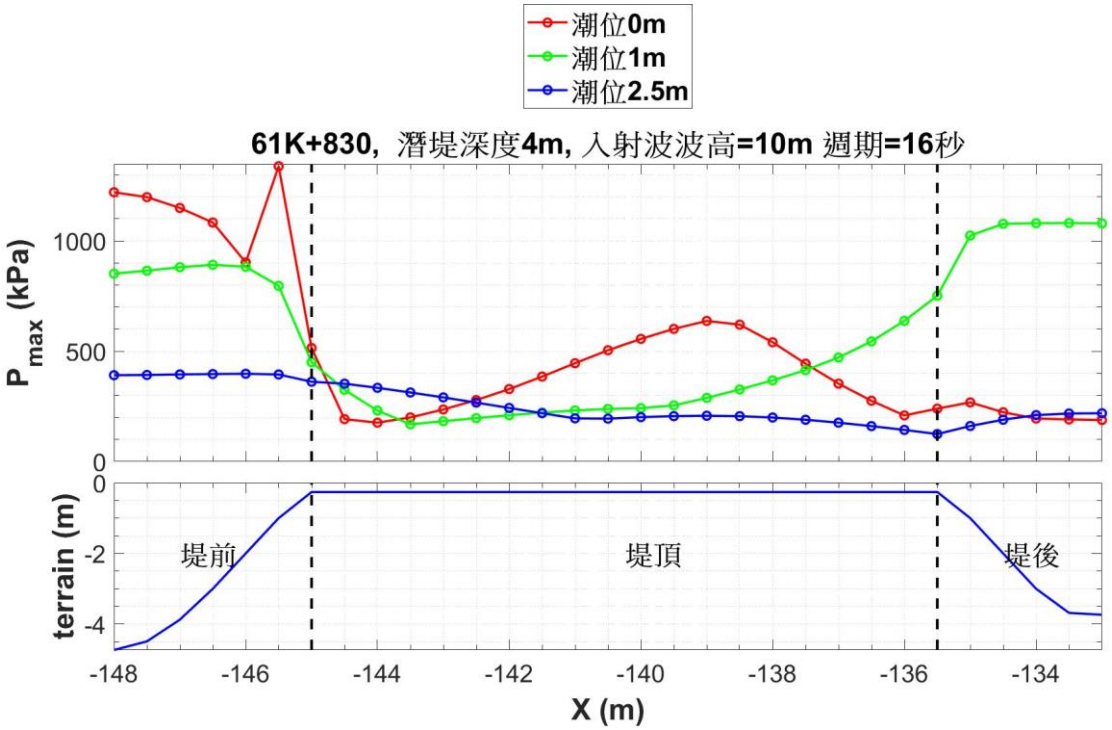
附圖 3.18 61K+700 潛堤深度 6m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



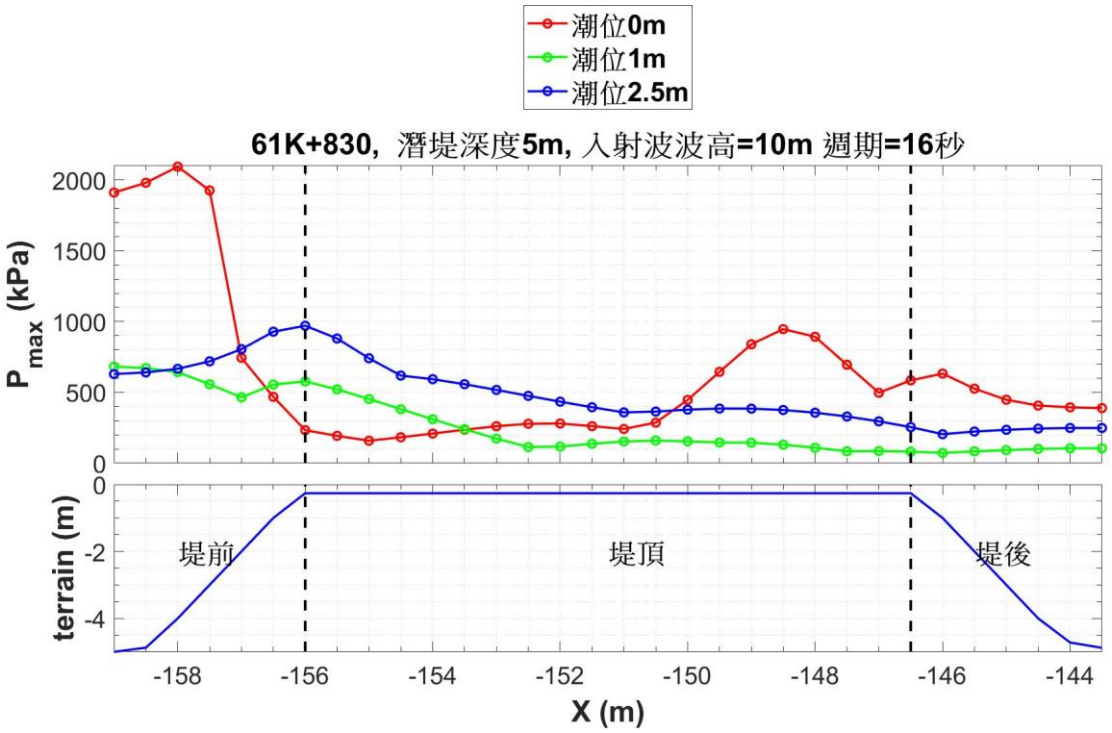
附圖 3.19 61K+700 潛堤深度 7m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



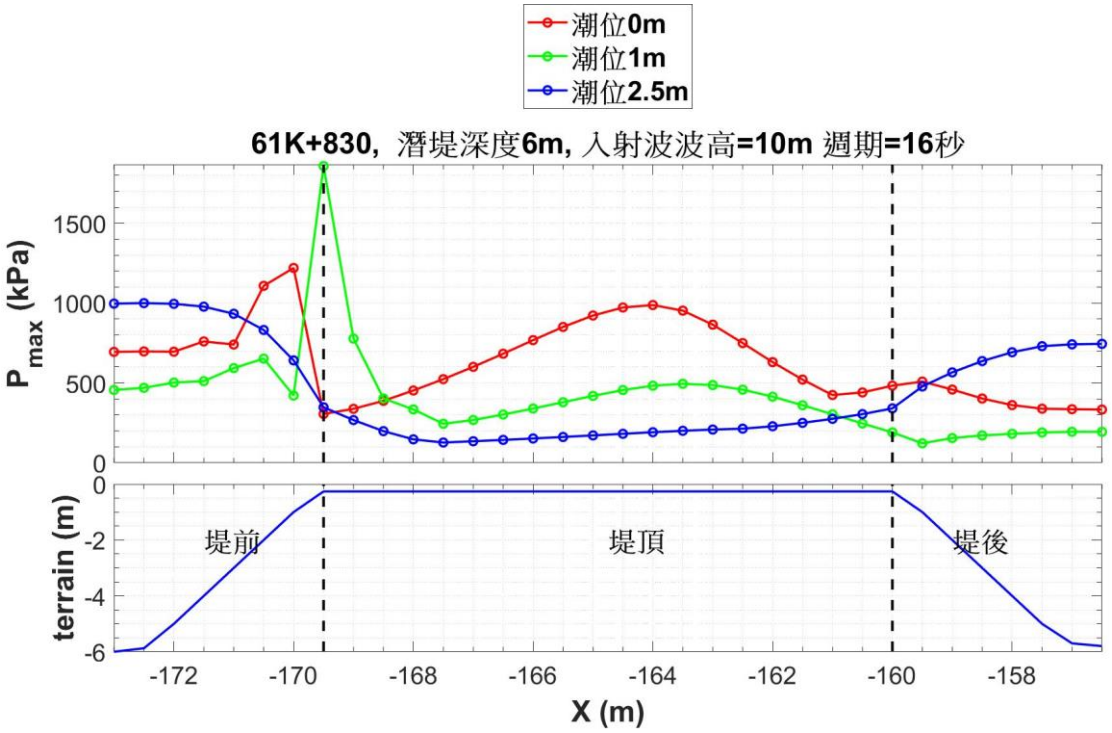
附圖 3.20 61K+700 潛堤深度 8m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



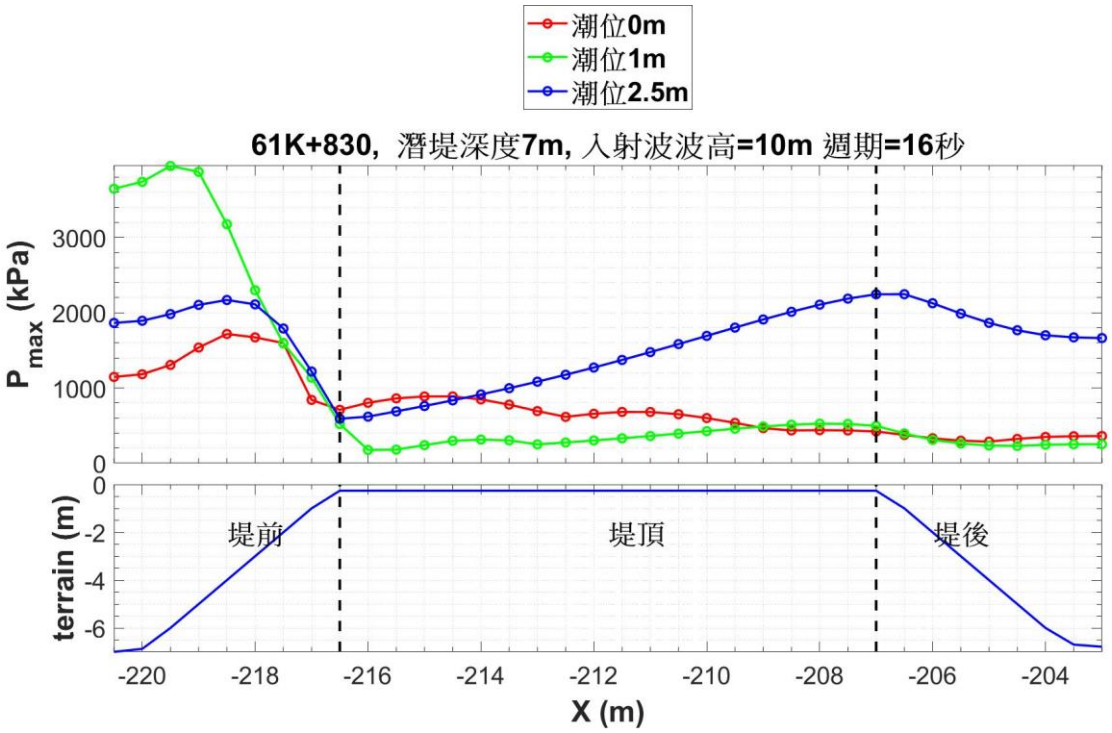
附圖 3.21 61K+830 潛堤深度 4m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



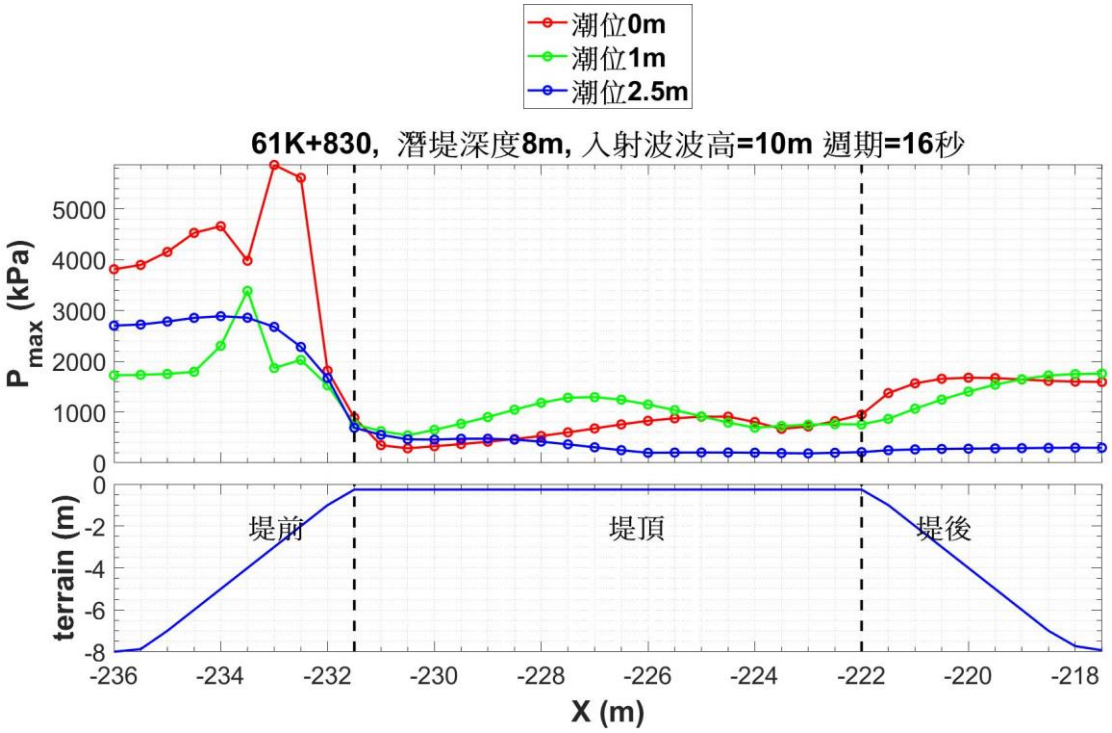
附圖 3.22 61K+830 潛堤深度 5m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



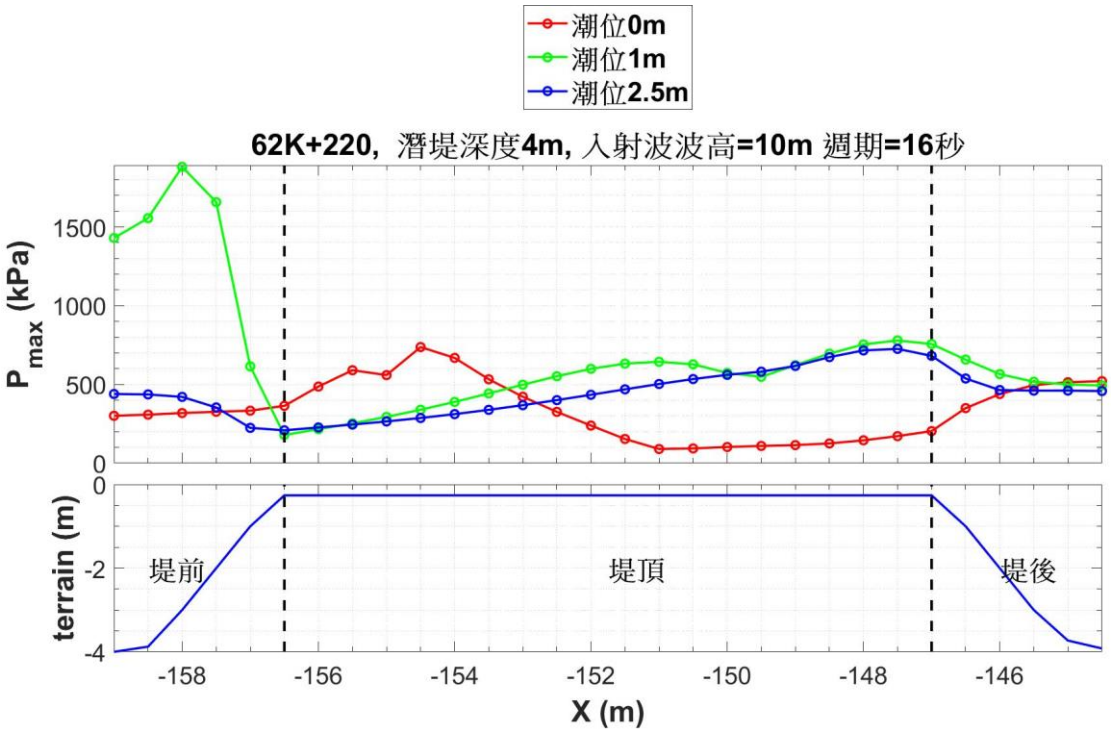
附圖 3.23 61K+830 潛堤深度 6m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



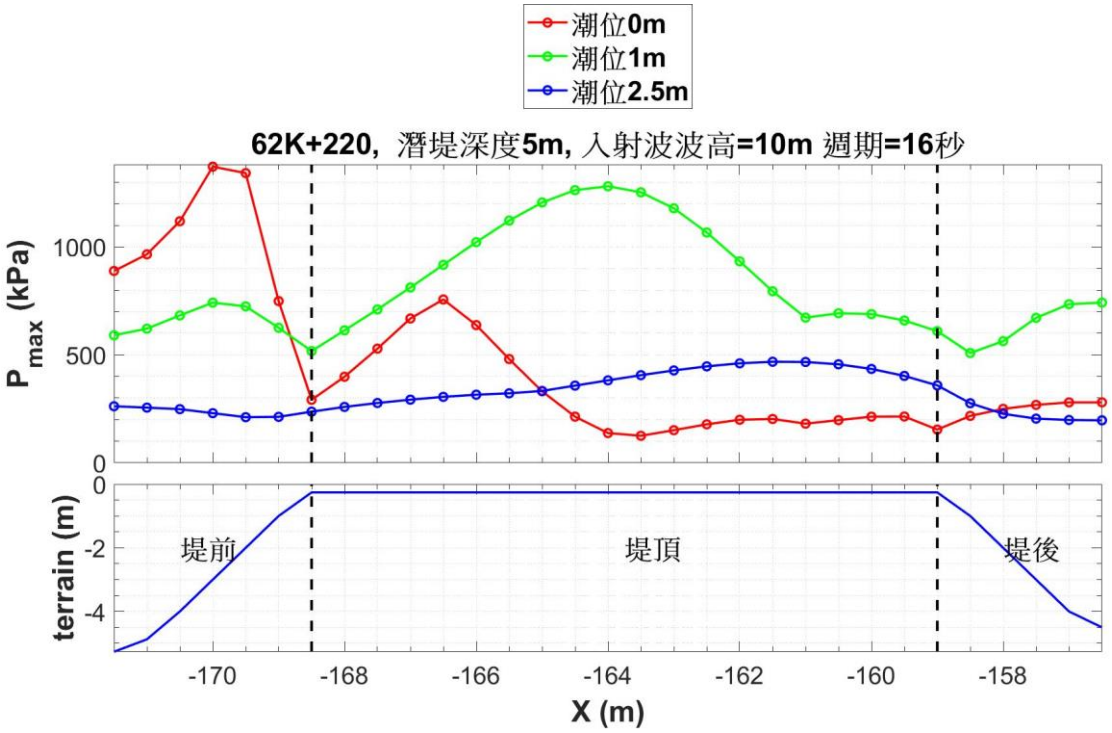
附圖 3.24 61K+830 潛堤深度 7m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



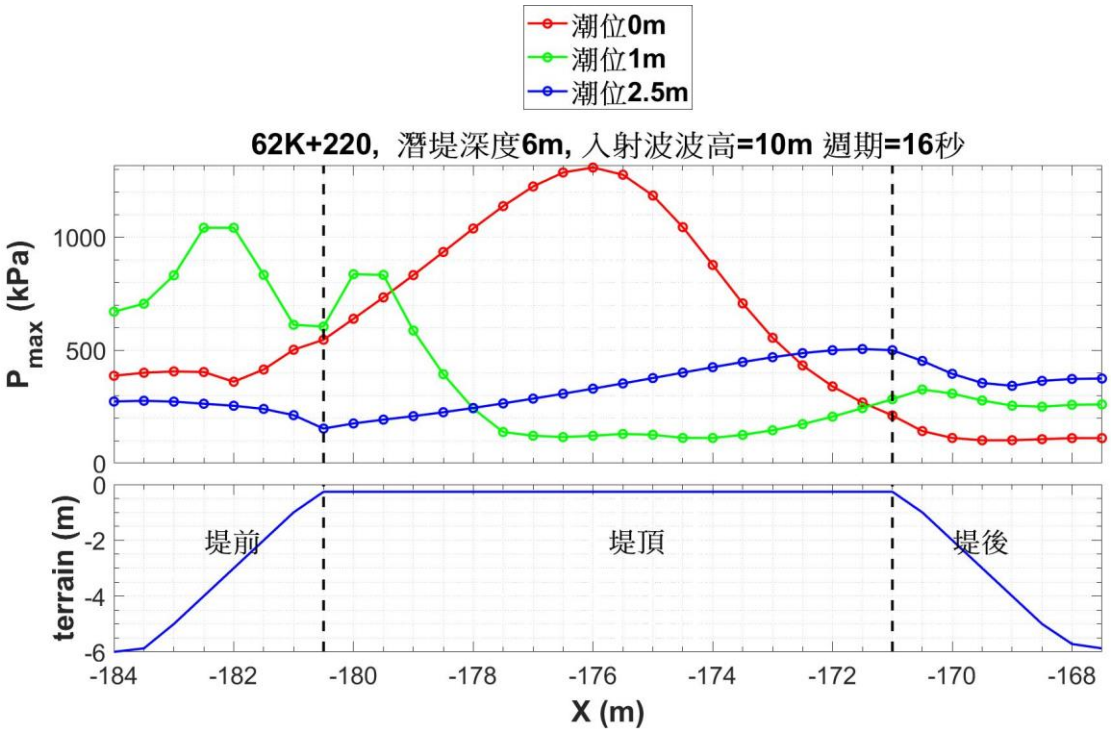
附圖 3.25 61K+830 潛堤深度 8m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



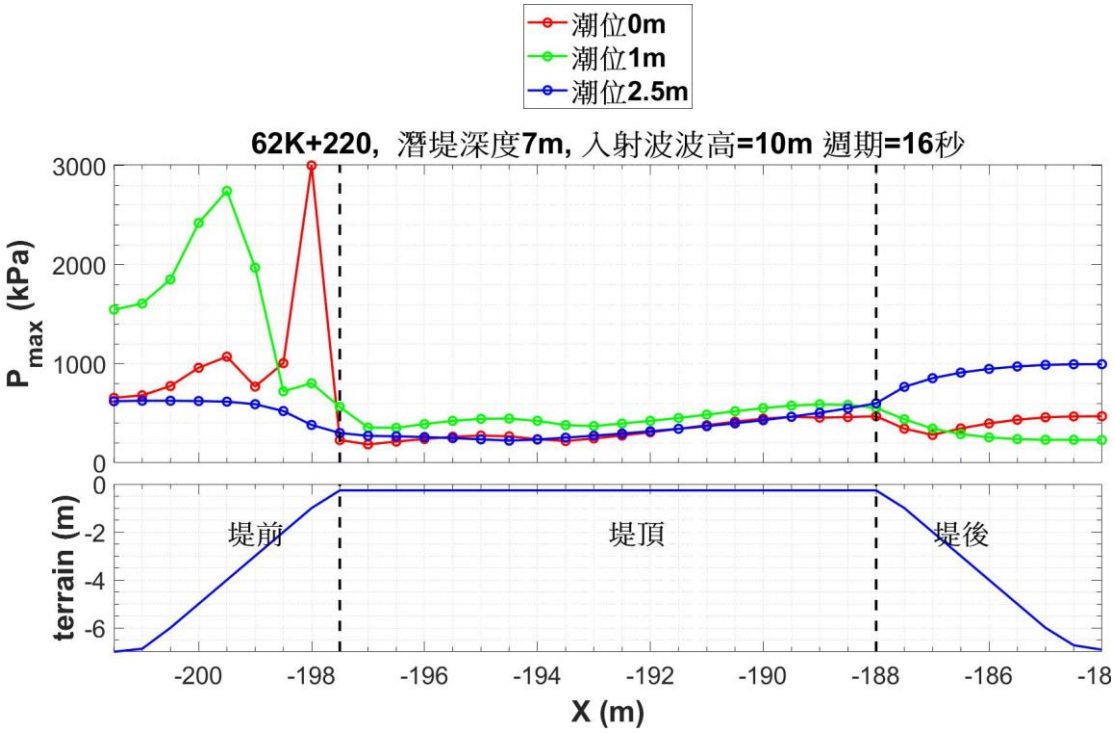
附圖 3.26 62K+220 潛堤深度 4m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



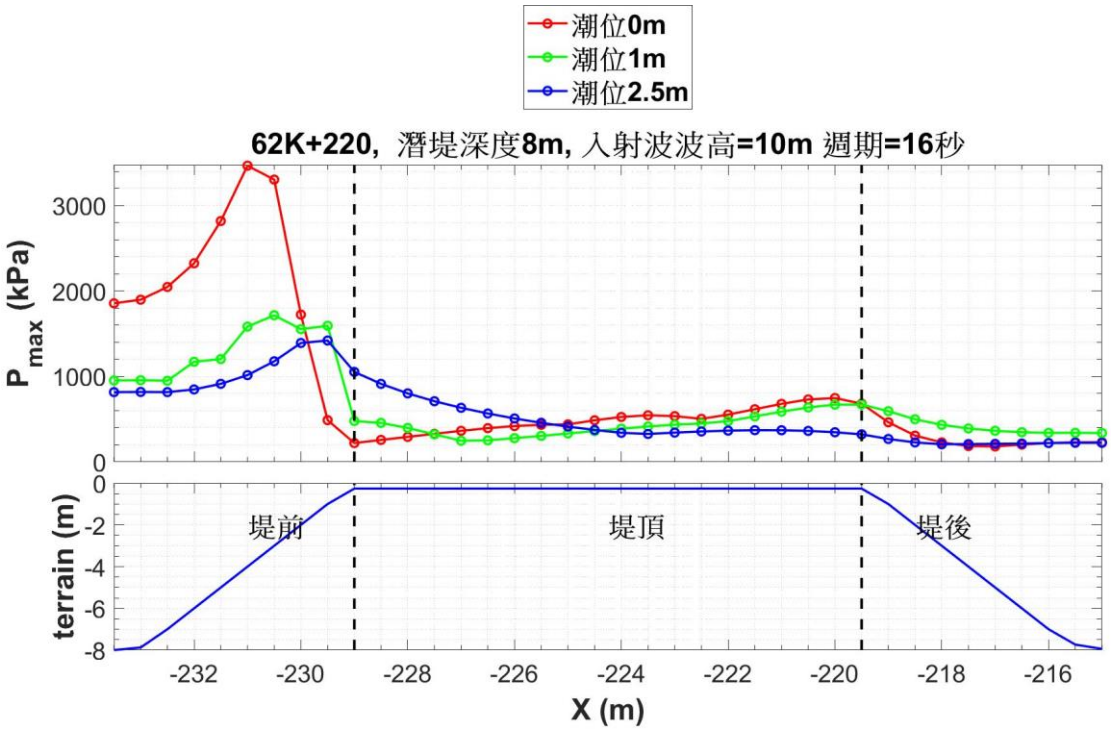
附圖 3.27 62K+220 潛堤深度 5m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



附圖 3.28 62K+220 潛堤深度 6m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



附圖 3.29 62K+220 潛堤深度 7m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力



附圖 3.30 62K+220 潛堤深度 8m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力

附錄四

表 2-3 到 2-9 最大壓力單位 kgf/cm^2 版

表 2-3 61K+300 各情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kgf/cm^2)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		23	0	1.0	5.9	1.1	0.0			
	4	23.5	0	2.3	2.3	0.1	0.0	10.8	3.4	2.6
	5	22.5	0	1.2	3.5	0.7	0.0	11.7	6.6	1.7
	6	22.5	0	0.8	4.9	0.3	0.0	11.5	7.3	1.4
	7	23	0	1.8	5.2	0.8	0.0	58.0	12.3	9.2
	8	23.5	0	1.6	6.7	1.2	0.0	44.0	10.4	7.7
1		31.5	8	3.4	12.0	7.4	0.0			
	4	31.5	8	2.4	9.6	17.8	0.0	13.8	4.4	4.9
	5	31.5	8	1.3	4.5	19.6	0.2	17.0	10.0	13.2
	6	31.5	8	2.8	10.0	2.1	0.1	18.6	11.3	6.2
	7	31.5	8	7.7	20.0	4.4	0.2	19.5	19.5	16.1
	8	31.5	8	2.6	7.9	3.1	0.2	49.5	14.2	14.8
2.5		31.5	8	0.9	4.2	8.7	6.6			
	4	31.5	8	3.7	11.3	14.2	0.8	12.1	10.4	2.8
	5	31.5	8	9.5	18.7	9.6	2.3	28.4	15.2	13.4
	6	31.5	8	2.2	7.7	9.2	0.2	37.7	11.0	8.5
	7	31.5	8	2.3	6.6	7.0	0.4	18.7	21.2	19.0
	8	31.5	8	7.7	20.0	8.8	3.9	47.9	34.6	5.7

表 2-4 61K+380 各情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kgf/cm^2)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		19.5	0	2.6	2.7	3.0	0.0			
	4	16	0	9.6	7.5	0.0	0.0	49.4	26.5	15.7
	5	20	0	7.4	0.7	0.0	0.0	7.5	14.2	8.3
	6	16	0	8.2	4.2	0.0	0.0	5.8	9.5	2.1
	7	16	0	4.6	4.7	0.0	0.0	9.0	11.0	4.7
	8	16	0	4.7	1.4	0.0	0.0	2.9	5.2	4.1
1		21.5	0	4.0	3.7	7.6	0.0			
	4	21	0	5.8	6.7	5.6	0.0	7.3	15.1	16.3
	5	20.5	0	5.8	10.5	3.9	0.0	4.7	6.7	7.5
	6	21	0	12.7	2.6	8.0	0.0	6.8	2.9	2.6
	7	21.5	0	7.0	4.1	3.6	0.0	11.7	1.8	4.1
	8	22	0.5	10.2	2.8	2.5	0.0	14.7	9.4	7.2
2.5		29.5	8	25.4	5.9	9.7	0.8			
	4	29.5	8	10.5	6.7	8.5	0.1	3.5	14.2	21.8
	5	29.5	8	15.7	3.8	3.4	0.2	2.6	2.7	4.5
	6	29.5	8	5.0	7.0	5.1	0.1	2.9	2.3	1.9
	7	29.5	8	2.7	3.6	5.5	0.1	1.7	2.2	2.2
	8	29.5	8	5.8	3.9	5.7	0.3	4.3	0.8	1.6

表 2-5 61K+500 各情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kgf/cm^2)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		29	0	5.4	2.5	2.9	0.0			
	4	29.5	0	2.6	0.3	0.7	0.0	2.0	0.9	0.7
	5	24	0	3.1	0.0	0.0	0.0	2.8	1.3	1.6
	6	26	0	1.5	1.6	0.0	0.0	8.0	2.3	1.0
	7	25.5	0	3.9	0.6	0.0	0.0	12.2	5.3	3.3
	8	27.5	0	5.0	0.4	0.1	0.0	33.1	9.9	4.7
1		38	8	2.8	0.9	6.2	0.1			
	4	38	8	1.3	22.9	11.2	4.2	1.8	3.1	0.9
	5	30.5	0.5	13.4	19.2	9.7	0.0	1.5	3.5	3.1
	6	30.5	0.5	0.9	6.0	0.3	0.0	3.1	3.7	3.1
	7	30	0	5.6	5.3	0.4	0.0	27.2	9.1	3.7
	8	38	8	7.2	4.5	3.6	0.0	12.0	9.3	5.1
2.5		38	8	13.3	13.5	19.4	1.2			
	4	38	8	6.7	4.4	17.5	7.4	1.4	1.6	1.5
	5	38	8	2.1	4.4	4.0	0.2	1.6	2.6	1.8
	6	38	8	18.4	4.2	4.5	1.0	2.4	3.5	2.5
	7	38	8	13.5	9.4	6.5	0.9	27.2	25.3	4.4
	8	38	8	13.8	6.3	21.1	2.2	18.5	6.3	5.5

表 2-6 61K+580 各情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kgf/cm^2)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		23	0	0.2	2.0	2.5	0.0			
	4	15.5	0	1.2	0.1	0.0	0.0	2.0	3.9	1.4
	5	15.5	0	0.3	0.1	0.0	0.0	6.7	5.5	2.4
	6	15.5	0	0.5	0.4	0.0	0.0	4.1	5.0	4.1
	7	21	0	3.3	2.0	0.0	0.0	13.1	7.5	3.7
	8	22.5	0	2.4	2.0	0.1	0.0	32.9	6.8	5.4
1		31.5	8	1.7	3.5	0.8	0.1			
	4	31.5	8	2.3	2.3	0.4	0.1	1.7	5.0	1.3
	5	31.5	8	2.6	3.7	0.3	0.0	3.7	7.5	8.0
	6	31.5	8	2.1	9.9	0.3	0.0	7.1	2.9	2.6
	7	31.5	8	3.7	1.6	0.6	0.2	28.6	7.8	10.2
	8	31.5	8	2.3	5.1	1.3	0.1	19.3	14.5	13.7
2.5		31.5	8	2.5	6.4	4.3	0.4			
	4	31.5	8	4.5	3.6	1.6	0.3	1.7	3.2	3.0
	5	31.5	8	3.1	12.9	20.3	0.5	3.4	3.8	3.1
	6	31.5	8	6.7	13.7	6.2	0.4	2.1	2.3	1.5
	7	31.5	8	6.1	12.6	4.3	4.0	12.5	12.3	19.4
	8	31.5	8	11.2	5.9	6.4	3.0	24.5	22.3	18.3

表 2-7 61K+700 各情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kgf/cm^2)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		21	0	1.5	4.2	0.8	0.0			
	4	21	0	1.4	0.7	0.2	0.0	4.9	4.0	2.4
	5	20.5	0	0.4	2.1	0.2	0.0	15.3	9.8	5.4
	6	21	0	0.6	4.9	0.4	0.0	14.4	8.7	3.9
	7	21.5	0	0.3	1.8	0.4	0.0	28.9	10.1	7.4
	8	21.5	0	0.3	1.1	1.2	0.0	50.1	10.5	3.7
1		30	8	0.9	3.7	1.5	0.0			
	4	30	8	0.5	0.8	0.5	0.0	7.2	5.9	1.9
	5	30	8	0.9	1.6	4.0	0.0	21.0	6.2	3.8
	6	30	8	2.1	1.2	0.4	0.0	36.2	10.0	6.0
	7	30	8	0.5	1.6	1.2	0.0	28.3	12.3	10.4
	8	30	8	0.5	2.3	1.0	0.0	37.3	8.7	7.3
2.5		30	8	0.7	2.1	1.7	1.1			
	4	30	8	0.7	2.6	0.9	0.3	5.3	4.7	3.7
	5	30	8	0.6	5.5	2.4	0.2	10.8	6.8	17.3
	6	30	8	0.6	2.2	3.5	0.3	13.9	8.6	11.4
	7	30	8	0.6	2.7	1.6	0.7	19.4	5.2	7.7
	8	30	8	0.6	2.6	1.5	0.4	28.8	18.0	11.5

表 2-8 61K+830 各情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kgf/cm^2)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		55.5	0	0.2	0.2	0.1	0.0			
	4	53.5	0	0.1	0.1	0.0	0.0	13.6	6.5	2.7
	5	52	0	0.1	0.1	0.0	0.0	21.4	9.7	6.5
	6	49	0	0.2	0.1	0.0	0.0	12.4	10.1	5.2
	7	49	0	1.6	0.0	0.0	0.0	17.5	9.0	4.3
	8	50.5	0	0.1	0.1	0.0	0.0	59.8	9.3	17.1
1		66	8	0.3	2.1	0.2	0.0			
	4	66	8	0.3	0.5	0.2	0.0	9.1	6.5	11.0
	5	58.5	0.5	0.5	1.3	0.1	0.0	6.8	5.3	1.1
	6	58.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	18.9	7.9	2.0
	7	56	0	0.8	0.2	0.1	0.0	40.3	5.3	5.0
	8	55	0	1.1	0.2	0.1	0.0	34.5	13.2	17.8
2.5		66	8	3.4	3.0	0.3	0.1			
	4	66	8	1.1	0.4	0.3	0.1	4.1	3.6	2.2
	5	66	8	3.8	0.5	2.6	0.1	9.9	9.0	2.6
	6	66	8	1.9	0.7	0.3	0.1	10.2	3.1	7.6
	7	66	8	0.6	0.4	0.3	0.1	22.1	22.3	22.9
	8	66	8	3.1	0.8	0.3	0.1	29.4	5.6	3.0

表 2-9 62K+220 各情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位 (m)	潛堤深度 (m)	陸地溢淹距離 (m)	道路溢淹距離 (m)	區域最大壓力 (kgf/cm^2)						
				距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		61	32	0.4	0.3	0.2	0.1			
	4	27	0	0.3	0.2	0.1	0.0	3.7	7.5	5.2
	5	27	0	0.6	0.2	0.1	0.0	14.0	7.7	2.9
	6	26	0	0.5	0.2	0.1	0.0	5.6	13.3	2.2
	7	26	0	0.2	0.2	0.1	0.0	30.6	4.7	4.8
	8	26	0	1.8	1.1	0.1	0.0	35.4	7.6	7.0
1		61	32	2.3	1.4	0.3	0.8			
	4	61	32	2.1	2.3	1.1	0.2	19.2	7.9	7.7
	5	61	32	1.6	0.4	0.3	0.2	7.6	13.1	7.5
	6	61	32	1.3	0.7	0.3	0.1	10.6	8.5	3.3
	7	61	32	2.2	1.6	0.8	0.1	28.0	6.0	5.6
	8	29	0	2.6	2.8	0.2	0.0	17.5	6.8	6.8
2.5		61	32	5.1	6.5	2.2	4.2			
	4	61	32	2.7	5.9	1.2	1.2	4.5	7.4	6.9
	5	61	32	3.5	5.0	1.1	3.0	2.6	4.8	3.7
	6	61	32	0.7	3.8	2.7	0.4	2.8	5.2	5.1
	7	61	32	2.0	3.0	0.5	1.4	6.4	5.6	10.1
	8	61	32	1.4	3.9	0.9	2.6	14.5	9.3	3.3

附錄五

XBeach - Surfbeat 模式簡介

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水平二維數值模型(2DH)，可求解波浪傳播、長波和平均流、泥沙輸送和地形形態變化等水平方向方程。該模型有兩種主要模組： i) 非靜水壓(nonhydrostatic)，可解析所有短波的波浪運動，然而需要較高的計算成本； ii) Surfbeat (以下簡稱 XB-SB)，它在波群尺度上解析運動，但以相位平均的方式（短波平均）處理短波運動，與非靜水壓模組相比，其所需的計算量少很多。應該注意的是，雖然 XB-SB 模式不能解決海浪頻率運動，但它能計算穩態的波揚、穩定流(或非穩定)和亞重力波運動，這些在極端（耗散）事件和邊緣礁環境中往往占主導地位。

Xbeach 的 Surfbeat 模式使用外力隨時間變化的波浪作用方程來解短波運動，類似於 1989 年 Holthuijsen 等人提出的 HISWA (Hindcasting Shallow-water Waves)模型方程。 XB-SB 使用單個代表性的頻率，並將(1)式的波作用方程應用於波群的時間尺度。

$$\frac{\partial \mathrm{A}}{\partial t}+\frac{\partial c_{gx}\mathrm{A}}{\partial x}+\frac{\partial c_{gy}\mathrm{A}}{\partial y}+\frac{\partial c_{\theta}\mathrm{A}}{\partial \theta}=-\frac{D_{\omega}}{\rho} \tag{1}$$

其中：

$$\mathrm{A}(x,y,t,\theta)=\frac{S_{\omega}(x,y,t,\theta)}{\sigma(x,y,t)} \tag{2}$$

$$\sigma=\sqrt{gk\tanh(kh)} \tag{3}$$

波的作用 A 可由(1)式計算，其θ代表相對於 x 軸的入射夾角，S_{ω}表示每個方向頻道中的波能量密度；σ表示波的本質頻率，可由(3)式線性頻散關係來計算；D_{ω}為碎波作用的消散項；c_{gx}、c_{gy}、c_{θ}各為波作用在 x 方向、y 方向和波向的傳播速度。

為了模擬碎波，XB-SB 應用將 Roelvink(1993)的消散模式應用在短波群，而且使用一個滾動模式(roller model，Svendsen 1984，Nairn 等 1991)來代表動量儲存在表面的滾動子(roller)，使向岸方向的波作用力延遲。由這些變化引起的輻射應力梯度對水柱施加力，產生次重力波、不穩定流和波揚，這些是通過求解非線性淺水方程式第(4)和(5)式計算，因此是以相位解析的方式求解。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial uh}{\partial x}=0 \tag{4}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}-\nu_h\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial(\bar{q}+\rho g\eta)}{\partial x}-c_f\frac{u|u|}{h} \tag{5}$$

其中 x 和 t 分別是水平空間和時間坐標，η是自由表面高程，u是深度平均跨岸速度，ν_h是水平黏滯係數，h是當地水深，ρ是水的密度，$\bar{q}$ 是由密度正規化的深度平均動壓力(靜水壓)，c_f是底床摩擦係數。XB-SB 模式預設使用曼寧粗糙度係數 n 計算摩擦係數c_f，如下式：

$$c_f=\frac{gn^2}{h^{1/3}} \tag{6}$$

由於波浪破碎引起的總波浪能量耗散$\overline{D_W}$由代表性波浪週期 T_{rep}、碎波比例 Qb、波群變化的短波能量E_w、均方根波高H_{rms}、水深h以及耗散校正係數α(模式預設值 1)來決定，如下列(7)式：

$$\overline{D_W}=2\frac{\alpha}{T_{rep}}Q_bE_w\frac{H_{rms}}{h} \tag{7}$$

$$Q_b=1-\exp\left(-\left(\frac{H_{rms}}{H_{max}}\right)^n\right),\ H_{rms}=\sqrt{\frac{8E_w}{\rho\omega}},\ H_{max}=\gamma h \tag{8}$$

其中 n 為一係數，模式預設值為 10；H_{max}為最大波高；γ為碎波參數，模式預設值 0.55。

附錄六

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-110-H3CB001d「花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警系統建置」

合作研究單位：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)簡仲璟委員		
1. 本研究對台 11 線(人定勝天 61K 處附近)受颱風波浪侵襲時之路基掏空及通行安全問題，利用數值模擬計算，在近岸處設置潛堤後之溯上溢淹及道路區與潛堤區之最大壓力，藉此了解其成效。工作內容詳細區分各種不同情境與條件進行分析比較，其成果具實際應用價值，工作團隊努力值得肯定。	感謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
2. 本研究所建議之浪襲預警系統目前運作情形如何，中央氣象局根據現場實測波浪資料，當示性波高大於 1.5m 且週期大於 8 秒時，發布長浪警示訊息。建議兩者可做比較，雖然後者是依即時觀測資料，其預警效果可能較差。	浪襲預警系統目前正常維運並會檢視颱風期間系統預警的燈號情形。將考慮於期末在台 11 線 44K 站所建立的浪襲預警系統來跟氣象局長浪警戒訊息進行比對。	同意合作單位之說明與處理情形。
3. 本報告書中有些語意不清或未交代說明之處，請再檢視後補充。例如 p.2-8 之 XBeach 模式與COBRAS模式有何差異？模式之左邊界與東邊界？模式地形是取離岸方向切線？p.2-18 由圖 2.28 如何得知溢淹距離達 35m？圖 2.8 看不到模式的網	COBRAS 為垂直 2 維模式，目的用於探討越波等造成的壓力；而 XBeach 為水平 2 維模式，用於檢視波浪水平 2 維效應的壓力影響(例如繞射)。將於期末的附錄補充 XBeach 模式簡介。COBRAS 模式地形切線取的離岸方向路徑沿波向線方向(圖	同意合作單位之說明與補充方式。

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
格切割情形，似乎較像水深測量航跡圖。	2.11)。圖 2.28 的 X= 0m 為岸線，由於在 X=35m 過後沒有壓力值，故判斷溢淹距離為 35m。圖 2.8 藍點為觀測位置點，地形圖為利用觀測點內插的結果。	
4. p.1-3 之工作項目 6 及 7 尚未看到工作成果，是否期末報告時再補充？因此，期中工作是否符合預定進度，請再確認。	謝謝委員指正。將於期末報告第一章補充工作項目的進度甘梯圖，以利檢視工作進度。	同意合作單位之處理情形。
(二)黃國書委員		
1. 計畫標題為浪襲預警及因應對策，不知在前一期(1/2)是否已就預警與防、避災之可能作為，例如預警性封路或設置明隧道等，均做過方案比較，最後決定設置潛堤作為減少浪襲公路的因應對策？另花蓮海岸二級防護計畫關於此區之規劃為何？	前一期計畫主要建立人定勝天段的浪襲預警系統提供預警性封路參考，尚無其他方案比較。由於離岸潛堤兼具美觀與消波的作用，故計畫選擇潛堤並參考花蓮南濱與化仁段的設置。目前花蓮縣海岸二級防護計畫草案尚未將人定勝天段列為災害防治區域。	同意合作單位之說明與處理方式。
2. 波浪條件之訂定很重要。本研究的消減波浪防護工法直接用潛堤來模擬測試，工作團隊在有限預算內還需提出一個潛堤幾何量體與平面佈置規劃(包括潛堤位置、分布、堤長、堤高、堤頂寬與堤前後坡度等)，以便進行減浪功效之評估，實屬不易。惟這些評估結果很可能會因波浪條件改變而改變，有需要考慮可能發生的較差情境，例如在潮位高，週期更長之小波尖度長波，且通過潛堤未碎波或只損失少部分能量的情況。	謝謝委員建議。由於人定勝天段沒有觀測值，COBRAS 模擬使用花蓮港的 50 年重現期波高 10m 以及最近 5 年颱風期間最大尖峰週期 16 秒和潮位 2.5m 作為模擬條件，三者已皆屬於較極端的條件，應可提供一些參考。	同意合作單位之說明與分析。
3. p.2-47 至 p.2-49 所示的幾次浪襲公路事件有可能獲得當時的	至今人定勝天路段附近尚無波浪觀測資料。p.2-49 潭美颱風浪	同意合作單位之說明。

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
波浪條件嗎？	襲事件根據運研所的 SWAN 模式預報的示性波高以及尖峰週期各為 5.41m 和 16.3 秒。	
4. 圖 2.30~2.32 縱軸“terrain”定義與圖 2.33 至圖 2.37 不同？且沒有畫水面線，也未標示潛堤位置，不易評斷幾處壓力驟增點與地形變化及潛堤之關聯。	圖 2.30 到 2.32 縱軸“terrain”定義與圖 2.33 至圖 2.37 相同，差別在圖 2.30 到 2.32 是道路附近的陸地區域，而圖 2.33 至圖 2.37 是離岸潛堤所在區域。目前僅侷限這兩個區域的最大壓力值作不同潮位的條件比較。	同意合作單位之說明與處理情形。
5. 通常潛堤是由消波塊堆疊組合而成，惟目前只考慮整體外廓幾何之受力，此與堤體由消波塊組成的受力差異？另結論提出潛堤使用之混凝土強度，惟就實務面，可能更希望了解需要多重的消波塊來堆疊。	感謝委員意見。因為消波塊堆疊有隨機性，目前還無法排除隨機性帶來的影響，因此為了避免隨機性的問題，本研究進行模擬時才採取較保守的作法，將消波塊拿掉進行模擬。	同意合作單位之說明與數值模擬方式。
6. 圖 2.32 浪襲上公路(第四區)之後，較大壓力發生在路中間(無潛堤)之原因？是因為類似越波落下直衝路？另浪襲上公路時，有辦法計算水流之橫向(公路海側往山壁側)推力嗎？	圖 2.32 無潛堤條件有較大壓力在路中間的原因的確如委員所說是越波落下路面的結果。模式可計算水流橫向衝及對山壁的壓力。	同意合作單位之說明與處理情形。
7. 如單純考慮浪襲公路，即波浪潮升上公路而不考慮下邊坡路基的問題，建議應該在浪襲熱點設置明隧道來因應。	感謝委員建議。	同意合作單位之說明。
8. 如果未來決定還是朝潛堤方向做防護工法，建議需進行有意義(比例尺夠大)的平面 3 維水工模型試驗來進一步評估潛堤幾何量體與平面佈置規劃之功效。	感謝委員建議。	同意合作單位之說明。
(三)黃偉柏委員		

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
1. 本研究進行系列的數值模擬分析，成果豐碩，予以肯定。	謝謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
2. 台 11 線人定勝天段，外海北側有一隆起地形(圖 2.65)，此隆起地形造成波浪折射、入射能量的變化可否再深入補充描述，以利全面瞭解公路溢淹機制。	外海隆起的部份本研究用 XBeach 的波向線去考量。	同意合作單位之說明與考量方式。
3. 佈設潛堤工程模擬方案裡，公路受力以 kPa 表示，是否可以進行單位轉換，以類似 kgf/m^2 的的單位表示，以利公路單位施工考量。	謝謝委員建議。在最後總結將於期末報告統一使用 kgf/m^2。	同意合作單位之說明與處理方式。
4. 石梯測站 2002～2019 年潮位資料顯示，最高潮位為 1.66m 發生於 2015 年蘇迪勒颱風。大潮平均高潮位為 0.91m。這部分實測資料與模擬水位邊界值(2.5m)比較，模擬水位稍高，是否過於保守，請參酌。	潮位的選擇主要參考圖 2.21 氣象局石梯漁港 2020 年天文潮最大高程約 1.3m(臺灣高程基準)，搭配楊(2018) 2001 到 2017 年潮位觀測資料的最大暴潮偏差 1.3m，最後選擇 2.5m 作為潮位條件。	同意合作單位之說明與評估方法。
5. 報告 p.2-47 引用楊(2018)石梯漁港 50 年重現期暴潮位為 1.46m(含天文潮)，p.2-46 引用楊(2018)最大的暴潮偏差為 1.3m(不含天文潮)，兩者數據需再檢核核。	p.2-16 的暴潮偏差 1.3m 為 2001 年到 2017 年的觀測最大值。而 p.2-47 的 50 年重現期暴潮偏差 1.46m，兩者皆不含天文潮。	同意合作單位之說明。
6. 根據花蓮海岸防護計畫，50 年重現期設計波浪為 12.33m，設計水位為 1.55m。海岸防護計畫相容事項提出：「針對海岸防護計畫之 50 年重現期暴潮水位，納為海岸災害風險及因應措施之重要資訊，並自行於規劃設計時妥予評估考量」，本研究使用波浪條件，低於 50 年重現期設計波浪，請參酌。	謝謝委員建議。本研究根據陳等人(2017)的花蓮港波高 50 年重現期 10m 作為波高條件。	同意合作單位之說明與模擬條件選擇。

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
7. 建議公路總局提供台11線使用年限規範，以利計畫設定合適之模擬邊界條件。	謝謝委員建議。	同意合作單位之說明。
(四)詹晨耀委員		
1. p.2-1 至 p.2-4，圖 2.1 至圖 2.4 及圖 2.7 等之潛堤設計,部分圖示模糊或過小，不易辨識其內容。	謝謝委員意見。這是由於參考資料的設計圖圖檔本身解析不佳。	同意合作單位之說明。
2. p.2-11 至 p.2-13，圖 2.12 至圖 2.18 所選取 7 站之離岸方向地形剖面，圖示之方向宜調整與模擬模式之圖示方向相同。	圖 2.12 到 2.18 的目的在於能比較直觀的檢視地形剖面在圖 2.10 的切線位置。故未調整與模式同方向。	同意合作單位之說明與處理情形。
3. p.2-15 圖 2.21 石梯漁港 2020 年天文潮預報，潮位時序圖過小，數字不易辨視。	謝謝委員建議，將於期末報告將圖放大，以利辨識。	同意合作單位之說明與處理情形。
4. 2.6 節模擬結果採 COBRAS 模式模擬，所採用之入射波高為 10m，作為分析評估離岸潛堤設置深度建議，2.7.3 節離岸潛堤設置長度建議中，利用 XBeach 波浪模式中之 2 維模式模擬，入射波條件為示性波高 5m，請說明 2 者模式中所採不同波高模擬之原因？對於潛堤之設置(深度、長度)有無影響？。	COBRAS 垂直 2 維模式的模擬主要探討波浪沿切線方向前進對近岸結構物的壓力衝擊，在近岸有較佳的 0.5m 解析度，但未考慮繞射等水平 2 維作用。而 XBeach 水平 2 維模擬包含了繞射作用，其網格解析度為 5m (COBRAS 的 10 倍)，目的僅是當特定點僅設置單座潛堤進行防護時，不同潛堤長度或是離岸位置配置所造成的壓力差異提供定性的相對概念。兩個模式的維度不同，其應用目的亦不同，兩者結果不適合直接比較。	同意合作單位之說明與運用 2 種數值模式模擬波浪對道路近岸結構影響之方法。
5. 目前公路單位在人定勝天路段長浪影響之防災作為上，係採「湧浪波高」為設定條件，區分為預警值(6m)、警戒值(7m)與行動值(8m)等 3 項，並以中央氣象局之花蓮與成功兩處為	本研究根據陳等人(2017)的花蓮港波高 50 年重現期 10m 作為波高條件，的確是較極端的條件。計劃本身目的是利用較極端的海況條件探討波浪對道路附近區域的表面壓力衝擊。	同意合作單位之說明。

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
參考，本案評估中第二章 2.6 節模擬結果採COBRAS模式模擬，所採用之入射波高達10m，已逾公路單位執行道路封路之條件，本研究中模擬模式中波高條件設定有無過高？		
6. 本評估報告中以台 11 線人定勝天路段選取 7 站，來評估 3 種潮位(0m、1m、2.5m)下，以近道路區劃分為 4 區來進行最大壓力的分析探討，模擬在 3 種潮位下，評估潛堤設置深度，而站在道路主管機關之立場，其長浪溢淹距離只要影響到臨海側之車道時，便已危及行車安全，即須採取適當之交通管制作為，另第 4 區(即道路路面)承受推估因浪襲造成之地表最大壓力存在時，可能對路面結構與道路下邊坡造成損壞程度之影響，是以在潛堤深度之建議上，是否能以「道路溢淹距離(m)」之瀕臨值(0~0.5m)做為評估上之最優先條件，其後再以第 4 區與第 3 區之地表壓力降幅為考量之可行性？	根據模擬的結果，在極限波浪條件之下，道路溢淹的狀況都差不多，所以以壓力為主要考量。	同意合作單位之說明。
7. 本研究中以浪襲模擬方式探討對各分區地表最大壓力之影響，惟在長浪路段公路防災之作為上，對臨海車道下邊坡可能因潮浪拍擊而將岸際之石塊或廢棄物帶上公路，而對過往車輛產生側擊狀況之行車危險，此為重要的考量因素，可能較道路構造物承受浪襲帶來之地表壓力影響更來的迫切，須為掌握條件，能否就此部分	謝謝委員建議。波浪挾帶的砂石或廢棄物等之影響範圍目前直接以波浪影響範圍表示。	同意合作單位以波浪影響範圍表示。

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
提出預警潮位與浪高之建議？		
(五)羅偉誠委員		
1. 肯定計畫工作成果及項目。	謝謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
2. 研究範圍之敘述宜明確，本研究探討台 11 線人定勝天段浪襲問題，惟文中未有明確說明該路段在哪裡？宜有清楚之相關位置圖，始可令讀者更加清楚。	謝謝委員建議，目前僅於報告圖 2.9 的 GOOGLE EARTH 地圖陳列路段位置。由於該段鄰近石梯漁港，將於期末報告把石梯漁港加入位置圖，已利辨識。	同意修正位置圖於於期末報告。
3. 圖 2.19 與前面幾個地形剖面圖的左右方向定義相反，不易理解，建議圖表有一致之敘述。	謝謝委員建議。由於 COBRAS 模式限定由左邊界入射，故需將切線地形左右反轉。圖 2.19 的定義提供在模式中實際模擬的方向。	同意合作單位之說明與處理情形。
4. 一般波浪或流體力學模式大都使用示性週期(significant wave period)為條件，本研究使用尖峰週期(peak period)(p.2-24)，如何引入 COBRAS 模式，宜有說明。	尖峰週期可以代表波浪較大時的週期分佈，所以本研究使用尖峰週期。	同意數值模擬之參數選擇。
5. 報告內並無模式律定校正及驗證，是否已在第 1 年計畫完成，為維持報告完整性，仍建議補充。	謝謝委員建議。目前尚無模式與觀測值的實際驗證。蔡立宏等人(2016)以及陳逸儒(2017)皆利用水工模型試驗建立直立壁堤防模型來進行波浪越波對防坡堤的壓力分析與驗證，將於期末報告進行相關文獻的引用補充。	同意合作單位補充文獻引用、參考。
6. 本研究使用規則波進行模擬(p.2-14)，但颱風期間可能為極端混亂之不規則波，實際海象衝擊與理想模擬可能之差異，建議有所論述。	使用不規則波模擬會出現隨機性；為減低結果的不確定性，在極限情況下，我們用兩倍的示性波高(最大波高)進行模擬。	同意合作單位之說明與處理情形。
7. 本研究試圖以興建離岸堤來防治海岸二級防護計畫中對該研	使用不規則波模擬會出現隨機性；為減低結果的不確定性，在	同意合作單位之說明與處理情形。

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
究海岸之「暴潮溢淹」災害，惟離岸堤或可減少海浪對堤岸之衝擊，但是否能夠降低「暴潮」之影響，宜深慮並能有所論證。	極限情況下，我們用兩倍的示性波高(最大波高)進行模擬。	
8. 本研究使用之 COBRAS 或 XBeach 模式模擬離岸堤成效，是否已考慮離岸堤均為透水結構物之影響。	目前尚未考慮結構物的透水性，故結果僅作為初步的參考。	同意合作單位之說明與處理情形。
9. 宜有更多模擬或觀測來驗證浪襲公路系統之準確性。	謝謝委員建議。目前傾向利用公路局在人定勝天段的監視影像作驗證。	同意合作單位之說明與處理情形。
(六)本所港灣技術研究中心林雅雯科長		
1. 第二章分析 7 個斷面，文字與圖表的敘述是否相符，建議再檢核。	謝謝委員建議。會再重新檢核，並於期末報告修正。	同意合作單位之說明與處理情形。
2. p. 2-51 COBRAS 最終潛堤的設置海床深度建議如表 2.13，大約為 6、5、5、4、4、7、7m，但 p.2-64 潛堤配置 A、B 大約在 7 m 或 3 m 位置，與 COBRAS 分析結果建議略有不同。	COBRAS 為垂直 2 維模式並無考慮水平方向的波浪繞射效應，而 XBeach 為水平 2 維模式，考慮水平 2 維效應(例如波浪繞射)，但無考慮越波等垂直方向的波浪作用。p.2-64 潛堤配置 A、B 主要針對當特定點僅建立單座潛堤時，部分地點的潛堤如果離岸距離較近，對會提供較佳降壓能力(例如圖 2.94 的 61K+580 站 B 比 A 佳)，兩個模式探討的方向不同，故其建議結果有些差異。將於期末報告補充強調模擬目的。	同意合作單位之說明與補充於期末報告。
3. 潛堤配置 A、B 各潛堤長度未提及，是否為 50m，建議補充說明。	謝謝委員指正。各潛堤長度為 50m，將於期末報告補述。	同意補充於期末報告。
4. p. 3-13 彩雲颱風預警系統浪高未達警戒值，建議補充今年有	謝謝委員建議，將於期末補充相關颱風期間的預警系統情形。消	同意補充於期末報告與

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
影響到花蓮路段的颱風(如舒力基、烟花等)之預警系統情形，另消波塊影響是否可加入考量，避免浪襲預警系統結果太保守。	波塊擺放會出現隨機性；為減低結果的不確定性，在極限情況下，我們用兩倍的示性波高(最大波高)進行模擬。	模擬條件選擇。
5. 現行公路總局預警封路做法(湧浪浪高 6、7、8m)與本案預警系統分析結果之差異性，建議未來納入分析。	謝謝委員建議。	同意合作單位之說明。
6. 潛堤高度為水下 0.5m，由於本案地點為海岸公路，因潮汐變化影響，屆時會不會有潛堤露出影響景觀的問題？	潛堤高度主要參考花蓮花仁和南濱段的潛堤設計，如表 2.1 所示，除了旗津潛堤之外(堤頂加放消波塊)，潛堤設計大致皆為水下 0.5m，潛堤露出影響景觀的程度應該不大。	同意合作單位之說明與處理情形。
(七)本所港灣技術研究中心林達遠研究員		
1. 本研究期中報告架構尚稱完整，多項工作項目皆已完成，建議可已於報告內文中增列計畫預定進度表(甘特圖)，俾利確認執行進度。	謝謝委員建議。將於期末報告第一章增列甘特圖。	同意合作單位之說明與處理情形。
2. 報告內文有部分內容誤植，如 p.1-3 主要工作項目第 6 項「本」所，第 7 項「2020」年，p.2-14 第 8 行港灣「科技」研究中心及 p.2-19 圖 2.25 波浪條件波高=「12」m 等處，請一併修正。	謝謝委員指正。將於期末報告修正。	同意合作單位之說明與處理情形。
3. 建議補充說明 COBRAS 及 XBeach 兩種波浪模式所採用波浪入射條件為何不同及 Xbeach 潮位條件缺少 2.5m 之原因。	謝謝委員建議。由於 COBRAS 是垂直 2 維，而 XBeach 是水平 2 維模式。由於兩者模擬的維度不同，在本研究探討的目的亦不相同，故未使用相同的條件進行模擬。將於期末報告補充原因。	同意合作單位將 2 模式探討目的捕蟲於期末報告。
4. 報告內文 p.2-5 COBRAS 波浪模式介紹提到該模式可以算	消波塊擺放會出現隨機性，為減低結果的不確定性，在極限情況	同意合作單位模擬分析

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
波浪與孔隙介質的交互作用，請評估是否可將海岸公路邊坡及離岸潛堤設定為可透水性，以符合現場實際狀況。	下，我們選擇使用較為保守的方式，進行模擬時將消波塊的透水性因素拿掉。	方式。
(八)本所港灣技術研究中心陳鈞彥助理研究員		
(1) 表 2.12 若為表請以表格表示，避免以截圖表示。另圖 2.78、圖 2.79 之橫坐標數值不易閱讀，請調整並標示等深線數值。	感謝建議，將於期末報告調整橫軸經度的字體及標示等深線數值。	同意合作單位之說明與處理情形。
2. 目前資料同化採用 2021/4/1 至 20214/15，後續請用更長時間之觀測資料，使同化結果應用至浪襲預警之成果更具參考性。	感謝承辦人建議，將於期末報告追加最近數個月的觀測資料進行同化。	同意合作單位之說明與處理情形。

附錄七

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-110-H3CB001d「花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警系統建置」

合作研究單位：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)黃國書委員		
1. 潛堤寬跟堤頂高與水面距離(堤頂水深)均保持固定的情況應該列入結論 5.1 節中。	謝謝委員建議。將補充到第五章的結論 5.1 節(1)中。	同意合作單位之補充。
2. 承 1.，建議挑一組條件，增加堤頂寬到 20 m(原設定為 10 m)之觀察成效。	謝謝委員建議。本計畫結束之後，如果主辦單位要做更細部的探討，此建議應該是一個未來可能的研究方向。	同意合作單位之說明。
3. 承 2.，有關潛堤配置與佈設水深方面，建議未來應尋求工程顧問公司方面專業之協助(或協同研究)，訂出一個比較有考慮實務與經費預算方面的建議。	謝謝委員建議。	同意合作單位之說明。
4. 透過資料同化修正結果有好(RMSE 下降 6.6 %)也有差的(RMSE 上升 9 %)，除了因為區位不同(模式不同)之外，短期跟長期的影響為何？長期雖然資料更多，但也代表可能有更多未被考慮到的其他因素發生。	長、短期皆使用(3.10)式，由(3.10)式可知當花蓮、臺東和蘇澳的預報值皆低於觀測值。則花蓮站可經公式修正增加預報值，藉以降低與觀測值的誤差。然後當花蓮預報值低於觀測值，而臺東和蘇澳預報值高於觀測值，則會使花蓮預報值降低，擴大與觀測值之間的誤差。表示在短期情況下，滿足三站的預報同時高估或低估的情況比例較多，而在長期資料下較少。目前花蓮站僅使用蘇澳和臺東 2 站做同化修正，而歐	同意合作單位之說明及資料同化方式。

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
	晉惠等(2004)建議使用 7 站以上的結果較佳，可能目前使用的站數仍不足。	
5. 預警除了要考慮準確性(最重要)，時效性也要兼顧，本研究在加入同化修正過程後，對預警時效性有影響嗎？	目前採用港研中心 48 小時預報，同化修正的時間從觀測值的時間開始到預報結束的時間。至少在第二天預報修正後，相關單位仍有時間應對第二天的預報情形。	同意合作單位之說明與處理情形。
6. 在圖 2.30 至圖 2.37 等縱座標用「terrian」，圖 2.88 至圖 2.101 則用「地形高程」，圖 4.6 至圖 4.9 用「height」，建議統一。	謝謝委員建議。這些圖的 Y 軸標示將統一以「地形高程」標示。	同意合作單位圖表標示修正。
(二)陳文俊委員		
1. 本案利用 COBRAS 及 XBeach 模式模擬不同海象與潛堤組合之探討，提供海岸公路溢淹情形之了解，執行團隊之努力給予肯定。	謝謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
2. 本報告為期末報告，文中部分措辭請再檢視，如第 1-3 頁中有出現「預計」、「將」等屬於執行初期用語之情形，請修正。	謝謝委員指正。將修正相關措辭。	同意合作單位之用詞修正。
3. 請將第二章中所模擬之結果，針對溢淹之描述，如何導引至花蓮海岸公路路基易流失路段之致災成因，以期符合港灣技術研究中心實務應用之參考，目前文中都說明距道路多遠出現溢淹之敘述，較不易連結。	本研究以波浪影響範圍作為公路局總封路的參考依據，而花蓮海岸公路路基流失也是波浪破壞施加壓力於邊坡所造成。因此提出以離岸潛堤作為因應方案，並分析波浪作用力之減少程度，作為評估離岸潛堤效用的依據。由於溢淹距離與道路通行安全較相關，僅提供一個潛堤設計提供的參考。本文主要仍以壓力探討為主，未對溢淹距離有過多的討論。	同意合作單位以波浪壓力進行探討。

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
4. 第 2-1 頁有關離岸潛堤蒐集部分，屏東福安宮離岸潛堤似屬屏東縣政府執行工程，建議再查明。	謝謝委員指正。確實是由屏東縣政府執行，將修改內文描述。	同意合作單位之修正。
5. 2.6 節模擬所得結果中，部分道路區域有設置離岸潛堤後，部分分區之壓力值(或溢淹潛勢)反而比無設置潛堤時還要大，可能之原因為何？建議敘述原因。	設置離岸潛堤之後，確實有可能反而造成部分分區之波浪 plunge 碎波，造成壓力值反而增大。	同意合作單位之說明。
6. (1)2.7.3 節中潛堤長度及 2.7.4 節不同離岸潛堤位置中，建議將配置圖(如圖 2.66、圖 2.78、圖 2.79)與壓力分佈圖之 X、Y 座標能一致，較易判讀；(2)另此平面壓力場之模擬能否看出潛堤之繞射作用？(3)另壓力分佈圖可能受限網格精度皆為矩形形狀，以及潛堤設置水深為何？	謝謝委員建議。(1)配置圖目的在展示各站以及潛堤的經緯度位置。而壓力分佈圖座標軸以公尺標示可較容易辨識堤長長度和壓力區與目標站的相對距離，如圖 2.69 至 2.71。(2)模擬的潛堤繞射非常不明顯。(3)配置 A 的潛堤大致在水深 7m，如圖 2.78 的黃色等深線。配置 B 潛堤靠北邊四座水深約 7m，靠南邊三座水深約 3m，等深線如圖 2.79 的黃(7m)和紅(3m)線。	同意合作單位之說明。
7. 未來持續可行因應對策較符實務應用之模擬方式，目前所引用之波浪潮位條件有部分於現況較難形成，另潛堤之整體防災消能效益與堤長、開口寬度、離岸距離、潛堤寬度，需綜合評估方能得到較佳之設置條件。	感謝委員建議。	同意合作單位之說明，此意見可列入本所未來研究方向參考。
8. 未來研究可將模擬條件及離岸潛堤條件，給予無因次化之分析，應可有更佳之探討與應用效益。	感謝委員建議。	同意合作單位之說明，此意見可列入本所未來研究方向參考。
(三)蔡立宏委員		

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
1. 請問資料同化中，建立觀測資料關係式是以颱風期間或是選用觀測時間之半年期間全部納入？	觀測資料關係式以 4 月至 9 月的資料建立。	同意合作單位之說明。
2. 本研究以波浪壓力討論海岸保護，是否有波浪消減、溯上或越波量等討論方式評估因應對策成效？	除了溯上的波壓，另在第 2.6 節 COBRAS 模擬有討論溢淹距離來提供潛堤設計的考量。	同意合作單位之探討方式。
3. 本研究建議之因應對策為設置離岸潛堤，為提高應用性，也許多考慮經費因素會更適合。	謝謝委員建議。	同意合作單位之說明。
(四)林雅雯委員		
1. 第 2-9 頁為何取最大水深為 32 公尺，並往離岸方向延伸 6 個波浪週期的水平距離為入射波區？	邊界 32m 最大水深容許模式入射波高最大值為 12m，應足以滿足多數狀況。另外船測資料水深範圍約在 33m 內。由於波浪入射後須傳遞一段距離波形才會穩定，故延伸 6 個週期的水平距離來檢視入射波區的波浪是否如設定的波高和週期。	同意合作單位之模擬參數選擇。
2. 第 2-16 頁圖 2.21 座標模糊，第 2-17 頁圖 2.22 缺單位。	將盡量提高氣象局潮汐表圖形解析度(圖 2.21)，建議以電子檔放大檢視。圖 2.22 將於圖說標示單位。	同意合作單位之修正。
3. 第 2-64 頁潛堤長度 50 公尺或 80 公尺應是平面的影響不同，建議說明長度50公尺是否已滿足該地區需求，是否已保護該地區浪襲區域。	離岸潛堤長度改為 80 公尺之後，分析原本壓力較大之處的波浪壓力，發現波浪壓力並無顯著不同；故已滿足該地區需求。	同意合作單位之分析與說明。
4. 第 2-78 頁至 2-79 頁利用 XBeach 比較潛堤配置造成的壓力降幅，圖的縱座標尺度不同，較難比較，建議補充數字說明，另橫座標 X(m) 與	由於壓力最大值(N/m^2)在圖 2.93 為約 5600，而在圖 2.94 為約 1800，如縱座標統一標示 5600，則圖 2.94 三條色線的大小將變的較難比較。由於 XBeach 網格	同意合作單位之說明。

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
COBRAS 位置不同，道路區域建議補充說明。	解析度僅 5m，且無垂直方向的效應，壓力值僅適合作為相對性的評估，類似圖 2.93 的圖，以固定條件來比較不同潛堤條件造成的壓力差。網格解析度 5m 難以難辨識道路地形，較難像 COBRAS 的情境作分區討論，故僅標示各站位置，將於 2.7.3 節第一段補充說明。	
5. 第 3-10 頁長期的資料同化誤差放大，所以預警系統要採用同化或未同化資料？	目前同化或未同化兩種方式皆有計算，但以同化後資料呈現於預警系統。	同意合作單位之說明與資料呈現方式。
6. 第 3-12 頁花蓮、臺東及蘇澳觀測與模擬之示性波高相關性為何？	預報與觀測值的相關係數，在花蓮未同化之前為 0.817，同化後為 0.833。在臺東和蘇澳的觀測和預報相關系數各為 0.917、0.939。	同意合作單位之說明。
7. 第 2-18 頁圖 2.24 人定勝天段模擬條件組合並非預警系統模擬組合，而是本案因分析浪襲壓力而採週期固定 16 sec，建議補充說明。	謝謝委員建議。預警系統的模擬組合另列於第四章在圖 4.10，4.5.2 節海況條件與浪襲系統的使用(4-35 頁)最後一段有提及。	同意合作單位之說明與處理情形。
(五)林達遠委員		
1. 本案工作項目眾多，高達 10 項，且國立中山大學又協助建立台 11 線 44K 新社段浪襲情境資料庫，實屬難得，值得肯定。	謝謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
2. 有關資料同化部分，本案石門站無實測資料，故使用蘇澳、花蓮及臺東等 3 站資料，在資料同化測試階段，使用花蓮站進行測試，卻未使用花蓮站資料，建議補充說明。	使用花蓮站進行測試時，對花蓮站的預報值進行同化修正，並利用花蓮站的觀測值與預報修正值計算 RMSE 做誤差評估。	同意合作單位之說明與評估。

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
3. 有關浪襲預警系統整合中央氣象局 QPE plus 網頁之可行性評估，僅用 4.5.4 小節說明，建議可獨立用章或節說明。	謝謝委員建議。將把 4.5.4 節獨立為 4.6 節。	同意合作單位之修正。
(六)本所港灣技術研究中心陳鈞彥助理研究員		
1. 圖 2.80 之圖名，於上、中、下之說明有誤，請修正。	感謝指正。將予以修正。	同意合作單位之修正。
2. 第三章之資料同化，應用連續 15 日及近半年之觀測資料進行同化，兩者目的建議說明清楚。	感謝指正，將於第 3.3 節第一段補充說明應用長、短期資料的目的。	同意合作單位之補充。
3. 圖 4.5 之圖名，台 11 線 44K 應為「豐濱新社路段」，請檢視報告內文及相關圖片有關路段名稱之正確性(如圖 4.28)。	感謝指正，第四章部分圖說和內文有誤，將檢視並予以修正。	同意合作單位之修正。

附錄八

期末報告簡報

MOTC-IOT-110-H3CB001d

花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策

Wave Attack Early Warning and Disaster Prevention of Hualien Coastal Highway (2/2) - Wave Attack Early Warning and Corresponsive Strategy

計畫主持人：陳冠宇
參與人員：劉俊志、張育嘉、陳人玉

1

■計畫背景分析

臺灣處於經常受到颱風侵襲的地帶，研究指出臺灣的東岸在颱風期間受到有受到浪襲影響的潛在危險(Shih et al., 2018)。然而針對花蓮海岸公路易致災區段的颱風長浪溯上及長浪作用力影響則少有討論。結合前一年度的研究成果，花蓮海岸公路受颱風影響嚴重，因此本計畫預定針對颱風長浪對於花蓮海岸公路的影響進行深入探討。

參考內政部海岸管理法第88、4條規定，花蓮縣政府擬訂「整體海岸管理計畫」，於民國109年提出「花蓮縣二級海岸防護計畫之草案」，而管理範圍為花蓮縣新城鄉嘉里村至壽豐鄉水璉村。本研究預定探討花蓮海岸公路路基易流失致災路段成因和其因應措施，其中便參考花蓮縣二級海岸防護計畫擬定因應措施。

台9線公路浪襲系統利用臺東、蘭嶼和鵝鑾鼻測站的觀測值和預報值修正台9線南興段的示性波高預報。如同南興段一樣，本年度將對花蓮海岸公路浪襲預警系統使用的示性波高預報進一步作修正。

2

■研究目的

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，預警系統提供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。

颱風來臨產生異常大浪，海岸公路受此長浪衝擊，可能對海岸公路造成路基破壞及通行安全形成威脅，彙整近岸模擬海象資訊、觀測海象資訊及波浪溯上資料庫，建置浪襲預警系統，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。

3

工作項目進度檢核表

工作項目	是否完成	對應章節	備註
1.花蓮海岸公路易致災區段颱風長浪作用力分析	是	2.1到2.6	
2.評估花蓮海岸公路易致災區段受颱風波浪侵襲時之溯上及長浪作用力影響範圍。	是	2.1到2.6	
3.從近岸浮標站觀測資料，以最佳內插法進行資料同化，調整入射處之模擬條件。	是	第三章	
4.維運浪襲預警系統，並利用資料同化技術精進系統預警能力。	是	第三章	
5.探討花蓮海岸公路易路基流失致災路段成因及研擬因應對策，對策研擬需參考花蓮海岸二級防護計畫進行評估。	是	2.7	
6.協助運輸研究所評估浪襲系統整合中央氣象局QPEplus網頁之可行性。	是	4.5.4	
7.建立台11線44K里程處的浪襲情境資料庫，並於2020年建立的花蓮海岸公路浪襲預警系統增設台11線44K站。	是	第四章	
8.針對計畫重要成果，製作可供展示之海報或影片電子檔。	是		
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。	是		第25屆成大水利工程研討會
10.本年度計畫驗收時，須提供本軟體／系統平台等資訊軟體設備建置或增修開發費用。	是		
11.參考「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。	否		已完成投稿論文。其餘預計11月完成
12.論文與研究報告：年度之成果投稿論文1篇、報告1本。	是		
13.辦理學術活動：配合計畫執行辦理教育訓練1場。	否		預定11月22日辦理

4

■COBRAS模式介紹

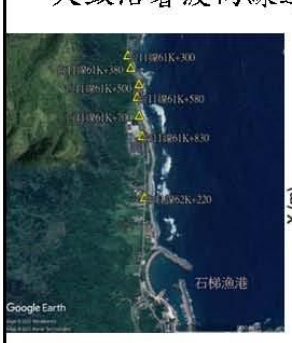
本文使用的COBRAS (COrnell BReaking wave And Structure)流體模式以美國Los Alamos 國家實驗室發展的二維不可壓縮流體的數值模式「RIPPLE」(Kothe 等人，1991)為基礎，經過Lin 和Liu加以修改後的版本，為一2維垂直方向(2DV)的水動力模式，可用來計算波浪與結構物的交互作用 (Lin and Liu，1998)，以及波浪與孔隙介質的交互作用(Liu 等人，1999)。此模式的程式碼以FORTRAN撰寫而成。

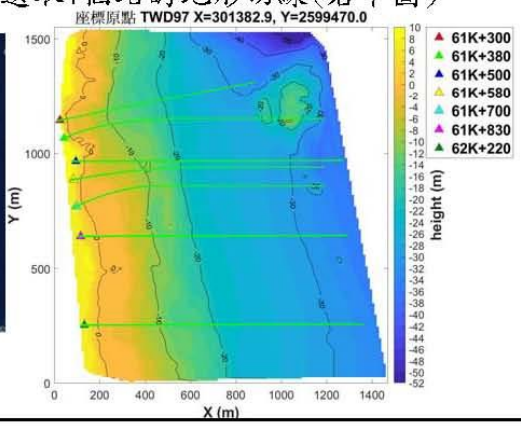
該模式主要求解Raynolds Averaged Navier Stokes (RANS)方程式，並結合非線性k-ε紊流模式來求得紊流動能k及紊流消散率ε。模式特徵包括以流體體積法(Volume of Fluid，VOF)來描述流體在自由表面的變化。另外可按研究的需求在不同區域設定可變的網格解析。根據模式的輸出結果可得知模擬過程中的壓力、渦度、紊流黏滯力、動能、紊流消散、流速、自由表面的構成、質量守恆或和水漫(overtopping)的體積。

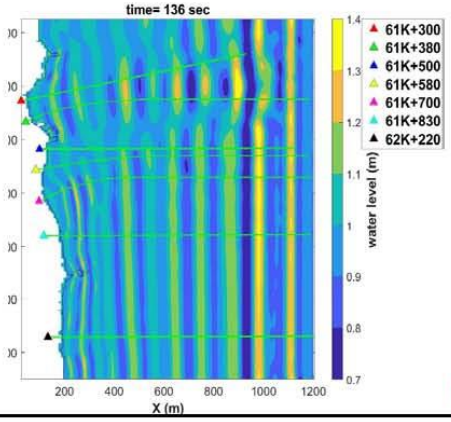
5

■模式數值地形

模式使用港灣技術研究中心提供的高解析度光達陸地地形和近岸的船測地形(左下圖)，平面座標採用2010臺灣地區TWD97大地基準，高程座標為TWVD2001臺灣地區高程基準。本計畫選取台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個站的離岸方向取切線作為模式地形，如中下圖和右下圖。在此利用Xbeach水平2維模式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(右下圖)







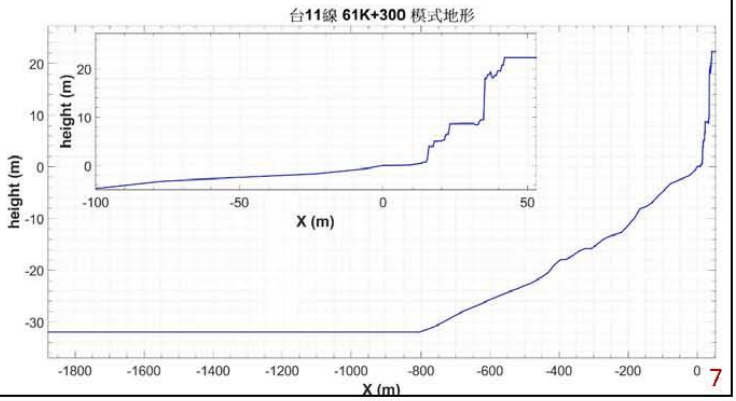
6

■模式網格及邊界條件設定

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，如右下圖的X=-1870到-800m範圍，其解析度為2m；右側區域近岸水平距離近岸300公尺往右的區域(右下圖X=-300到52m) ，解析度為0.5m；介於左、右兩區的中間區域(右下圖X=-800到-300m)，解析度由左至右從2m線性變化到0.5m。在垂直的Y方向解析度設定，上述三區皆為0.5m。至於時間解析方面使用調整式的時間步長。

模擬的初始條件為流速0且無擾動單一水位的水平面。模擬時間設定為波浪第一波抵達陸地後，再加上8個入射波周期。

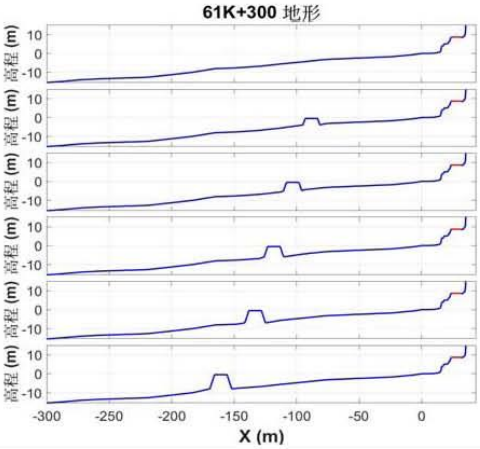
邊界條件的設定在上邊界(頂部)、下邊界(底部)以及右邊界為牆，而左邊界使用連續8個正弦波入射。



7

■模式離岸潛堤配置設定-以61K+300站為例

潛堤設置在4到8m共5種不同海床深度的位置進行模擬，潛堤配置如左下圖。圖由上至下各為無潛堤以及潛堤深度4m到8m。潛堤的尺度設定在參考表2-1後，在此選擇堤頂寬度為10m，堤頂高度固定在平均水位高程-0.5m，潛堤兩側的坡度為1:2。包含無潛堤的情境模擬，藉由3種潮位搭配6種海堤條件以及人定勝天段7個站，情境模擬共有126種。



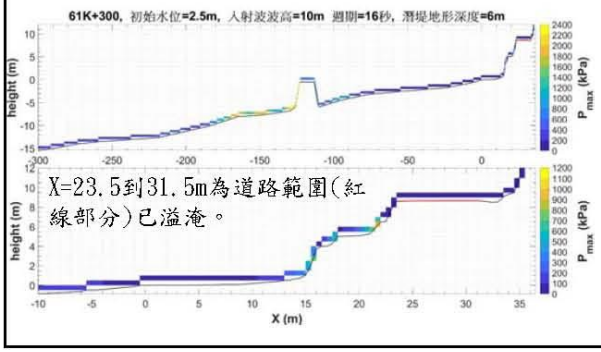
人定勝天段模擬條件組合

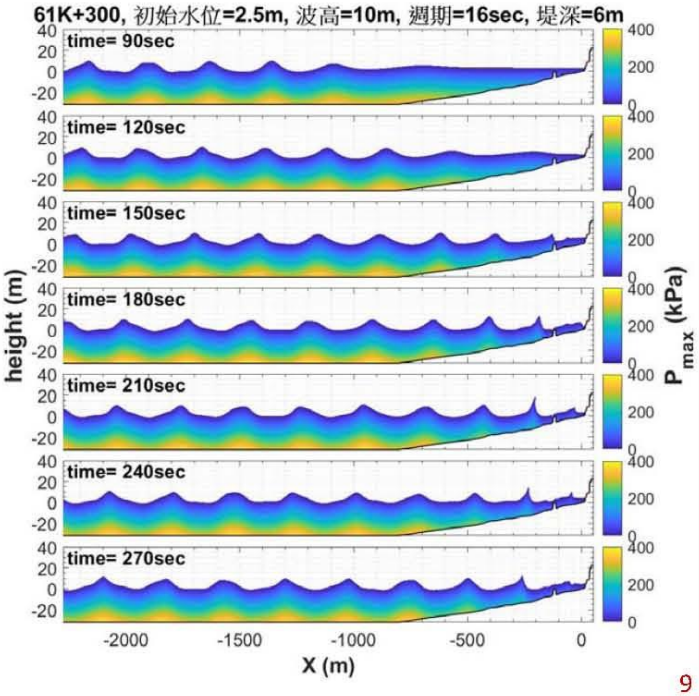
初始水位		離岸潛堤底床深度		站位
0 m	✖	無潛堤	✖	61K+300
1.0 m		4 m		61K+380
2.5 m		5 m		61K+500
		6 m		61K+580
		7 m		61K+700
		8 m		61K+830
				62K+220

8

■模擬流程-61K+300站情境為例

以61K+300站初始水位2.5m且潛堤底床深度為6m的情境為例，首先建立模式地形後開始模擬。模擬結束後可得到模擬期間的流速、壓力及水位等相關資料，右圖為模擬第90到第270秒的空間壓力分佈，而下圖為模擬期間包含潛堤在內的地形表面所承受的最大壓力，並可由最大壓力空間分布分析溢淹距離。

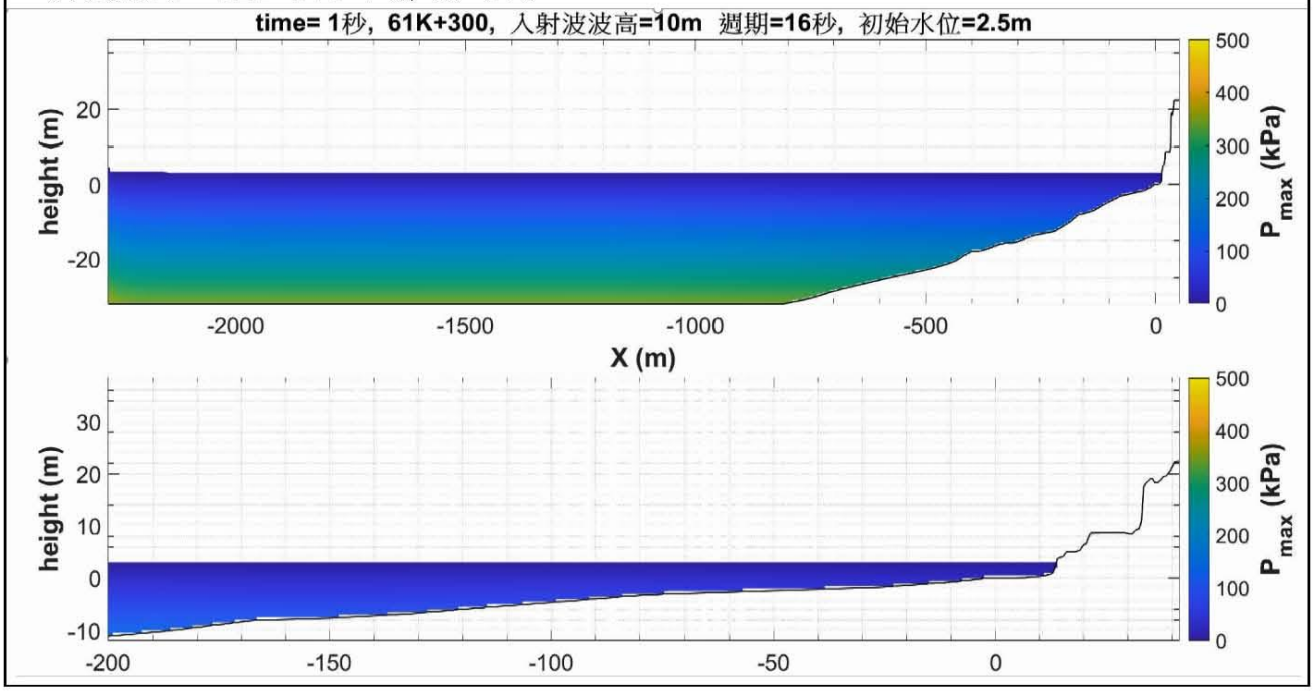




9

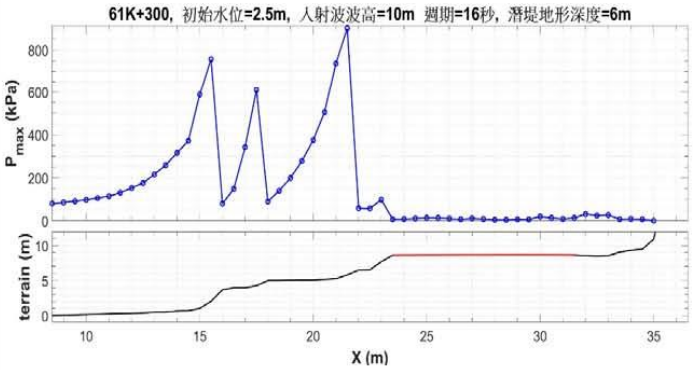
■模擬流程-61K+300站情境為例

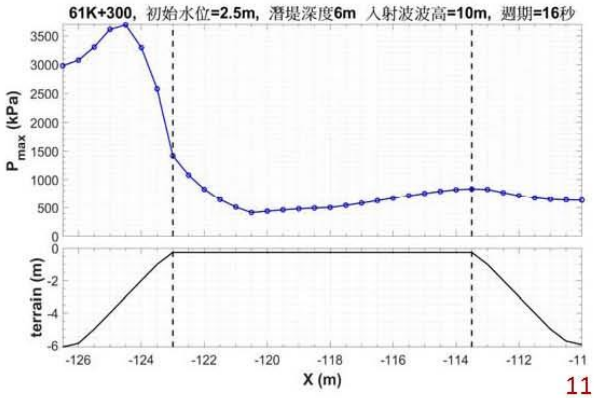
10



■模擬流程-61K+300站情境為例

左下圖為道路及鄰近道路15m範圍區域沿X方向的地表最大壓力，其中X=23.5到31.5m為道路範圍(紅線)，該情境的溢淹距離達35m(X=0為海陸交界)，Pmax最大值在X=21.5m處，約900kPa。而右下圖為離岸潛堤沿X方向表面受力的Pmax最大值約3700kPa，出現在潛堤前側區域(X=-124.5m)。本計畫透過126種情境的最大壓力空間分布的分析，來了解將離岸潛堤設置在何種海床深度有利於台11線人定勝天段的海岸防護措施。

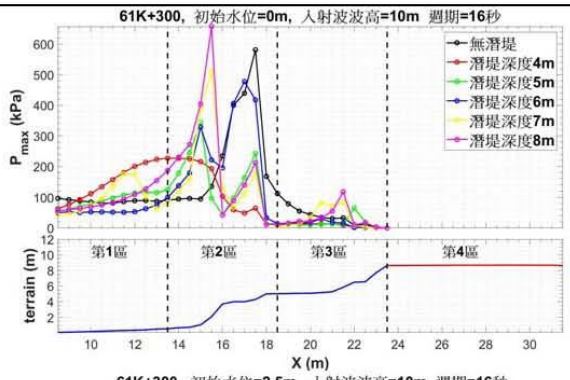


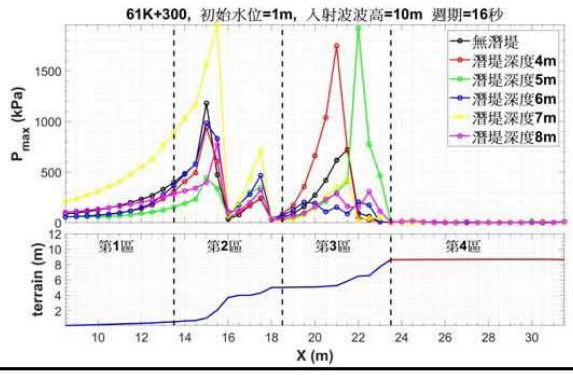


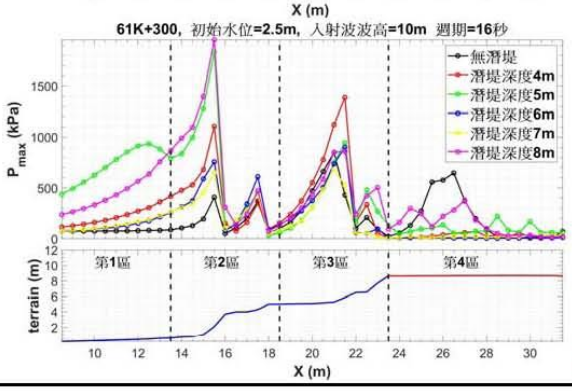
11

■模擬結果-以61K+300站為例

近道路區包含無潛堤等6種潛堤條件所承受的最大壓力在潮位0、1和2.5m情境各如右上、左下和右下圖所示。依離道路15m到10m、10m到5m、5m到0m劃分為第1、2和3區，而道路部分為第4區，如黑虛線分區。本文利用4區的Pmax取最大值作道路附近的壓力評估。



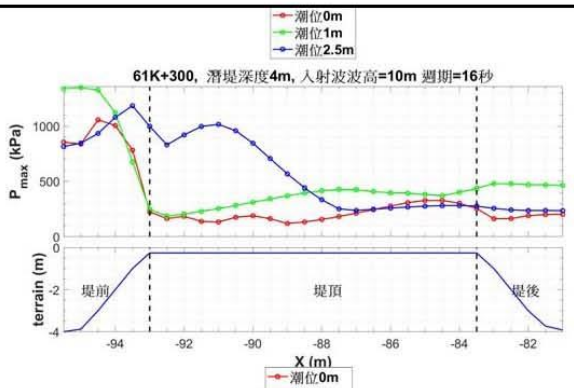


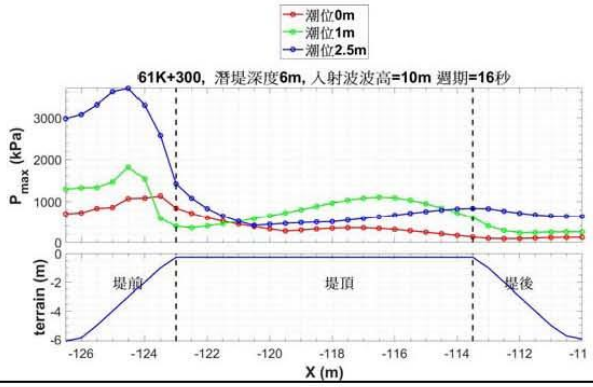


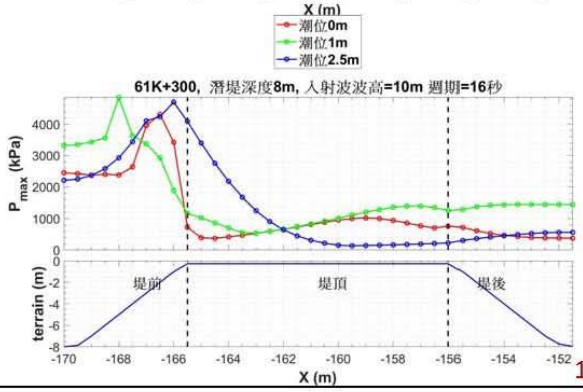
12

■模擬結果-以61K+300站為例

另外亦對5種不同潛堤設置深度條件在3種潮位情境下，將潛堤區分為堤前、堤頂以及堤後等3區(黑虛線)，後續取Pmax最大值進行討論。右上、左下和右下圖各為潛堤位於深度4、6和8m在3種潮位下的最大壓力。







13

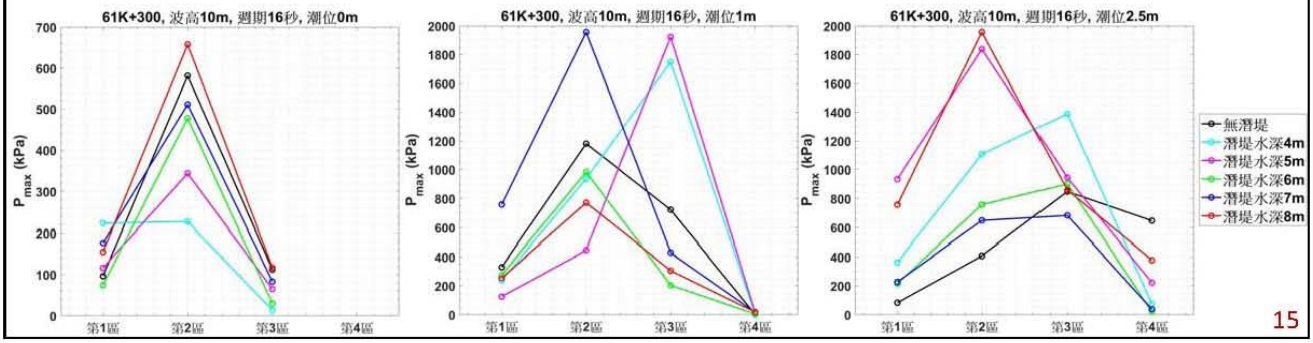
表2-3 61K+300站情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力 14

潮位(m)	潛堤深度(m)	陸地溢淹距離(m)	道路溢淹距離(m)	區域最大壓力 (kPa)						
				距離道路10到15m(第1區)	距離道路5到10m(第2區)	距離道路0到5m(第3區)	道路路面(第4區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		23	0	96	581	112	0			
	4	23.5	0	223	227	14	0	1058	330	256
	5	22.5	0	116	344	65	0	1145	651	171
	6	22.5	0	74	478	30	0	1131	714	136
	7	23	0	176	511	83	0	5687	1208	901
	8	23.5	0	154	658	117	0	4312	1020	757
1		31.5	8	330	1181	723	2			
	4	31.5	8	237	937	1749	1	1351	427	478
	5	31.5	8	126	445	1923	16	1666	981	1299
	6	31.5	8	276	984	205	5	1820	1104	604
	7	31.5	8	759	1957	428	17	1909	1916	1575
	8	31.5	8	254	772	306	19	4850	1397	1447
2.5		31.5	8	84	407	849	647			
	4	31.5	8	362	1107	1388	75	1186	1017	278
	5	31.5	8	935	1838	946	223	2789	1494	1317
	6	31.5	8	216	757	901	21	3693	1080	837
	7	31.5	8	228	649	683	39	1833	2082	1858
	8	31.5	8	758	1957	859	378	4701	3398	561

■模擬結果-以61K+300站為例

由表可知潮位0m時，6種潛堤條件的陸地溢淹距離皆相近，且皆不會出現道路溢淹。而潮位為1m和2.5m時，道路皆出現溢淹，表示該入射波條件在潮位1m以上時，可能發生的溢淹距離一致。在三種潮位條件下，當潛堤深度在4m時，相較於其他深度，其在堤前、堤頂和堤後區所受到最大壓力皆為最小。

近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況在潮位0m時，將潛堤設在深度4m時，在第2和第3區有較大的壓力降幅(左圖)。而潮位1m時，將潛堤設在深度6和8m時，在第1和3區皆有較大的最大壓力降幅(中圖)。當潮位為2.5m時，將潛堤設在深度6和7m時，在道路本身的第4區皆有較大的最大壓力降幅(右圖)。



15

■離岸潛堤混凝土等級建議

根據表2-3到2-9可知在人定勝天段七個站所有COBRAS模擬最大壓力值在近道路區和潛堤區皆未大於10000 kPa，亦即壓力未超過102 kgf/cm^2。為方便公路單位施工參考另外於附錄四提供表2-3到2-9以kgf/cm^{2}單位表示的結果。由行政院農委會發布的水泥混凝土之一般要求將混凝土強度分為六級，如下表。

要求提到 (1)140kgf/cm^2 級混凝土用於次要排水路、護岸、回填混凝土或基礎墊層混凝土。(2)175kgf/cm^2 級混凝土用於河海堤、排水路、護岸、灌溉渠道、鋼筋混凝土構造物，混凝土砌卵石溝或用於無筋混凝土構造物。依模擬的最大壓力強度而言，使用抗壓強度140kgf/cm^{2}等級的混凝土應足夠避免被波壓破壞潛堤的結構。

分級項目	水灰比	參考使用水泥量
(kgf/cm^2)		(kg/m^3)
fc'=140	0.708	215~235
fc'=175	0.620	250~275
fc'=210	0.532	300~325
fc'=245	0.440	375~400(水中375~400)
fc'=280	0.400	360~400(水中400~425)
fc'=350	0.384	440~470

註：1.參考使用水泥量得在10%範圍內調整之。
2.剛性路面系依抗彎強度R值分級。

16

■離岸潛堤設置的深度建議

根據2.6.1到2.6.7節的模擬，考慮三種潮位下，何種潛堤深度位置使陸地溢淹距離以及道路鄰近區的壓力值減少較多的情況，在此將三種潮位的潛堤設置深度建議值整理如表2-13。

表2-13 潛堤設置的海床深度建議值(m)

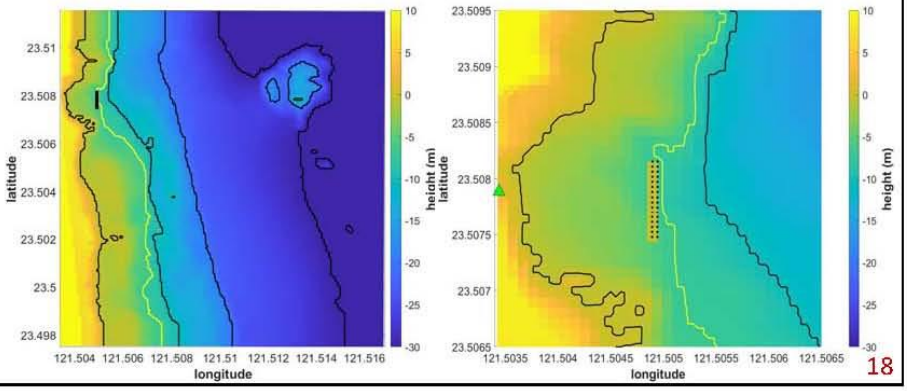
台11線里程	潮位0m	潮位1m	潮位2.5m
61K+300	4	6、8	6、7
61K+380	5和8	7和8	5
61K+500	5到7	6到7	5
61K+580	4到6	4到6	4
61K+700	4、5	4、6	4
61K+830	6到7	6到8	4、7
62K+220	4到8	5和6	7

17

■離岸潛堤設置的長度建議-XBeach模擬設定

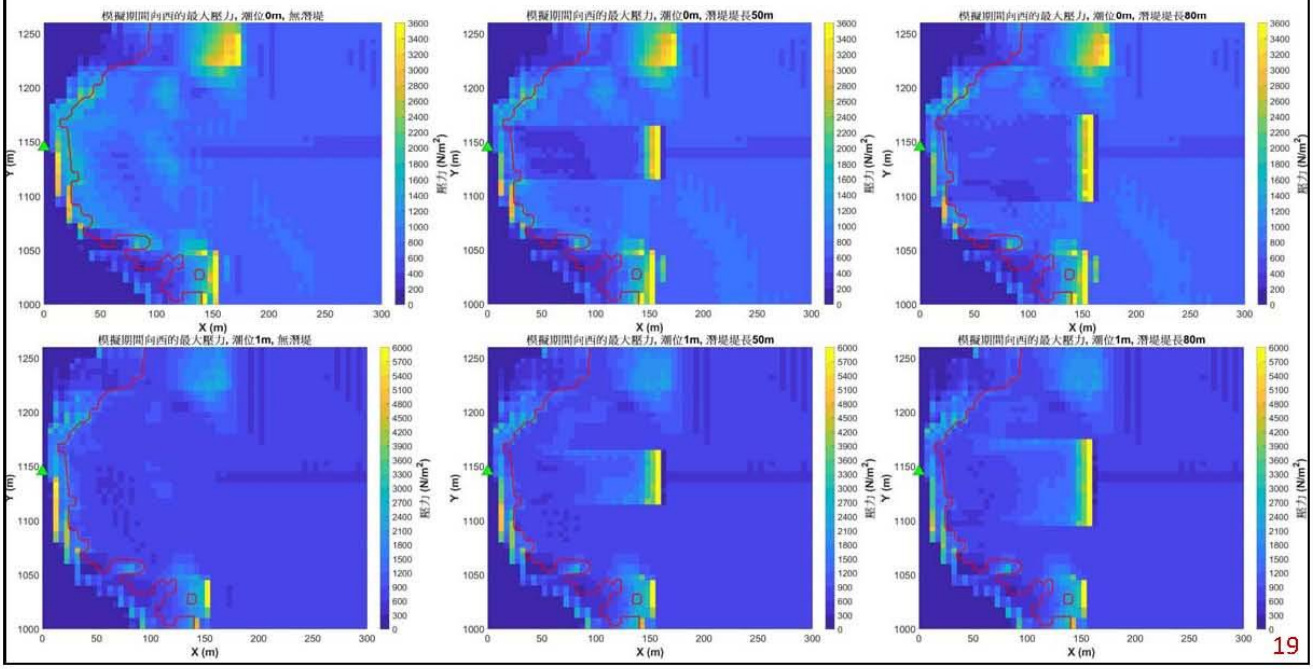
使用XBeach水平2維surf-beat模式進行模擬，透過向岸方向的壓力分析來探討潛堤長度對單點位置(61K+300)的壓力降低效果，潛堤堤寬為10m，堤頂高程為平均潮位-0.5m。模式使用的地形資料參照第2.3節，模式地形如左圖，水平解析度為5m，模擬時間20分鐘。東邊界入射波條件為示性波高5m，尖峰週期15秒。6個模擬情境如下表。80m長堤配置位置如右圖，綠三角為61K+300站。

情境編號	潮位(m)	潛堤長度(m)
1	0	無
2	0	50
3	0	80
4	1	無
5	1	50
6	1	80



18

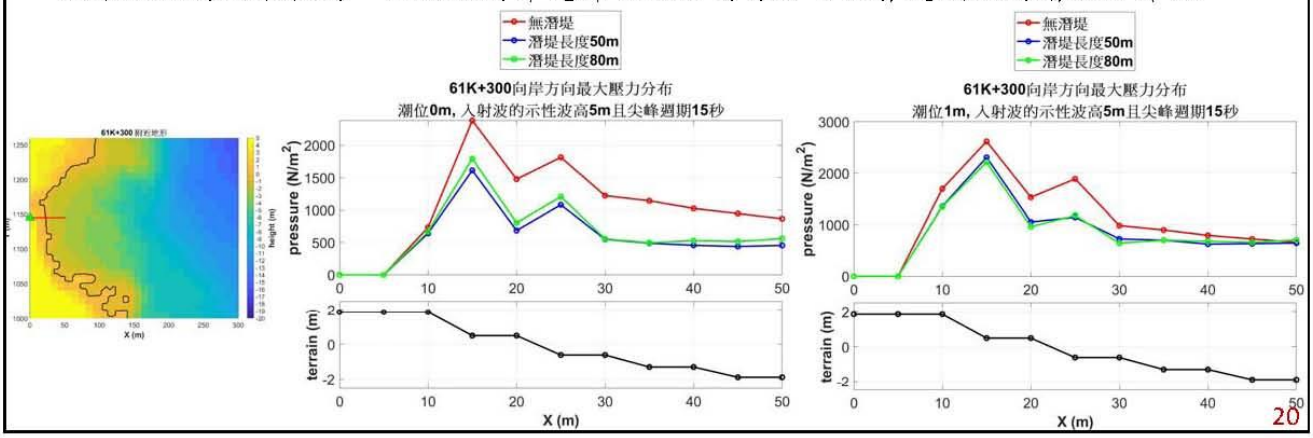
■ 6模擬情境向西最大壓力(上排為情境編號1到3、下排為編號4到6)



19

■離岸潛堤設置的長度建議

沿61K+300離岸方向取切線，切線起點為61K+300站如左下圖紅線。中下和右下圖各為在潮位0m和1m的切線最大壓力值。結果顯示在潮位0和1m時，潛堤長度50m和80m的最大壓力分布差異不大。潮位0m時，在陸地X=15到25m範圍內，有潛堤的情境比無潛堤約下降600到800N/m²。而潮位1m在陸地X=10到25m範圍內，有潛堤的情境比無潛堤約下降350到700N/m²。顯示僅針對單點進行海岸防護的話，潛堤長度50和80m的效果相近，但潛堤對岸邊降低壓力的作用可能會隨潮位的增加而降低。

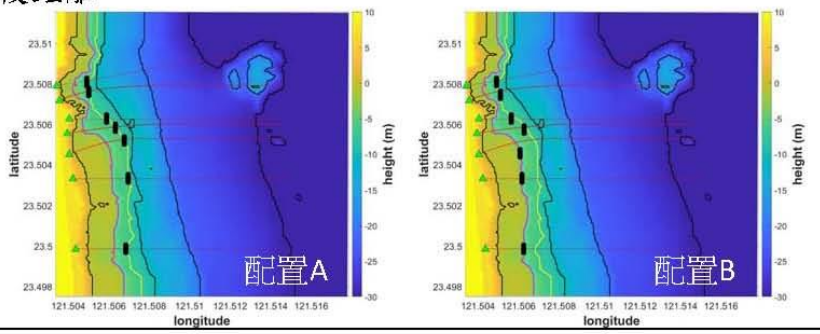


20

■不同離岸潛堤位置配置的模擬

人定勝天段外海設置離岸潛堤並利用XBeach的surf-beat模式進行模擬，潛堤堤長為50m，堤寬為10m，堤頂高程為平均潮位-0.5m。依潮位和潛堤配置共6種情境如左下表。模式地形如下圖，水平網格解析度5m，而模擬時間步長則隨時間變動，模擬時間為20分鐘。東邊界的入射波條件為示性波高5m，尖峰週期15秒。左和右圖黑色長條各為7個潛堤的A和B配置位置，黑線為間隔10m的等深線(黃、青和紫紅色線各為7、4和3m等深線)。綠三角由北至南各為61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220的位置。潛堤配置A和B的差別在配置B將61K+380和61K+580的外海潛堤位置稍為南移，並將61K+500、61K+700、61K+830、62K+220各站的外海潛堤則往岸邊移動一段距離。

情境編號	潮位	潛堤配置
1	0 m	無潛堤
2	0 m	A
3	0 m	B
4	1 m	無潛堤
5	1 m	A
6	1 m	B

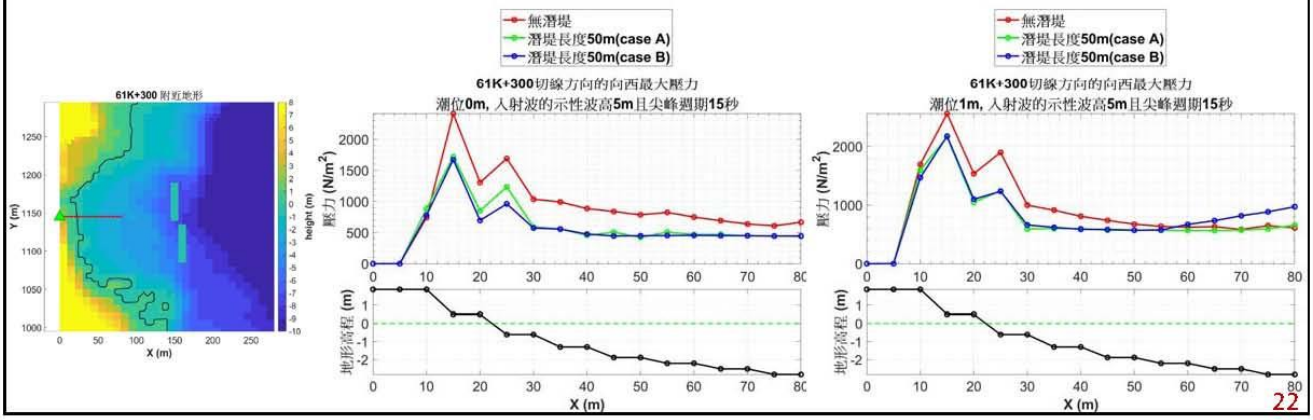


21

■不同離岸潛堤位置配置的模擬-61K+300

左圖為61K+300附近地形，綠三角61K+300位置，而紅線為地形切線。中、右圖各為61K+300站在潮位0和1m下，沿切線方向的向西最大壓力。

結果顯示不管在潮位0m和1m時，潛堤配置A和B的壓力差異不大，相對於無潛堤的情況，在X=15到80m均可提供減壓的作用。X=10和15m的海岸處在潮位0m時，約下降400到800N/m²，而在潮位1m時，僅約下降200N/m²，顯示潛堤設置對於61K+300站岸邊降低壓力的效果可能會隨潮位的增加而降低。

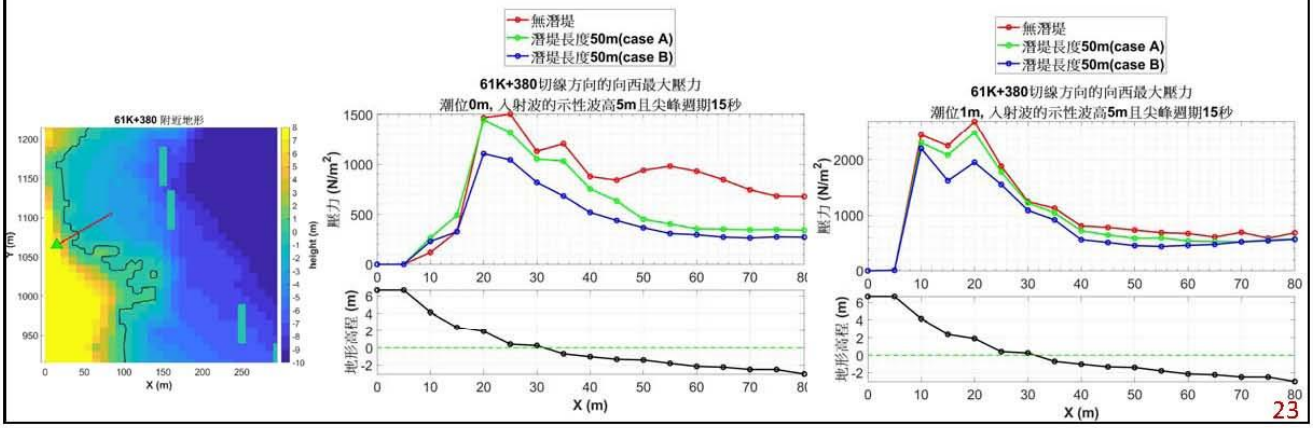


22

■不同離岸潛堤位置配置的模擬-61K+380

中、右圖各為61K+380站在潮位0和1m沿切線方向(右圖紅線)的向西最大壓力。結果顯示在潮位0m時，在X>=20m的區域相對於無潛堤的情況，潛堤配置A和B皆能使最大壓力下降，而配置B比配置A的壓力小。但在X=10和15m處，無潛堤的壓力則是稍小於配置A和B。

當潮位1m時，在X>=10m的區域皆顯示配置B的壓力值最小，配置A次之，而無潛堤則有最大值。



23

■不同離岸潛堤位置配置的模擬-小結

綜合以上人定勝天7站對應6種模擬條件的結果，除了61K+830站之外，相對於無潛堤和潛堤配置A，大致以潛堤配置B對於各站海岸的最大壓力值有較大的降幅，較適合作為人定勝天段海岸防護的配置選擇。

61K+300、61K+380、61K+500和61K+580等4站，相對於無潛堤的情況，使用潛堤配置A和B在潮位1m時的最大壓力降幅皆比潮位0m小，表示此4站設置潛堤的減壓能力可能隨潮位增加而降低。

24

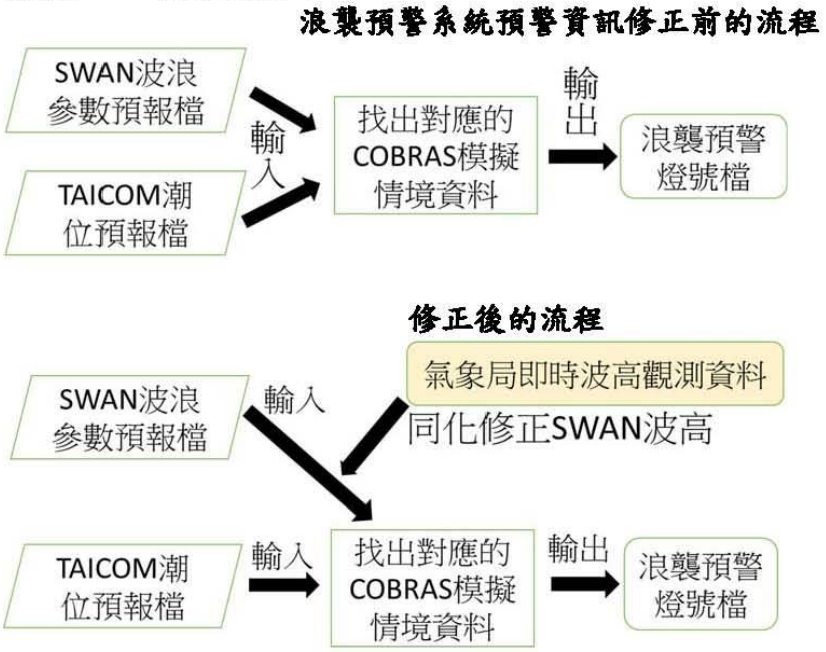
■花蓮海岸公路浪襲預警系統的精進

對於交通部運輸研究所民國109年的「花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)」計畫所建立的花蓮海岸公路浪襲預警系統為台11線人定勝天路段的道路里程61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830和62K+220等7站提供了道路浪襲的燈號預警，位置如圖2.9。利用2021年4月到9月的觀測資料搭配資料同化方法對示性波高進行同化修正來得到初步的評估，藉以提高目前浪襲預警系統的示性波高預報輸入值的準確度。

資料同化方式是參考歐等人(2004)使用的最佳內插法。該方法是基於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。

25

■資料同化與預報修正－預報流程



26

■資料同化與預報修正－預報流程

位於人定勝天段外海的石門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模式在石門、臺東、花蓮和蘇澳四個近岸站的示性波高預報值。

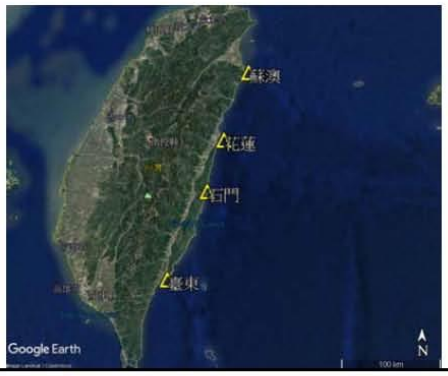
2.抓取中央氣象局網頁提供的臺東、花蓮和蘇澳三站浮標的即時示性波高，搭配三站的預報值可對該小時的石門站預報值做同化。

3. 石門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. 石門站對該小時起的6小時預報值皆乘上修正係數作為預報修正值，可依欲修正的預報時數而調整。

表3-1 SWAN預報點和氣象局觀測站的經緯度

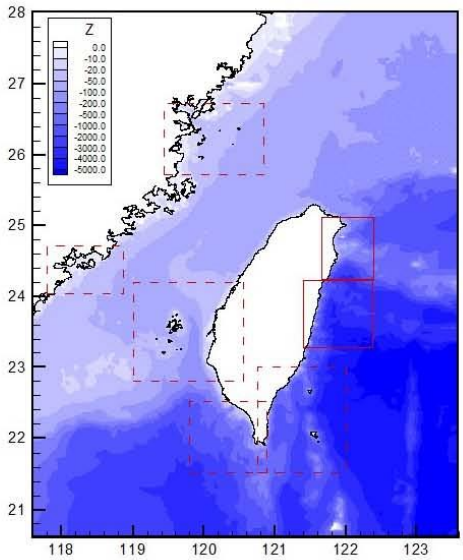
站名	SWAN		CWB	
	經度	緯度	經度	緯度
蘇澳	121.872	24.624	121.876	24.626
花蓮	121.632	24.032	121.633	24.031
臺東	121.144	22.720	121.145	22.72
石門	120.901	22.317		



27

■資料同化與預報修正－預報流程

計畫所使用SWAN模式預報資料為港灣技術研究中心建立的小尺度臺灣東南、花蓮以及蘇澳海域風浪模式，如右圖在台灣東岸的3個區域，模式的網格解析為0.008度。該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。



小尺度臺灣海域風浪模式範圍(劉等人，2020)

28

■資料同化與預報修正－花蓮站資料同化測試

由於石門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氣象局花蓮浮標站來檢視歐等人(2004)的方法是否適用。本研究使用從2021年的4月1日到2021年4月15日共15天期間，包括氣象局的臺東、花蓮和蘇澳等三個浮標測站的示性波高以及同時期SWAN模式在同樣三個位置的逐時示性波高進行評估。

先利用臺東和蘇澳兩站當時的觀測值與預報值差值對花蓮站的預報值做即時同化，再對花蓮站後續6小時的預報值做預報修正。最後計算花蓮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，藉以評估修正方式是否能提高示性波高預報的準確度。

29

■花蓮站資料同化- 同化公式

由(3.7)式所得的同化公式：

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{P_{11}}+1 & \boldsymbol{P_{12}} \\ \boldsymbol{P_{21}} & \boldsymbol{P_{22}}+1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{W_{11}} \\ \boldsymbol{W_{21}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{P_{11}} \\ \boldsymbol{P_{21}} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

假設實測值與起始猜測值有相同的均方誤差，即$\boldsymbol{R_1}$、$\boldsymbol{R_2}$的值皆為1。而$\boldsymbol{P_{11}}$和$\boldsymbol{P_{21}}$各為臺東站和蘇澳站的空間函數。由於(3.6)式的校正長度$\boldsymbol{L_{max}}$為自訂值，在此測試當$\boldsymbol{L_{max}}$在20到400 km區間且花蓮站每小時皆做示性波高的同化情況去計算同化與觀測值的RMSE，結果如圖3.7。

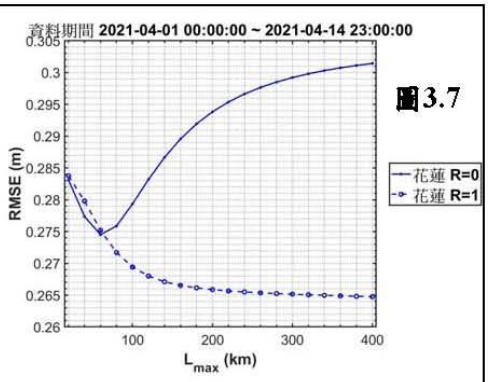


圖3.7

在此選擇300km作為$\boldsymbol{L_{max}}$值，則臺東站和蘇澳站的權重$\boldsymbol{W_{11}}$和$\boldsymbol{W_{21}}$可由第(3.9)式計算而得，其值各為0.2179和0.3443。由示性波高在花蓮站的同化計算如下式：

$$H^{A}_{花蓮} = H^{P}_{花蓮} + 0.2179\left(H^{O}_{臺東} - H^{p}_{臺東}\right) + 0.3443\left(H^{O}_{蘇澳} - H^{p}_{蘇澳}\right) \quad (3.10)$$

$H^{A}_{花蓮}$：花蓮示性波高同化值, $H^{P}_{花蓮}$：花蓮示性波高預報值

$H^{O}_{臺東}$：臺東示性波高觀測值, $H^{p}_{臺東}$：臺東示性波高預報值

$H^{O}_{蘇澳}$：蘇澳示性波高觀測值, $H^{p}_{蘇澳}$：蘇澳示性波高預報值

30

■花蓮站資料同化- 短期測試

對2021年4月1日到4月15日短期的示性波高作同樣的處理所得結果如圖3.9所示，原本的預報值與觀測值RMSE為0.294。而每6小時同化修正的RMSE為0.275，約比修正前下降了6.6%。以15天資料同化修正來看，可讓原本的模式預報誤差有小幅度的改善。

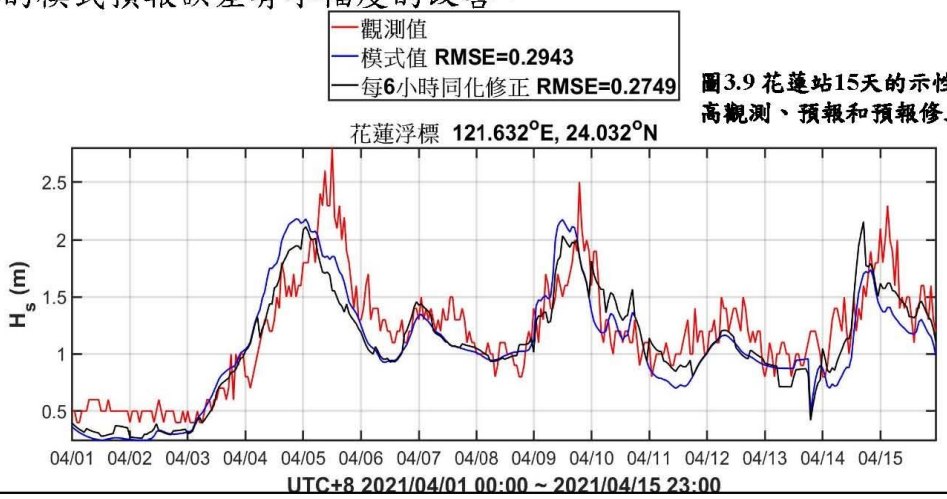
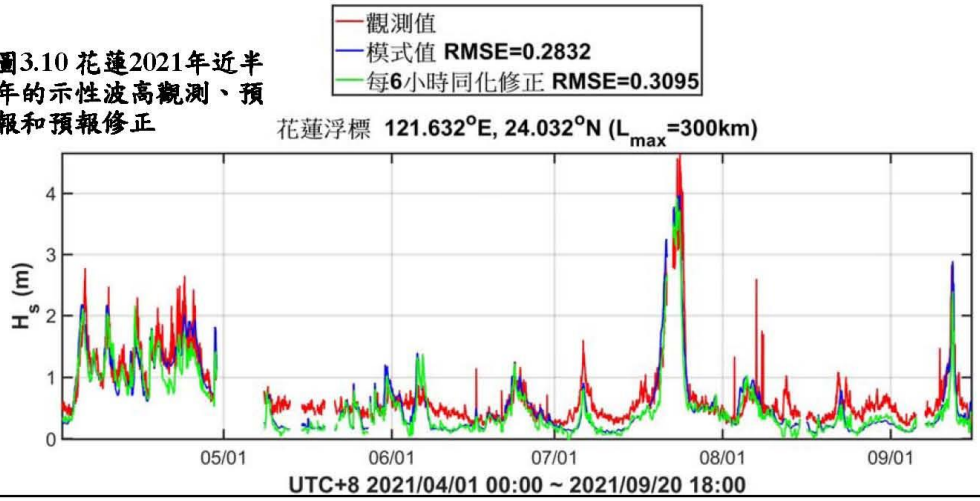


圖3.9 花蓮站15天的示性波高觀測、預報和預報修正

■花蓮站資料同化- 長期測試

(3.10)式對2021年4月1日到9月20日的長期資料進行同化修正，其結果如圖3.10所示。原本的預報值與觀測值RMSE為0.283。而每6小時同化修正的RMSE為0.310，約比修正前上升了9%。雖然對於4月短期15天有改善(圖3.9)，但對長期的資料同化結果卻使誤差放大。

圖3.10 花蓮2021年近半年的示性波高觀測、預報和預報修正



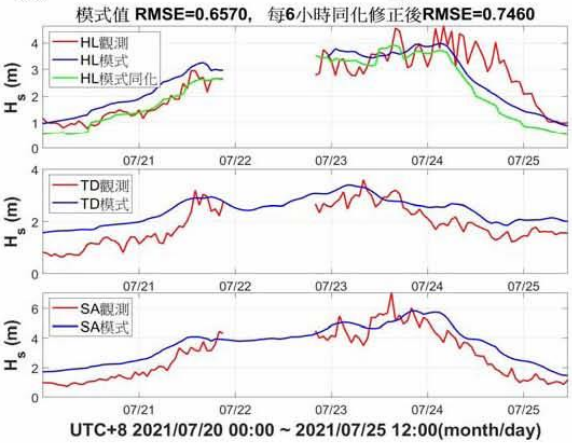
■花蓮站同化測試-煙花颱風

33

取煙花颱風五天期間的資料做修正，示性波高預報修正。圖3.13上圖為花蓮站的觀測值(紅線)、模式值(藍線)與每6小時的模式同化修正(綠線)，中、下圖各為臺東和蘇澳的觀測與模式值。花蓮站模式與觀測的RMSE為0.657，經同化修正後為0.7460，表示此期間的同化修正並無法讓模式預報獲得改善。

由(3.10)式可知當臺東或蘇澳站的模式值大於觀測值時，將會下修花蓮站的模式值，如圖3.13的21到22日期間，此時的花蓮站模式值亦為高估，故下修模式值能使修正值更貼近觀測值。但在24日期間臺東和蘇澳站模式值仍大於觀測值，但花蓮站的模式值則低於觀測值，此時下修花蓮站的模式值反而加大與觀測值之間的誤差。

圖3.13 花蓮浮標 121.632°E, 24.032°N (L_{max}=300km)



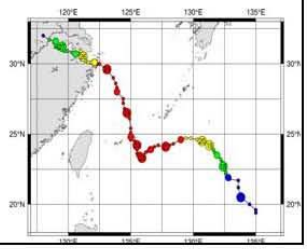


圖3.11 UTC+0 2021年7月16日6時到27日18時煙花颱風路徑

■花蓮站同化測試-燦樹颱風

34

燦樹颱風取2021年9月11日到12日2天期間的資料做修正，示性波高預報修正的結果如圖3.14。上、中和下圖各為花蓮、臺東和蘇澳三站的觀測值(紅線)、模式值(藍線)。花蓮站模式與觀測的RMSE為0.544，經過同化修正後(綠線)為0.574，表示此期間的同化結果亦無法改善模式的預報誤差。

由圖3.14的11日期間可知花蓮站的模式值與觀測結果接近，因該時段臺東和蘇澳的模式值大於觀測值，故根據(3.10)式下修花蓮站的模式值，導致原本預報接近的值偏離了觀測值。而在12日9時到18時期間對花蓮站模式值的下修，則降低與觀測值之間的誤差。

圖3.14 花蓮浮標 121.632°E, 24.032°N (L_{max}=300km)

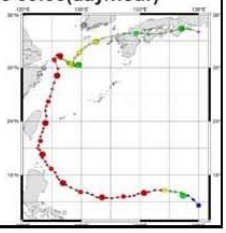


圖3.12 UTC+0 2021年9月6日12時到18日6時燦樹颱風路徑

■石門站的資料同化與預報修正

利用(3.7)式計算的石門站同化公式結果如下：

$$H^{A}_{石門} = H^{P}_{石門} + 0.198\left(H^{O}_{花蓮} - H^{P}_{花蓮}\right) + 0.259\left(H^{O}_{臺東} - H^{P}_{臺東}\right) + 0.13\left(H^{O}_{蘇澳} - H^{P}_{蘇澳}\right) \quad (3.13)$$

$H^{A}_{石門}$：石門示性波高同化值, $H^{P}_{石門}$：石門示性波高預報值

$H^{O}_{花蓮}$：花蓮示性波高觀測值, $H^{P}_{花蓮}$：花蓮示性波高預報值

$H^{O}_{臺東}$：臺東示性波高觀測值, $H^{P}_{臺東}$：臺東示性波高預報值

$H^{O}_{蘇澳}$：蘇澳示性波高觀測值, $H^{P}_{蘇澳}$：蘇澳示性波高預報值

校正長度L_{max}選擇300km和前述的花蓮站相同。利用花蓮、臺東和蘇澳等3個站示性波高觀測值修正石門站

35

■石門站的資料同化與預報修正

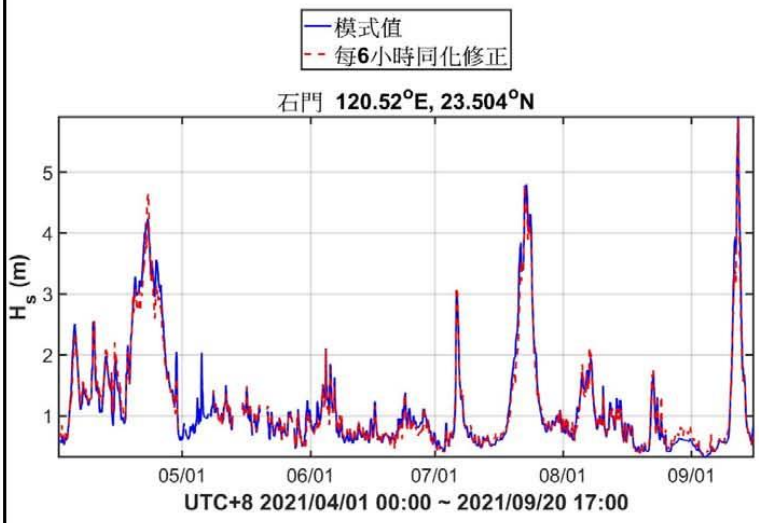


圖3.16石門站2021年4月1日到9月20日示性波高的預報及預報修正

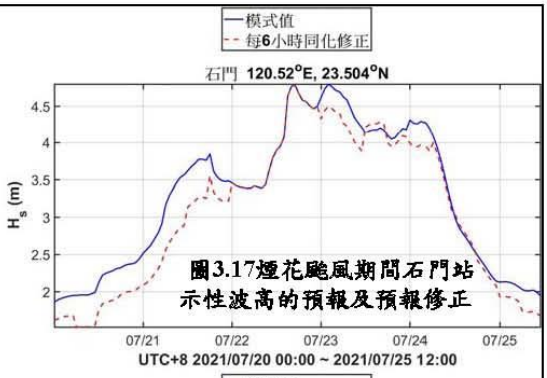


圖3.17煙花颱風期間石門站示性波高的預報及預報修正

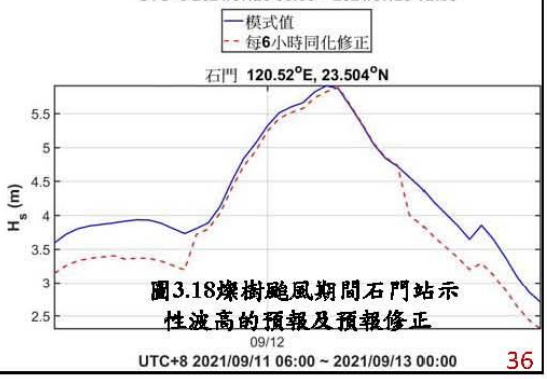


圖3.18燦樹颱風期間石門站示性波高的預報及預報修正

36

■資料同化與預報修正－小結

雖然石門站目前尚無觀測站可像花蓮站一樣能以觀測值和預報值直接評估模式的示性波高準確度以及同化修正的效果。從3.3節花蓮站其利用其他兩站的觀測值和預報值進行同化修正後與觀測值計算RMSE的結果，顯示此同化方式雖在4月短期15天內能對預報值提供小幅的修正，但對於4月到9月較長期間的預報修正結果卻未能降低整體的誤差，表示此同化方式可能不適用於花蓮站或是石門站。

歐等人(2004)提到對他們的風浪模式做資料同化時，觀測站的數量增加能讓降低模式與觀測值的相對誤差，直到超過七站時，相對誤差達到穩定。由於石門站的預報值目前僅有附近的三個浮標觀測站可做同化，因而無法有效降低與觀測值之間的誤差，在未來如有新的觀測站加入同化計算，將有助於改善同化的結果。

37

■新社段波浪溯上與溢淹數值模式建立－目的

由於公路總局第四區養護工程處指出花蓮海岸公路台11線新社段44K附近的高程較低處，在颱風期間似有浪襲情況出現。其附近的道路與海岸水平距離介於30到50m之間，且道路高程約為11.5m。

上年度計畫利用Xbeach模式所模擬的浪襲情境顯示當入射波的示性波高5m、週期15秒且在潮位在2 m 以上時，此路段附近的波浪溢淹範圍已鄰近道路邊緣，出現浪襲的可能性偏高。

本文利用COBRAS垂直2維波浪模式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台11線44K里程處附近受颱風波浪及異常波浪影響的區段範圍，藉此發展溯上分析及預警系統。

台11線44K附近實景(公路總局第四區養護工程處提供)

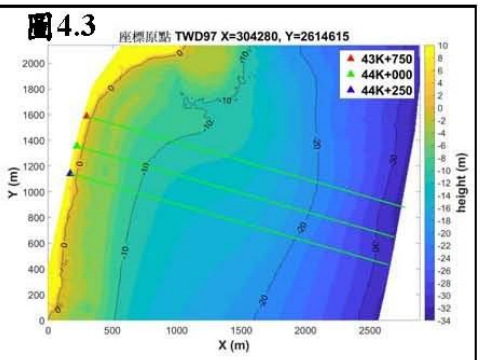
38

■新社段COBRAS模式地形

模式地形為港研中心提供的高解析度光達陸地地形以及近岸的船測地形。台11線44K附近地形如圖4.3。

選取台11線花蓮縣新社村南邊43K+750、44K+000、44K+250等3個里程站的斷面作為COBRAS浪襲模擬地點，並從3個點位的離岸方向取切線作為模式地形，如圖4.3的三角點和綠線。利用XBeach模擬波浪從東邊界正向入射後的第270秒水位空間分佈，大致沿著波向線選取3個站的地形切線，如圖4.5。

圖4.3



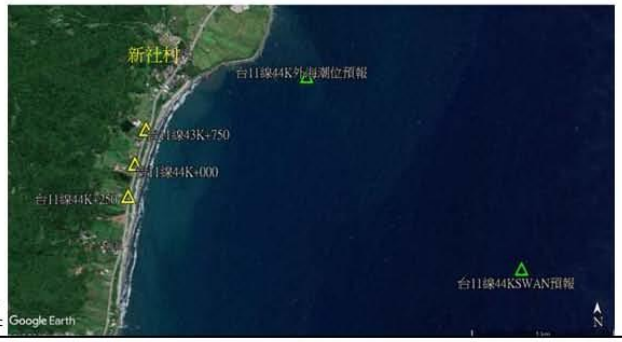
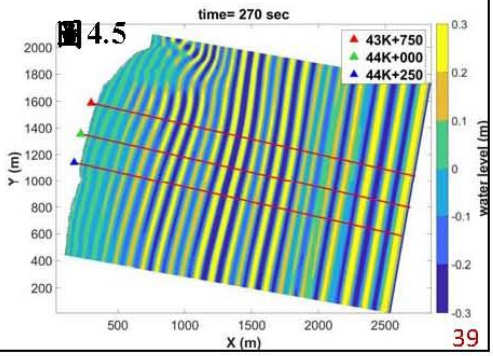


圖4.4

圖4.5



39

■新社段COBRAS模式設定-網格解析

X方向網格解析共分成三個區域，左區為均一水深32m的波浪入射區，解析度2m，如圖4.9的X=-3370到-2444 m；右區為離岸300m往陸地部分，解析度為0.5m，如圖4.9的X=-300到60m區間；介於水深32m到離岸300m的中間區域，其解析度左到右由2m線性變化到0.5m，如圖4.9的X=-2444到-300m區間。在垂直的Y方向解析度皆為0.5m。X=0m為海陸交界。時間解析方面使用調整式的時間步長。

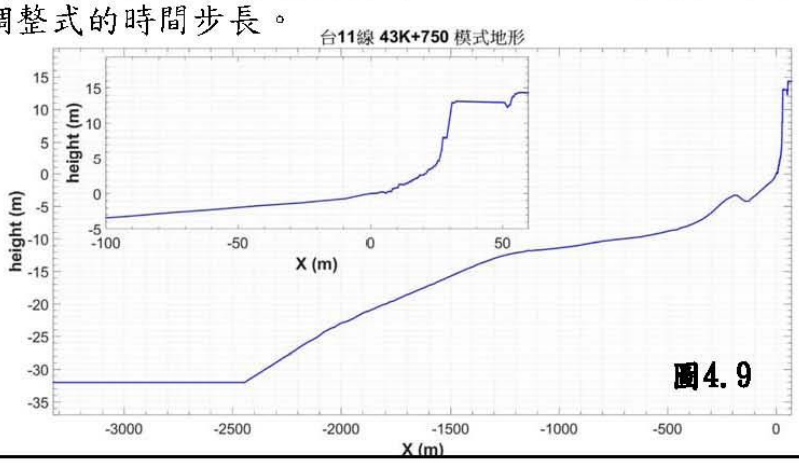


圖4.9

40

■新社段COBRAS模式設定-邊界條件

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8個正弦波入射。參考上年度台11線人定勝天段的情境模擬條件組合，選擇8種入射波高、7種入射週期，再搭配8種初始水位條件的組合如圖4.10。

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8個入射波周期。

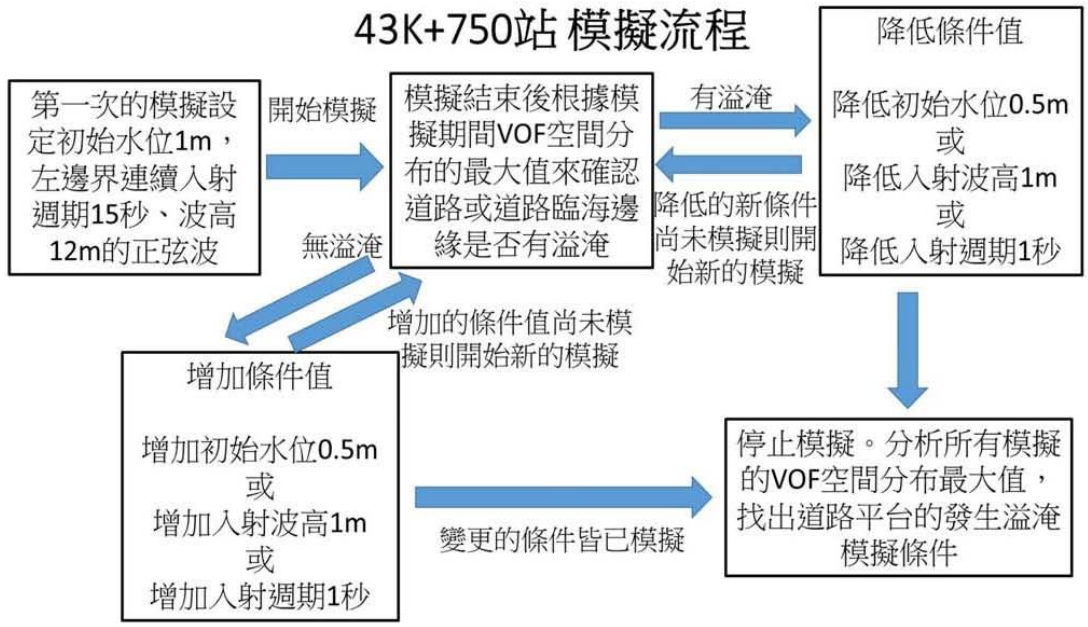
COBRAS模擬條件組合

初始水位		入射波高		入射周期		位置
-0.5 m	✖	5 m	✖	10秒	✖	43K+750
0 m		6 m		11秒		44K+000
0.5 m		7 m		12秒		44K+250
1.0 m		8 m		13秒		
1.5 m		9 m		14秒		
2.0 m		10 m		15秒		
2.5 m		11 m		16秒		
3.0 m		12 m				

圖4.10

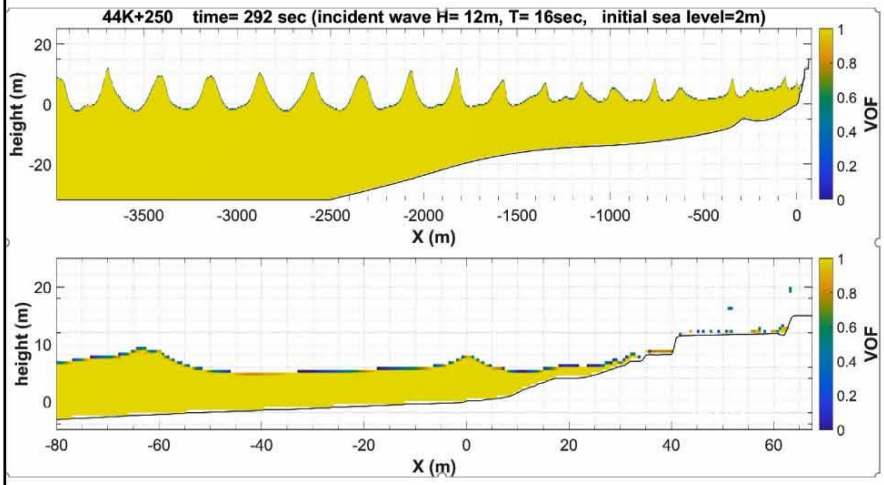
41

■新社段COBRAS模擬-模擬流程



42

■新社段COBRAS模擬-43K+750模擬情境



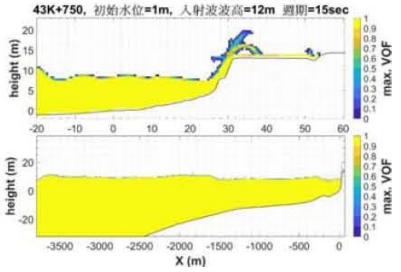


圖4.14 61K+300站模擬期間的VOF空間分布最大值 43

■新社段模擬結果-43K+750

人定勝天段43K+750站所在的道路高程約13m，道路離岸線的水平距離約35m，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249個浪襲道路的情境模擬。結果有79個情境發生道路溢淹，所有情境皆溢淹滿整個路寬。

圖4.15為波高11m、週期15秒以及潮位1.5m的情境條件所發生的道路溢淹。

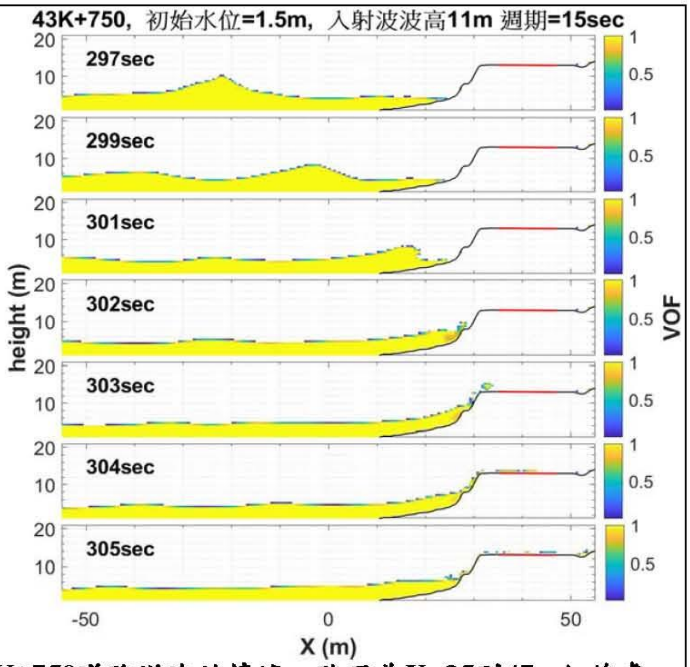


圖4.15 43K+750道路溢淹的情境，路面為X=35到47m紅線處。

44

表4-1a 43K+750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
43K+750	1.0							27					27	28	30
	1.5						30	29				28	28	29	30
	2.0			29	29	29	29	29		28	30	29	29	31	30
	2.5	26	28	29	30	30	30	31	27	30	34	31	30	31	31
	3.0	26	29	30	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	27	30	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)

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
43K+750	0.5						28							27	
	1.0					29	30	28					29	28	30
	1.5				29	30	30	30			28	30	30	31	29
	2.0		28	30	29	30	47 (12)	31	27	29	29	30	47 (12)	47 (12)	31
	2.5	29	30	31	30	31	47 (12)	47 (12)	28	31	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)
	3.0	29	33	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	29	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)

註1.空白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12m的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

45

表4-1b 43K+750 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
43K+750	0.0				26	26	27	29				27	27	29	30
	0.5			27	28	29	29	30			27	28	28	30	30
	1.0			29	30	31	30	30			30	30	31	31	47 (12)
	1.5		29	30	31	31	31	47 (12)	27	28	29	31	47 (12)	31	47 (12)
	2.0	28	29	35	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	28	30	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)
	2.5	29	30	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	30	30	47 (12)	47 (12)			
	3.0	29	47 (12)	47 (12)					29	47 (12)	47 (12)				

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
43K+750	0.0					29	29	29				27	29	30	30
	0.5			30	29	29	29	29			29	28	30	30	30
	1.0		27	29	31	31	47 (12)	47 (12)			29	31	31	47 (12)	47 (12)
	1.5	28	27	31	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	27	29	33	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)
	2.0	29	30	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)	29	31	31	47 (12)	47 (12)	47 (12)	47 (12)
	2.5	29	47 (12)	47 (12)	47 (12)				29	47 (12)	47 (12)	47 (12)			
	3.0	30	47 (12)	47 (12)					29	47 (12)	47 (12)				

註1.空白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12m的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

46

44K+000 站223個浪襲情境。有54個情境發生道路溢淹，所有溢淹情境皆溢淹滿整個路寬。

表4-3a 44K+000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
44K+000	1.5														41
	2.0					41	41	41			42	41	41	41	43
	2.5	32	41	42	43	43	42	43	36	42	43	43	42	42	46
	3.0	32	41	42	43	46	46	47	34	42	46	46	47	46	61 (12)

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
44K+000	1.0						36	41					42	41	41
	1.5					41	41	42				41	41	43	42
	2.0		41	42	41	42	46	46		41	42	42	46	46	47
	2.5	34	43	46	46	46	46	46	41	43	46	46	46	46	61 (12)
	3.0	40	42	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	41	46	47	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)

註1.空白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12m的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。47

表4-3b 44K+000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
44K+000	0.5						41							42	42
	1.0				42	42	41	41				43	43	42	42
	1.5		41	41	43	42	47	43		41	42	42	46	46	46
	2.0		43	42	46	46	46	46		42	42	46	46	61 (12)	46
	2.5	42	42	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	41	43	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)
	3.0	41	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)			42	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)		

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
44K+000	-0.5							41							40
	0.0					36	42	41						41	42
	0.5				43	41	42	46			41	44	42	41	46
	1.0			42	43	46	42	46		32	41	42	47	46	47
	1.5		41	42	43	47	46	46		41	47	46	47	46	46
	2.0	41	43	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)	41	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)
	2.5	41	42	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)	42	46	46	61 (12)	61 (12)	61 (12)	61 (12)
	3.0	43	61 (12)	61 (12)	61 (12)				42	61 (12)	61 (12)	61 (12)			

註1.空白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12m的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。48

44K+250站230個浪襲情境模擬。結果有35個情境發生道路溢淹且皆溢淹滿12m路寬。

表4-5a 44K+250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
44K+250	1.5												31	32	34
	2.0				32	40	35	34				34	40	35	40
	2.5	26	31	35	40	40	40	40	28	31	34	40	40	40	40
	3.0	28	35	40	40	42	41	41	29	35	40	41	42	41	41

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
44K+250	1.0													40	35
	1.5					32	34	40			31	35	34	40	40
	2.0			35	35	40	40	40		31	35	40	40	40	41
	2.5	29	35	35	40	40	40	41	31	40	41	40	41	41	42
	3.0	35	40	41	41	42	41	42	31	41	41	41	42	57 (12)	57 (12)

註1.空白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12m的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

49

表4-5b 44K+250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
44K+250	0.0														32
	0.5						34	35					40	40	40
	1.0					40	40	40			34	35	40	40	40
	1.5			34	35	40	40	41		32	40	40	40	41	42
	2.0		34	40	40	40	41	41	32	35	40	40	41	42	57 (12)
	2.5	31	40	40	40	41	42	57 (12)	34	40	40	57 (12)	57 (12)	57 (12)	57 (12)
	3.0	34	41	41	41	57 (12)	57 (12)	57 (12)	34	40	42	57 (12)	57 (12)	57 (12)	

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
44K+250	-0.5						32	40						30	32
	0.0					35	34	35					40	40	40
	0.5				34	40	40	40				31	40	35	40
	1.0			31	40	41	40	40				40	40	41	41
	1.5		34	40	40	40	42	57 (12)			40	40	41	57 (12)	57 (12)
	2.0	34	40	40	41	41	42	57 (12)	35	40	40	41	42	57 (12)	57 (12)
	2.5	35	40	41	57 (12)	57 (12)	57 (12)	57 (12)	40	42	41	57 (12)	57 (12)	57 (12)	57 (12)
	3.0	35	40	57 (12)	57 (12)	57 (12)	57 (12)		40	41	57 (12)	57 (12)	57 (12)		

註1.空白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12m的道路溢淹距離，起點為道路海側邊緣。

50

■新社段模擬-小結

在8種潮位條件中至少需要1m才會發生道路溢淹，其發生溢淹的入射波波高和週期下限如圖4.18到4.20。當潮位為在1m以上時，波高至少需要10m以上，同時週期需15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。

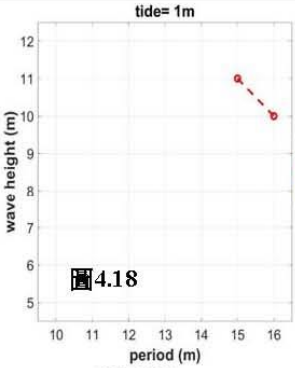


圖4.18

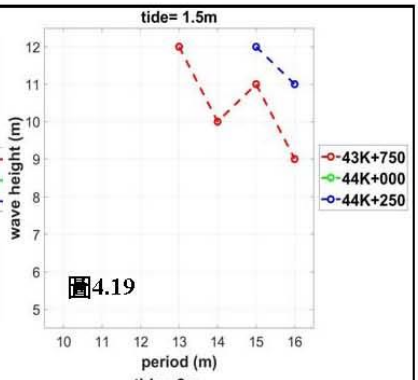


圖4.19

圖4.18到4.22為相同潮位下，發生到道路溢淹的波高和週期下限值

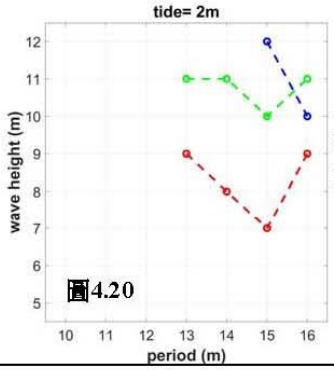


圖4.20

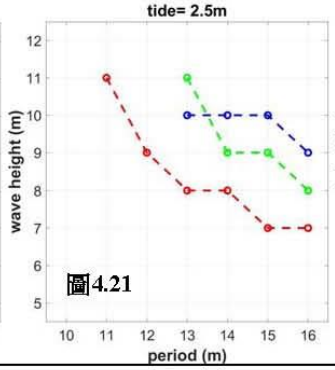


圖4.21

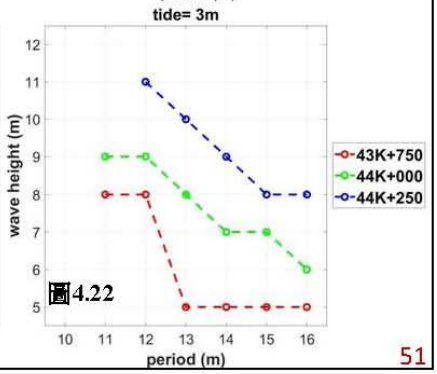


圖4.22

51

■新社段模擬-小結

由圖4.18到4.22可知大致在同樣潮位下，道路出現溢淹的波高和週期下限以43K+750最小， 44K+000其次，44K+250最大。即43K+750最易發生溢淹，而44K+250站最不易發生溢淹。

43K+750道路高程13m雖比其他兩站高1.5m，但其道路離岸距離為35m，而44K+000和44K+250各離岸49、45m。離海岸較近可能是43K+750最易發生溢淹的原因。

44K+000和44K+250兩站的離岸距離與道路高程雖然相近，但在潮位1.5m時，44K+250站需在波高11m以上且週期15秒以上才會發生道路溢淹，44K+000站則未出現道路溢淹；而在潮位2m以上則是44K+000站較易溢淹，其發生溢淹的條件差異可能與兩站的近岸地形不同有關。

52

■花蓮海岸公路浪襲預警系統-燈號定義

參考上年度在台11線人定勝天段的方式制定警戒燈號。燈號顏色的定義如下：

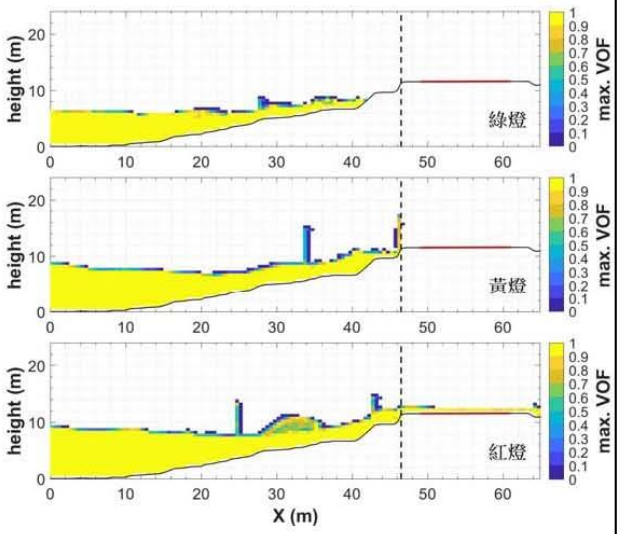
灰色：缺少示性波高、尖峰週期或潮位等預報值而無法判斷。

綠色：接近道路邊緣的水位(或浪花)低於道路平台高程-1m。

黃色：接近道路邊緣的水位(或浪花)高於道路平台高程-1m，但路面尚未出現溢淹。

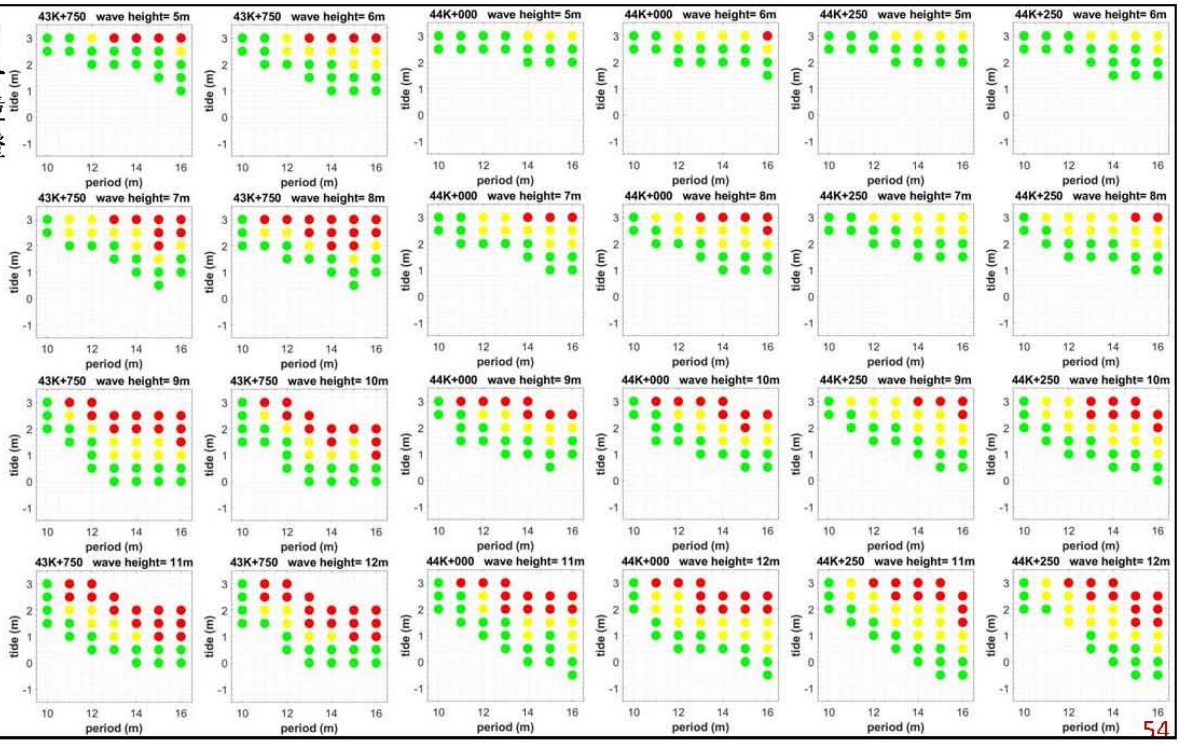
橙色：部分路面出現溢淹。

紅色：整個路面出現溢淹。



53

■新社段COBRAS各模擬情境對應的燈號



54

■花蓮海岸公路浪襲預警系統-海況條件與浪襲系統的使用

浪襲警戒燈號根據情境資料庫的邊界入射波波高、週期和潮位三個條件來決定，目前港研究中心提供的模式和TaiCOMS模式在台11線44K外海的波浪和潮位預報。利用示性波高、尖峰週期和潮位預報值來決定三個條件，並藉此產生台11線新社段的海岸公路浪襲警戒預報檔，如下圖。

圖4.27

第1-4欄	第5-7欄			第8-10欄			第11-19欄							第20欄
2020 10 29 01	1.318	4.432	0.463	5.0	10.0	0.0	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0	1
2020 10 29 02	1.346	4.519	0.461	5.0	10.0	0.0	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0	1
2020 10 29 03	1.391	4.607	0.358	5.0	10.0	0.0	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0	1
2020 10 29 04	1.420	4.754	0.173	5.0	10.0	0.0	1	0.00	0.0	...	1	0.00	0.0	1
2020 10 29 05	1.446	4.905	-0.049	5.0	10.0	-0.5	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0	1
2020 10 29 06	1.475	4.997	-0.257	5.0	10.0	-0.5	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0	1
2020 10 29 07	1.481	5.024	-0.406	5.0	10.0	-0.5	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0	1
2020 10 29 08	1.461	5.015	-0.461	5.0	10.0	-0.5	1	0.00	0.0		1	0.00	0.0	1

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欄：預報的示性波高(m)對應最接近的情境入射波高條件。
第9欄：預報的尖峰週期(sec)對應最接近的情境入射週期條件。
第10欄：預報的潮位(m)對應最接近的情境潮位條件。
第11到19欄：第11到13欄各為省道里程43K+750的燈號、道路平台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6個欄位與第11到13欄意義相同，分屬於里程44K+000和44K+250。
第20欄：43K+750、44K+000和44K+250三站中最嚴重的燈號值。

55

■花蓮海岸公路浪襲預警系統-海況條件與浪襲系統的使用

情境燈號的決定方式是利用情境資料庫的入射波高、週期和潮位3條件對預報的示性波高修正值、尖峰周期和潮位作陸地溢淹距離或道路臨海邊緣的水位高程的內插，依內插值決定浪襲警戒燈號。因為情境模擬的波高、週期和潮位的條件範圍有限(圖4.10)，故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，則視為等同情境下限值的情況。

SWAN預報的示性波高在利用情境資料庫內插之前需先經過兩項修正。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，由於預報點的水深約為48m，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。

56

■花蓮海岸公路浪襲預警系統-示性波高的修正

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48m傳遞到32m的淺化係數K_s，再將預報的示性波高值乘上K_s。

$$\mathrm{H}_2 = \mathrm{H}_1 K_s \qquad (4.11)$$

其中$K_s = \sqrt{\frac{C_{g_1}}{C_{g_2}}}$，下標1和2各代表水深48m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$L_o = 1.56T^2$。

綜合上述2種修正，預報的示性波高修正值如(4.12)式。

$$H_s^{修正值} = 2H_s^{預報值} K_s \qquad (4.12)$$

57

■花蓮海岸公路浪襲預警系統-網頁視窗

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4.28所示。網頁上圖可展示台11線44K附近3站的顏色燈號；中間圖展示波高，包括花蓮港的氣象局浮標即時觀測值及新社段外海的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新社段外海的TaiCOMS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。

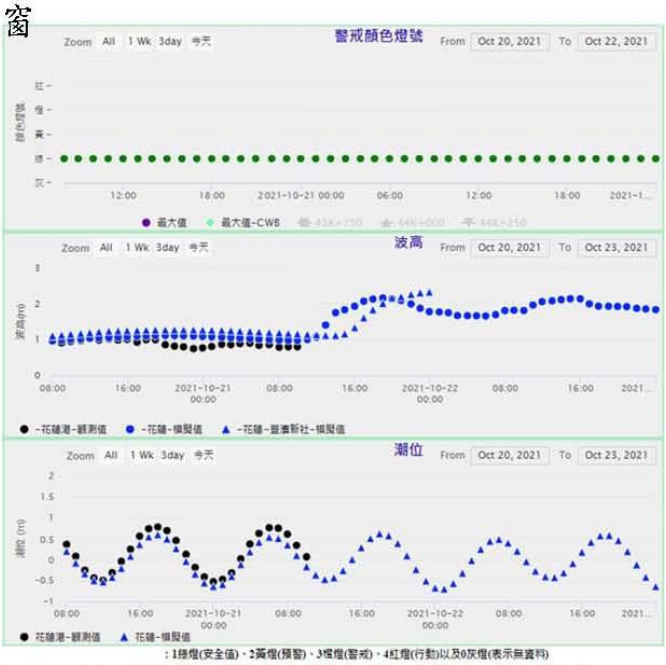


圖4.28 花蓮海岸公路浪襲預警系統新社段視窗

58

■花蓮海岸公路浪襲預警系統-新社段浪襲評估

紅圈到達CWB長浪警戒的標準

利用過去2021年7月7日到9月30日新社段潮汐及波浪的預報搭配情境資料庫計算資料期間每個小時的浪襲燈號如圖4.29，上至下依序為浪襲燈號、示性波高預報、平均和尖峰週期預報，最後是潮汐預報值。由於新社段三站有各自的浪襲警戒燈號，僅取3站之中最嚴重的燈號作顯示。

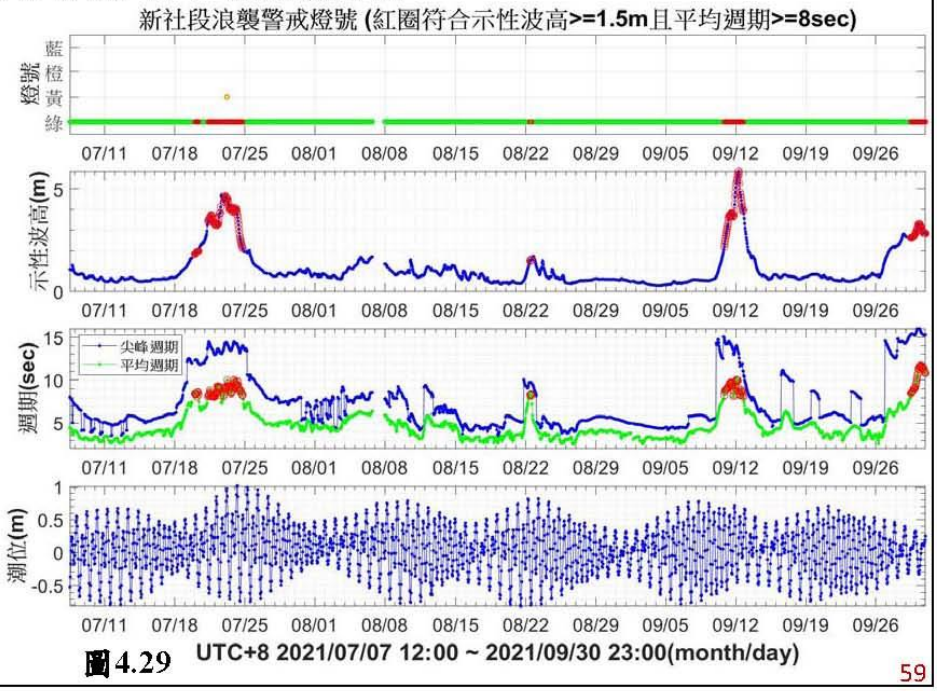


圖4.29

■花蓮海岸公路浪襲預警系統-網頁視窗

由4.29圖可知最嚴重的燈號僅在7月23日5時出現一次黃燈(圖4.30)。此時為煙花颱風接近台灣期間，其示性波高預報為4.6m、尖峰週期14.3秒，而潮位約1m，發生地點在43K+750。圖4.31為今年9月燦樹颱風期間的燈號，此雖然在9月12日7時的示性波高最大值達5.9m，但尖峰週期和潮位各為13秒和0.2m。與煙花颱風相較其未出現黃燈的主因為潮位過低。

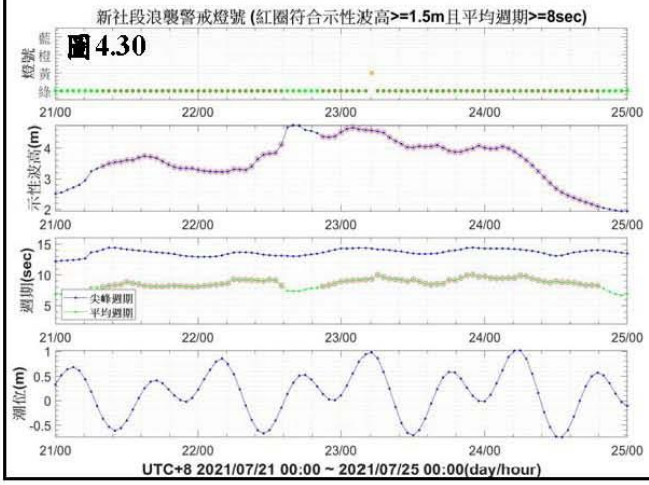


圖4.30

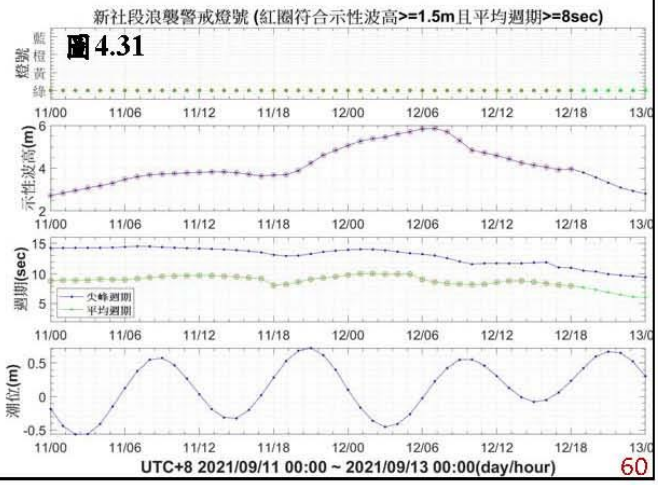


圖4.31

■浪襲系統整合CWB的QPEplus網頁之可行性評估

圖4.32和4.33各為2021年8月25日至9月1日在石門和新社站示性波高和尖峰周期的預報值，由圖可知大部分時間的CWB波高和週期預報皆高於IHMT。

由於COBRAS情境模擬對消波塊區假設為不透水層，地形條件較保守的條件，如改用CWB的預報值作為波浪條件可能會高估道路浪襲的情況，故決定延用IHMT預報值。另外由於氣象局和公路局兩方目前尚無多餘人力可參與系統整合以及後續的系統維運作業，故不考慮整合進QPEplus網頁，之後仍由港灣技術研究中心維運浪襲系統。

圖4.32

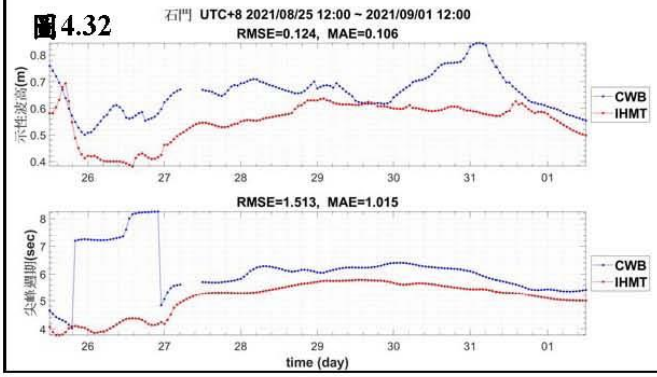
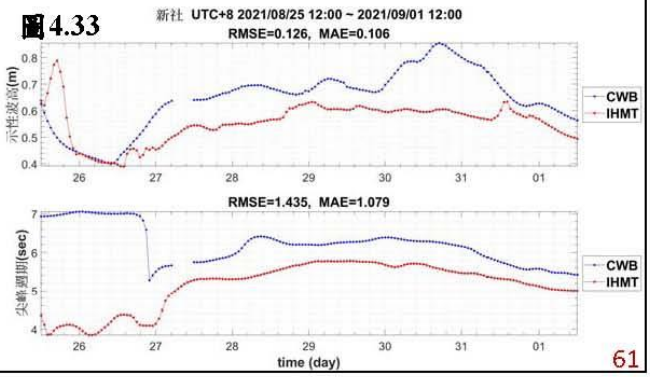


圖4.33



61

■結論

1) 對人定勝天段7個站進行126個COBRAS浪襲情境模擬的結果顯示當潮位0m時，相對於無潛堤的情況下，潛堤深度設置在水深5到7m對於水平距離海岸公路0到5m的區域能使波浪侵襲的壓力值有較佳的降幅。而當潮位為1m時，潛堤深度則以水深6到7m有較佳的壓力降幅。所有情境模擬的最大壓力值在近道路區和潛堤區皆未超過102 kgf/cm^2，潛堤建造建議使用抗壓強度140kgf/cm^{2}以上等級的混凝土。
2) 對61K+300站外海利用XBeach模式模擬設置潛堤長度50m和80m的結果顯示兩種長度在61K+300站切線方向的最大壓力值差異不大，相對於無潛堤的情況下，下降幅度皆為350到700N/m^2。
3) 利用XBeach模式各於人定勝天段設7站外海設置離岸潛堤進行模擬的結果顯示，大致上對各站靠近岸邊的陸地最大壓力值以無配置潛堤的情況值最大，潛堤位置配置A方案次之，B方案最小。另外亦顯示61K+300、61K+380、61K+500和61K+580等4站不管是潛堤配置A或B的情況下，與無潛堤相較的最大壓力值在潮位1m會比潮位0m降幅小，表示潛堤的降壓能力可能隨潮位增加而降低。

62

■結論

4) 花蓮站利用2021年4月15天短期觀測資料對示性波高預報值進行同化修正的結果雖顯示RMSE約比修正前下降了6.6%，但對2021年4月到9月的長期資料卻使RMSE上升9%。而石門段雖無觀測資料可供比對，但由於鄰近花蓮站，如將同樣的資料同化方式應用在石門站，可能無法達到預期的修正作用。
5) 對新社段的3個道路斷面總共進行702個浪襲道路的情境模擬。整體而言，潮位至少需要1m，波高至少需要10m以上，且週期需在15秒以上的情況才會出現溢淹。在同樣潮位下，道路出現溢淹所需的波高和週期下限值以43K+750站最小，其次為44K+000站，最大為44K+250站。43K+750站道路高程13m雖比為其他兩站高1.5m，但其道路離岸距離為35m，相對於44K+000站和44K+250站的49和45m，離海岸較近可能是最易發生道路溢淹的原因。44K+000、44K+250兩站的離岸距離與道路高程雖然相近，但在潮位1.5m時，44K+250站需在波高11m以上且週期15秒以上才會發生道路溢淹，44K+000站則未出現道路溢淹；當潮位到達2m則是44K+000站較易溢淹，其發生溢淹的條件差異可能與兩站的近岸地形不同有關。
6) 根據表4.4到表4.6海況條件所對應的溢淹距離或是花蓮海岸公路通行安全預警之網頁視窗，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。

63

■建議

1) 如需在人定勝天段外海建立離岸潛堤作為海岸防護的措施，本計畫的模擬可作為潛堤建造長度、水深配置位置以及混凝土強度等級選用的評估參考。
2) 由於海岸公路外海架設與維護具有即時傳輸資料功能的波浪觀測計需耗費相當的人力物力，導致公路外海的波浪資料取得不易。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新社段旁架設攝影機來監控是否有浪襲事件發生，例如最近公路局於台11線人定勝天段架設了即時影像監控觀測樁，可於日後颱風期間檢視影像資料，藉以進一步驗證花蓮浪襲預警系統的燈號預報準確性。
3) 歐等人(2004)提到對他們的風浪模式作資料同化時，觀測站的數量增加能讓降低模式與觀測值的相對誤差，直到超過七站時，相對誤差達到穩定。對花蓮站進行示性波高同化時，由於附近僅有蘇澳和臺東2個測站，可能因測站數量不足，導致花蓮站同化修正無法降低與觀測值之間的誤差，如對石門站採相同方式進行同化，可能亦無法改善示性波高預報的正確性。在未來如有新的觀測站加入同化計算，將有助於改善同化的結果。

64

謝謝聆聽　　歡迎提問

附錄九

工作會議記錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案3月份工作會議

貳、時間：110 年 3 月 25 日(星期四) 下午 3 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心3樓海洋環境資訊室

肆、主持人：林雅雯科長　　紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

已應用 109 年海象情境模擬條件搭配不同潛堤條件初步完成台 11 線人定勝天路段颱風長浪作用力分析及長浪作用力影響範圍。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)不同條件潛堤均以距離水面 2m 進行數值模擬計算，是參考水利署於花蓮北濱、南濱之海岸改善計畫後設定，以不同水深(離岸距離)條件，模擬波浪壓力隨離岸距離之變化。

(二)依目前數值計算評估結果，人定勝天路段外海水深 7m 處設置潛堤為最適合方案，可降低海岸之波浪最大壓力。

(三)另因應公路總局四工處花蓮工務段需求，台 11 線 44K 鄰近海域之水深測量，本所已發包執行中，預計 110 年 6 月完成，待完成後將提供測量結果供中山大學建立數值地形並納入浪襲預警系統評估浪襲風險。

柒、結論：

一、請中山大學於颱風長浪作用力分析工作項目中將設計波高之影響納入，並評估設置後對浪襲之影響，並說明波浪最大壓力與護岸破壞或災害之關聯。

二、離岸潛堤提長、堤寬、間距等配置、入射波高之影響及護岸方案亦請中山大學納入評估。

三、後續請中山大學提出資料同化所需之花蓮海域海象觀測資料時間區間，2 上開觀測資料由本所協助提供。

捌、散會：下午 5 時。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案110年3月份工作會議

貳、時間：110年3月25日星期四下午3時30分

參、地點：本所港灣技術研究中心3樓海洋環境資訊室

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立中山大學	教授	陳冠宇
本所港灣技術研究中心	科長 助理研究員	林雅雯 陳鈞彥

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案4月份工作會議

貳、時間：110 年 4 月 23 日(星期五) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心3樓海洋環境資訊室

肆、主持人：林雅雯科長　　紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

已應用 Xbeach 模式完成台 11 線人定勝天路段，於 2 種離岸潛堤長度條件下(50m、80m)，護岸所受最大波浪壓力之模擬計算。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)以台 11 線 61K+300 處為例，根據 Xbeach 模式模擬結果，離岸潛堤設置後，護岸所受最大波浪壓力最多可降低 1200N/m^2，80m 長之離岸潛堤較 50m 長之離岸潛堤條件，提供護岸更大範圍之最大波壓改善。

(二)花蓮海岸公路浪襲預警系統之資料同化工作，預計介接中央氣象局花蓮、蘇澳、臺東浮標之波浪即時觀測資料，同化修正系統所需輸入資料(本所 Taicoms 於人定勝天外海預報波高)，再輸出預警燈號預報檔，供預警系統展示，若未來需與中央氣象局 QPEplus 之防災資訊整合，可考量將系統修正為介接中央氣象局之海象預報資料，做為預警系統外海波浪輸入資料。

柒、結論：

一、請國立中山大學針對波浪作用力數值模擬結果，繪製台 11 線人定勝天路段現況之海岸線最大波壓分佈圖。

二、請港灣技術研究中心確認中央氣象局於花蓮外海之海象預報資料是否符合預警系統所需。

三、建議增加無潛堤分析，俾利比較潛堤設置效果。

四、建議評估較易受浪襲導致護岸破壞風險處、其與潛堤不同條件方案設置(考量不同長度、間距及數量等)後可改善之效果比較，並評估各方案設置後，對其他地區有何影響。

五、護岸與波浪作用力規範之相關文獻，請蒐集並納入本研究評估。

六、波浪作用力模擬結果圖海岸線，請加粗顯示。

捌、散會：上午 11 時。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案110年4月份工作會議

貳、時間：110年4月23日星期五上午10時

參、地點：本所港灣技術研究中心3樓海洋環境資訊室

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立中山大學	教授	陳冠宇
本所港灣技術研究中心	助理研究員	陳鈞彥

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案5月份工作會議

貳、時間：110 年 5 月 28 日(星期五) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室(視訊會議)

肆、主持人：林雅雯科長　　紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

已應用 Xbeach 模式完成台 11 線人定勝天路段，於 2 種離岸潛堤配置方案下(A 方案沿水深 6m、B 方案部分潛堤沿水深 3m 處設置)，護岸所受最大波浪壓力影響範圍、改善程度之模擬計算。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一) Xbeach 模式模擬，離岸潛堤設置後護岸所受最大波浪壓力結果。

(二)花蓮海岸公路浪襲預警系統之資料同化工作，預計取得近期(110 年 3 月至 5 月)中央氣象局花蓮、蘇澳、臺東浮標之波浪即時觀測資料，分析並建立同化關係式，以同化修正系統所需輸入資料。

柒、結論：

一、針對 Xbeach 模式數值模擬之 A、B 方案成果，請國立中山大學分析其對道路及其護坡之影響，檢討各潛堤設置之必要性，並將分析比較後成果納於期中報告並提出因應對策建議。

二、61K+700 處潮位 1m 時之波浪壓力結果，請國立中山大學再加檢核。

三、請國立中山大學依港灣技術研究中心提供之 SWAN 波浪預報、TAICOM 潮位預報進行資料同化作業。

四、請港灣技術研究中心確認中央氣象局於花蓮外海之海象預報資料，與預警系統介接之可行性。

捌、散會：上午 11 時。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案110年5月份工作會議

貳、時間：110年5月28日星期五上午10時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立中山大學	教授	陳冠宇 (視訊)
本所港灣技術研究中心	科長 助理研究員	林雅雯 陳劍彥
交通部公路總局 第四區養護工程處		(未出席)

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案6月份工作會議

貳、時間：110 年 6 月 28 日(星期一) 下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室

肆、主持人：林雅雯科長　　紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一)已應用 Xbeach 模式完成台 11 線人定勝天路段，於 2 種離岸潛堤配置方案下(A 方案沿水深 6m、B 方案部分潛堤沿水深 3m 處設置)，護岸所受最大波浪壓力影響範圍、改善程度之模擬計算及建議對策。

(二)中山大學已於 6 月 28 日繳交期中報告。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)花蓮浪襲預警系統本(110)年度於彩雲、舒力基颱風影響臺灣期間之預警結果與實際結果均無差異，無發生浪襲現象。

(二)花蓮海岸公路浪襲預警系統之資料同化工作，初步以中央氣象局花蓮、蘇澳、臺東浮標 110 年 4 月之連續 15 日觀測資料進行同化，因浪襲預警系統外海波高輸入位置(石門外海)無觀測站，以蘇澳及臺東站對花蓮站進行資料同化後，可降低 6%之 RMSE，故可以相同方式對石門外海波高預報值進行資料同化修正。

柒、結論：

一、潛堤的斷面圖、潛堤高度與水深關係，建議補充說明；另潮位採 0、1、2.5 公尺的理由及其基準，建議併予補充。

二、台 11 線人定勝天路段之潛堤配置方案，A、B 方案均有不同建議設置深度範圍，請中山大學評估提供建議值，以利公路總局參考應用。

三、不同離岸潛堤 A、B 方案之最大壓力值建議列表說明。

四、舒力基颱風資料亦可納入期中或期末報告。

五、花蓮站同化結果圖建議加繪實測值。

六、期中審查會議預計以視訊方式辦理，請中山大學會前提供簡報資料，俾利本所提供審查委員審閱。

捌、散會：下午 3 時 40 分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案110年6月份工作會議

貳、時間：110年6月28日(星期一) 下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立中山大學	教授	陳冠宇(視訊)
本所港灣技術研究中心	助理研究員	陳鈞彥

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案8月份工作會議

貳、時間：110 年 8 月 16 日(星期一) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室

肆、主持人：林雅雯科長　　紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一)已應用運研所提供台 11 線豐濱新社路段 (約 44K 處)外海之近岸水深地形測量資料建立數值地形，初步挑選 3 處斷面，利用不同海象條件進行波浪溯上情境模擬，供後續花蓮海岸公路浪襲預警系統納入，以符合花蓮工務段需求。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)前述之數值地形建立及情境模擬，均採中潮系統，並依據本年度(110年公路總局)公布之里程樁號選定情境模擬之道路斷面。

(二)依照花蓮歷年海象資料，選定波高採 5 至 12 公尺、週期採用 10 至 16 秒、潮位由 1 至 3 公尺進行情境模擬，依目前情境模擬結果，豐濱新社路段選定 3 處斷面中，以 43K+750 處為較容易發生浪襲位置。

柒、結論：

一、請中山大學提供台 11 線人定勝天、豐濱新社路段外海等波浪入射位置資料，以利本所向氣象局申請介接波浪、潮汐預報資料。

二、請於中山大學於報告書中補充說明台 11 線豐濱新社路段，選定 3 個斷面進行情境模擬之原因。

三、台 11 線豐濱新社路段之現況說明，請參考花蓮工務段提供之現場照片。

捌、散會：上午 11 時

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案110年8月份工作會議

貳、時間：110年8月16日(星期一) 上午10時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立中山大學	教授	陳冠宇(視訊)
本所港灣技術研究中心	助理研究員	陳鈞彥

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案9月份工作會議

貳、時間：110 年 9 月 29 日(星期三) 上午 11 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：林雅雯科長　　紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一)已根據申請介接氣象局之浪襲路段外海波浪預報資料，與運研所 TaiCOMS 模式進行比較。

(二)已於人定勝天路段(61K+300 處)於數值地形增加消波塊之影響，進行情境數值模擬，與未考慮消波塊情境下比較差異。

(三)感謝第四區養護工程處提供璨樹颱風期間人定勝天路段之現場影片供本案研究應用。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)氣象局與運研所於人定勝天路段外海之波浪預報(示性波高、尖峰週期)資料比較，氣象局之預報資料均較運研所 TaiCOMS 模式預測值大，以現行花蓮海岸公路浪襲預警系統為較保守估計之預警方式，建議以 TaiCOMS 模式之預測值作為輸入條件。

(二)人定勝天路段(61K+300 處)於數值地形增加消波塊影響後，於發生浪襲情境中，波浪溯升至道路外側護欄處產生更大之飛濺。

柒、結論：

一、花蓮海岸公路浪襲預警系統繼續採用本所 TaiCOMS 之預測值為輸入條件。

二、請中山大學再確認人定勝天路段道路外側地形資料之消波塊部分與數值模擬結果之合理性。

捌、散會：上午 12 時 10 分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案110年8月份工作會議

貳、時間：110年9月29日(星期四) 上午11時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立中山大學	教授	陳冠宇(視訊)
交通部公路總局 第四區養護工程處	助理工程員	徐俊彥(視訊)
本所港灣技術研究中心	助理研究員	陳鈞彥

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案10 月份工作會議

貳、時間：110 年 10 月 25 日(星期一) 下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：林雅雯科長　　紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一)已完成期末告告初稿撰寫並寄出。

(二)有關台 11 線 44K 豐濱新設路段之浪襲預警資訊，已提供程式並新增於花蓮海岸公路浪襲預警系統。

柒、結論：

一、期末報告審查暫定於 11 月 16 日 10:30 召開，本年度研究成果暫定於 11 月 29 日於公路總局第四區養護工程處花蓮工務段辦理教育訓練，請國立中山大學預先準備簡報及教育訓練內容。

捌、散會：下午 3 時。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H3CB001d 花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2/2)-浪襲預警及因應對策分析」合作研究案110年10月份工作會議

貳、時間：110年10月25日(星期一) 下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

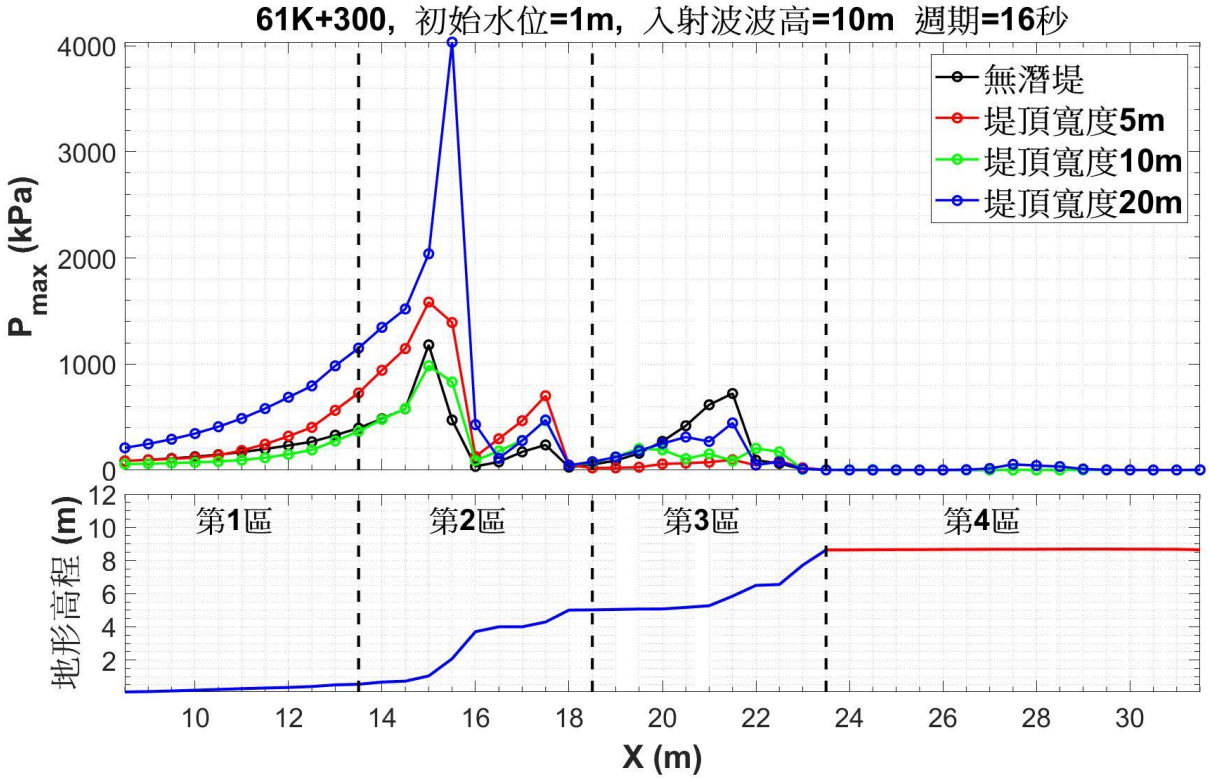
伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立中山大學	教授	陳冠宇(視訊)
本所港灣技術研究中心	助理研究員	陳金彥

附錄十

台 11 線 61K300 不同潛堤堤頂寬度的比較

為了解在不同堤頂寬度的離岸潛堤設置下，波浪對近道路區所造成的最大壓力差異，本文基於 2.4 節的 COBRAS 模式設定，同樣利用邊界連續入射 8 個波高 10m、週期 16 秒的正弦波。由於 2.6.1 節已有 61K+300 在潮位 1m 且堤頂寬度 10m，潛堤水深為 6m，潮位為 1m 的情境結果，並以此情境設定為基礎，僅將 10m 的堤頂寬度更動為 5m 和 20m 再重新進行模擬。透過分析比較堤頂寬度 5、10、20m 以及無潛堤等 4 種情境下，近道路區所承受的最大壓力有多少差異，藉以提供設計堤頂寬度的初步評估。



附圖 10.1 各堤頂寬度條件在 61K+300 近道路區的地形表面最大壓力

附表 10-1 工作項目檢核表

潛堤寬度(m)	陸地溢淹距離(m)	道路溢淹距離(m)	區域最大壓力 (kPa)						
			距離道路 10 到 15m (第 1 區)	距離道路 5 到 10m (第 2 區)	距離道路 0 到 5m (第 3 區)	道路路面 (第 4 區)	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
	31.5	8	330	1181	723	2			
5	31.5	8	565	1584	99	2	1742	255	487
10	31.5	8	276	984	205	5	1820	1104	604
20	31.5	8	983	4033	445	55	1637	1667	803