

106-001-7904

MOTC-IOT-105-H3DB001a

異常氣候下跨河橋梁與港區水位 溢淹預警系統之建置研究



交通部運輸研究所

中華民國 106 年 03 月

106-001-7904

MOTC-IOT-105-H3DB001a

異常氣候下跨河橋梁與港區水位 溢淹預警系統之建置研究

著 者：陳冠宇、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎

交通部運輸研究所

中華民國 106 年 03 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

異常氣候下跨河橋梁與港區水位溢淹預警系統之
建置研究 / 陳冠宇等著. -- 初版. -- 臺北市：交
通部運研所，民 106.03

面；公分
ISBN 978-986-05-1712-5(平裝)

1.橋樑工程 2.地理資訊系統

441.8

106000216

異常氣候下跨河橋梁與港區水位溢淹預警系統之建置研究

著者：陳冠宇、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587176

出版年月：中華民國106年03 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網頁

定價：250 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話(04)22260330

GPN：1010600105

ISBN：978-986-05-1712-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：異常氣候下跨河橋梁與港區水位溢淹預警系統之建置研究			
國際標準書號 ISBN 978-986-05-1712-5 (平裝)	政府出版品統一編號 1010600105	運輸研究所出版品編號 106-001-7904	計畫編號 105-H3DB001a
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 研究人員：單誠基 聯絡電話：04-26587176	合作研究單位：國立中山大學 計畫主持人：陳冠宇 研究人員：姚建中、劉俊志、張義偉 地址：804 高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5252000-5353		研究期間 自 105 年 02 月 至 105 年 12 月
關鍵詞： 橋梁溢淹預警系統、溢淹潛勢圖、跨河橋梁、地理資訊系統、長浪、暴潮			
摘要： 本計畫配合交通部「交通政策白皮書-運輸」所揭櫫之「提供產業健全的物流環境」政策目標及「應用運輸科技，推動運輸智慧管理，加強資訊便民服務」與「檢討安全管理，加強運輸安全機制，全面維護運輸安全」之發展主軸及依據運輸資訊政策。本期計畫工作內容屬交通部運輸研究所「海洋防災科技及永續發展計畫(4/4)」綱要計畫之分項計畫，「港灣海象模擬暨溢淹資訊建置之研究(2/2)」。 2015 年蘇迪勒颱風造成長浪襲擊台 9 線公路；2013 年海燕颱風雖然遠在菲律賓外海，但卻在龍洞產生瘋狗浪，造成八死八傷的慘劇；2008 年熱帶氣旋納吉斯引起的暴潮更是造成緬甸大區域的傷亡與破壞，2004 年南亞海嘯與 2011 年東日本 311 海嘯都造成重大傷亡，當海嘯或異常長波遇海陸交界上的河口地形，所攜帶的龐大水體除了會跨過河道溢淹至內陸外，也會隨著河道繼續逆流溯升，對其橋梁造成安全上之威脅。颱風來臨造成河川水位暴漲，出海口附近又受暴潮及長浪衝擊，可能對跨河橋樑通行安全形成威脅。因此，本研究也以淺水方程組評估由水利署所提供之水位與流量資料及港灣研究中心之港灣地區暴潮及波浪資料，了解其對跨河橋樑通行安全之可能影響，供橋梁管理單位參考。 為有效減少這樣的災害造成之傷亡，本研究發展一個具實用性的預警系統，可評估港區海嘯溢淹潛勢，並結合 Google Earth 地理資訊系統之圖資，以瞭解海岸及港灣地區(包括臨海地區之道路或橋梁)在海嘯溢淹所受影響範圍，據以提高港灣防災能力及建立民眾自救知識與緊急逃生用，大幅降低災害之威脅。另建構一個跨河橋梁之預警系統，在異常氣候下(包括颱風暴潮、長浪以及河川水位等複合條件)，以評估跨河橋梁附近之水位，了解其對跨河橋樑通行安全之可能影響，供橋梁管理單位參考。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
106 年 03 月	324	250	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。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 (解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密) ☒ 普通			
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: Constructing an Early Warning Systems for Inundation of Bridges across Rivers and Harbors Area under Severe Weather			
ISBN 978-986-05-1712-5 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010600105	IOT SERIAL NUMBER 106-001-7904	PROJECT NUMBER 105-H3DB001a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang PROJECT STAFF: Su Ching-ho, Shan Chen-chi, Lee Chung-ying, Ma Wei-lun PHONE: (04) 26587176 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2016 TO December 2016
RESEARCH AGENCY: NATIONAL SUN-YAT-SEN UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen, Guan-Yu PROJECT STAFF: Yao, Chien-Chung, Liu Chung-Chi, Chang Yi-Wei ADDRESS: No.70, Lianhai Rd., Gushan District, Kaohsiung 804, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (07) 5252000 ext.5353			
KEY WORDS: bridge inundation warning system, inundation map, bridges across rivers, GIS, storm surge.			
Abstract This project is part of the plan for constructing harbor modeling and inundation information (2/2), which is under the outline project plan for marine disaster mitigation technology and sustainable development (4/4). According to the Transportation Policy White Book, this project aims to promote safety management of transportation system. A tropical cyclone can induce huge damage in the coastal area. For example, a severe typhoon Soudelor induced coastal long wave in Number 9 Highway in the east coast of Taiwan. In 2013, although typhoon Haiyan was far away, 8 people were injured and 8 people were killed due to the induced coastal freak wave in Longdong Cape. Another example in 2008 is the storm surge due to the devastating Cyclone Nargis that caused widespread destruction in Myanmar. Typhoon-induced storm surges and swells are also hazardous to transportation systems, especially for bridges near a river mouth: in addition to the raised water level, storm surges and swells together can reach the deck and endanger people on the bridge. Both the South Asia Tsunami in 2004 and the huge Eastern Japan Tsunami in 2011 remind us how devastating a tsunami can be. Besides inundating the land, a tsunami can induce destroy bridge as it propagates upstream in a river. In this project, shallow water equations will be used to evaluate the water level in typhoon based on the flow rate provided by WRA and the surge height and swell height provided by IHMT. The results will be used for safety management of bridges. For the purpose of hazard mitigation, an early warning system for tsunami inundation will be developed so that the inundation of harbors area can be evaluated. This project will extend the existing system to include pre-computed inundation maps under a Google Earth GIS. To handle the hazards of severe weather such as storm surge, swell and flood, another warning system of river bridges will be constructed. The water level near the bridge will be estimated so that transportation safety under severe weather can be guaranteed.			
DATE OF PUBLICATION March 2017	NUMBER OF PAGES 324	PRICE 250	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中英文摘要	I
目 錄	III
第一章 緒論	1-1
1.1 前言	1-1
1.2 研究範圍與工作內容	1-2
1.3 工作項目及預期成就	1-2
第二章 溢淹潛勢圖之必要性及海嘯速報系統建置	2-1
2.1 溢淹潛勢圖之必要性	2-1
2.2 海嘯災害概述與分析	2-3
2.3 海嘯速報系統及海嘯預警系統	2-6
2.4 海嘯數值模式介紹	2-7
2.4.1 海嘯水動力數值模式	2-7
2.4.2 海嘯數值模擬與巢狀網格	2-16
2.5 地震資料來源與擷取	2-21
第三章 溢淹潛勢圖整合地理資訊系統之應用	3-1
3.1 溢淹潛勢圖	3-1
3.1.1 臺北港之模擬結果	3-6
3.1.2 基隆港之模擬結果	3-8
3.1.3 花蓮港之模擬結果	3-10
3.1.4 蘇澳港之模擬結果	3-12
3.2 地理資訊系統	3-14

3.2.1 臺北港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM).....	3-15
3.2.2 基隆港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM).....	3-19
3.2.3 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM).....	3-23
3.2.4 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM).....	3-27
3.2.5 臺北港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)	3-31
3.2.6 基隆港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)	3-35
3.2.7 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)	3-39
3.2.8 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)	3-43
第四章 極端氣候下之跨河橋梁通行安全評估.....	4-1
4.1 極端氣候概述與橋梁安全評估之重要性.....	4-1
4.2 垂直 2 維的單一坡度波流交互作用模擬.....	4-2
4.2.1 COBRAS 模式介紹.....	4-2
4.2.2 短距離模擬設定.....	4-5
4.2.3 短距離模擬結果.....	4-17
4.2.4 長距離模擬設定.....	4-27
4.2.5 長距離模擬結果.....	4-39
4.2.6 跨河橋梁預警系統.....	4-45
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議與後續研究方向.....	5-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 環太平洋地震帶引發之海嘯最大波高及其到達時間查詢手冊. 附	1-1
附錄二 MW7.0 以上的海源淺層地震 100 年的期望次數及最大波高查詢表 . 附	2-1

附錄三 短距離模擬 16 個位置最大水深.....	附 3-1
附錄四 長距離模擬 16 個位置最大水深.....	附 4-1
附錄五 期中報告審查意見回覆表.....	附 5-1
附錄六 期末報告審查意見回覆表.....	附 6-1
附錄七 期末審查簡報.....	附 7-1

圖 目 錄

圖 2.1	921 大地震造成地表斷層上下錯動.....	2-1
圖 2.2	1500-2015 年海嘯事件之地震規模分析	2-3
圖 2.3	1500-2015 年海嘯事件之震源深度分析	2-4
圖 2.4	板塊交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖	2-5
圖 2.5	交錯式有限差分網格	2-13
圖 2.6	移動邊界示意圖(a)	2-15
圖 2.7	移動邊界示意圖(b)	2-15
圖 2.8	巢狀網格示意圖	2-17
圖 2.9	模式計算區域水深地形圖	2-18
圖 2.10	模式計算區域水深地形剖面圖	2-19
圖 2.10(a)	模式代入表 2.3 的地震參數所得的海嘯初始水位	2-19
圖 2.10(b)	模式模擬的海嘯在時間第 2、3、4 和 5 小時的水位傳播	2-20
圖 2.11	與馬爾地夫水位之比對	2-20
圖 2.12	海嘯速報系統之規劃圖	2-21
圖 2.13	美國 USGS 資料庫	2-22
圖 2.14	中央氣象局網站之即時地震資料	2-23
圖 2.15	遠端擷取 USGS 地震資料格式	2-23
圖 2.16	日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料	2-24
圖 2.17	即時地震擷取系統介面	2-25
圖 3.1	週期 20 分鐘波高 4m 高斯波	3-1
圖 3.2	臺灣 500m 解析度水深地形資料	3-3

圖 3.3	安平港 5m 解析度數值地形檔.....	3-4
圖 3.4	安平港整合海陸域後之數值地形檔.....	3-4
圖 3.5	安平港整併港內實際地形之數值地形檔.....	3-5
圖 3.6	臺北港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺.....	3-6
圖 3.6	臺北港之溢淹圖，入射波高： (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....	3-7
圖 3.7	基隆港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺.....	3-8
圖 3.7	基隆港之溢淹圖，入射波高： (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....	3-9
圖 3.8	花蓮港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺.....	3-10
圖 3.8	花蓮港之溢淹圖，入射波高： (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....	3-11
圖 3.9	蘇澳港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺.....	3-12
圖 3.9	蘇澳港之溢淹圖，入射波高： (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....	3-13
圖 3.10	Google Earth 圖層	3-14
圖 3.11	臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺...	3-15~18
圖 3.12	基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺.....	3-19~22
圖 3.13	花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：(a)0.5	

公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺	3-23~26
圖 3.14 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺	3-27~30
圖 3.15 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺	3-31~34
圖 3.16 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺	3-35~38
圖 3.17 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺	3-39~42
圖 3.18 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺	3-43~46
圖 4.1 短距離模擬的 5 種坡度地形(坡度 0.001 到 0.005).....	4-6
圖 4.2 模式模擬條件.....	4-6
圖 4.3. COBRAS 模式的模擬流程.....	4-7
圖 4.4 時間第 60、150、360、510 和 630 秒的空間水位分布。(右邊界無流量).....	4-8
圖 4.5. X=1800、2000、2200、2400、2600 m 的水位時序列。	4-9
圖 4.6. 16 個 X 位置所對應的水位時序列最大值。	4-10

圖 4.7. 第一次模擬在時間第 60、150、360、510 和 630 秒的空間水位分布。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-12
圖 4.8. 第一次模擬在時間第 60、150、360、510 和 630 秒的水平流量分布。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-13
圖 4.9. 第二次模擬在時間第 60、150、210、360 和 480 秒的空間水位分布。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-14
圖 4.10 第二次模擬在時間第 60、150、210、360 和 480 秒的水平流量分布。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-15
圖 4.11 第二次模擬 X=1800、2000、2200、2400、2600 m 的水位時序列。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-16
圖 4.12 16 個位置各別對應的水位時序列最大值和平均水位。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-17
圖 4.13 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點水位時序列最大值。.....	4-18
圖 4.14 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點最大水位減平均水位值。.....	4-19
圖 4.15 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，流量-4 立方米每秒在不同波高的 16 個定點水位時序列最大值。.....	4-19
圖 4.16 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點最大水位減平均水位值.....	4-20
圖 4.17. 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 在不同流量的 16 個定點水位時序列最大值。.....	4-21
圖 4.18. 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 在不同流量的 16	

個定點最大水位減平均水位值.....	4-21
圖 4.19. 坡度 0.003, 初始水位 7.5 m, 入射波高 4 m, 無流量在 X=1600 m(左)和 1700 m(右)的水位時序列	4-22
圖 4.20 長距離模擬的 3 種坡度地形(坡度 0.001 到 0.003).....	4-28
圖 4.21 模式模擬條件	4-28
圖 4.22 時間第 200、400、600、800 和 1000 秒的空間水位分布 .	4-30
圖 4.23 X=4600、4800、5000、5200、5400 m 的水位時序列。	4-31
圖 4.24 16 個 X 位置所對應的水位最大值.....	4-32
圖 4.25 第一次模擬在時間第 300、480、600、720 和 840 秒的空間水位分布(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-34
圖 4.26 第一次模擬在時間第 300、480、600、720 和 840 秒的水平流量分布。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-35
圖 4.27 第二次模擬在時間第 60、300、600、720 和 900 秒的空間水位分布。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-36
圖 4.28 第二次模擬在時間第 60、300、600、720 和 900 秒的水平流量分布。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-37
圖 4.29 第二次模擬 X=4600、4800、5000、5200、5400 m 的水位時序列。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-38
圖 4.30 16 個位置各別對應的水位最大值和平均水位。(右邊界流量-4 立方米每秒).....	4-39
圖 4.31 長距離模擬在坡度 0.003, 入射波高 4 m, 流量-4 立方米每秒條件下, 不同初始水位的 16 個定點水位最大值。	4-40
圖 4.32 長距離模擬在坡度 0.003, 入射波高 4 m, 流量-4 立方米每秒條	

件下，不同初始水位的 16 個定點水位最大值減平均水位值。	4-40
圖 4.33 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量-4 立方米每 秒條件下，不同波高的 16 個定點水位最大值。	4-41
圖 4.34 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量-4 立方米每 秒條件下，不同波高的 16 個定點水位最大值減平均水位值。	4-42
圖 4.35 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，入射波高 4 m 條 件下，不同流量的 16 個定點水位最大值。	4-43
圖 4.36 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 條件 下，不同流量的 16 個定點水位最大值減平均水位值。	4-43
圖 4.37 跨河橋梁預警系統的使用介面	4-46
圖 4.38 後龍溪口附近的地形高程(紅線為地形截面的切線)	4-50
圖 4.39 取自圖 2 紅色切線的地形高程	4-50
圖 4.40 後龍溪觀海大橋計算範例	4-50

表 目 錄

表 2.1	2004~2016 年間重大海嘯事件.....	2-2
表 2.2	臺灣地區西元 1500~2015 年之海嘯事件	2-6
表 2.3	本研究所使用之斷層參數.....	2-18
表 2.3	本系統主要地震資料之網址及對應之資料提供範圍	2-25
表 4.1	5 種坡度所使用的四種初始水位.....	4-7
表 4.2.	坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在座標 X=2000 m 的最大 水位	4-23
表 4.3.	坡度 0.004 到 0.005 的短距離情境模擬在座標 X=2000 m 的最大 水位	4-24
表 4.4	坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序 列扣除平均水位後，發生最大差值的 X 座標.....	4-25
表 4.5	坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序 列扣除平均水位後，發生最大差值的 X 座標.....	4-26
表 4.6	3 種坡度所使用的 4 種初始水位.....	4-28
表 4.7	長距離情境模擬在座標 X=5000 m 的最大水位(單位：m) ..	4-44
表 4.8	長距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序列扣除平均水位後，發 生最大差值的 X 座標	4-45
表 4.9	坡度 0.001 到 0.003 的情境模擬在座標 X=2000 m 的最大水深	4-48
表 4.10	坡度 0.004 到 0.005 的情境模擬在座標 X=2000 m 的最大水深	4-49

第一章 緒論

1.1 前言

本計畫配合交通部「交通政策白皮書-運輸」所揭櫫之「提供產業健全的物流環境」政策目標及「應用運輸科技，推動運輸智慧管理，加強資訊便民服務」與「檢討安全管理，加強運輸安全機制，全面維護運輸安全」之發展主軸及依據運輸資訊政策。本期計畫工作內容屬交通部運輸研究所「海洋防災科技及永續發展計畫(4/4)」綱要計畫之分項計畫，「港灣海象模擬暨溢淹資訊建置之研究(2/2)」。

2015 年蘇迪勒颱風造成長浪襲擊台 9 線公路；2013 年海燕颱風雖然遠在菲律賓外海，但卻在龍洞產生瘋狗浪，造成八死八傷的慘劇；2008 年熱帶氣旋納吉斯引起的暴潮更是造成緬甸大區域的傷亡與破壞，2004 年南亞海嘯與 2011 年東日本 311 海嘯都造成重大傷亡，當海嘯或異常長波遇海陸交界上的河口地形，所攜帶的龐大水體除了會跨過河道溢淹至內陸外，也會隨著河道繼續逆流溯升，對其橋梁造成安全上之威脅。颱風來臨造成河川水位暴漲，出海口附近又受暴潮及長浪衝擊，可能對跨河橋樑通行安全形成威脅。因此，本研究以淺水方程組評估由水利署所提供之水位與流量資料及港灣研究中心之港灣地區暴潮及波浪資料，了解其對跨河橋樑通行安全之可能影響，供運輸單位參考。

為有效減少這樣的災害造成之傷亡，本研究發展一個具實用性的預警系統，可評估港區海嘯溢淹潛勢，並結合 Google Earth 地理資訊系統之圖資，以瞭解海岸及港灣地區(包括臨海地區之道路或橋梁)在海嘯溢淹所受影響範圍，據以提高港灣防災能力及建立民眾自救知識與緊急逃生用，大幅降低災害之威脅。另建構一個跨河橋梁之預警系統，在異常氣候下(包括颱風暴潮、長浪以及河川水位等複合條件)，以評估跨河橋梁附近之水位，了解其對跨河橋樑通行安全之可能影響，供運輸單位參考。

1.2 研究範圍與工作內容

本研究屬交通部運輸研究所本所 105 年科技計畫「海洋防災科技及永續發展計畫(4/4)」綱要計畫之分項計畫，「港灣海象模擬暨溢淹資訊建置之研究」計畫規劃二年合作研究計畫之第二年，本年度之主要目的為評估臺北、基隆、花蓮、蘇澳等 4 個港域，受不同高度地震海嘯長浪，可能影響範圍並以數值模擬方法建立溢淹圖資及建立 Google Earth 地理資訊系統圖資。以 2 維垂直的水動力模式結合水利署所提供之水位與流量資料，以及港灣研究中心之港灣地區暴潮及波浪資料來評估橋梁附近的最大水位和距梁底淨高的距離來了解對跨河橋梁通行安全之可能影響。

1.3 工作項目及預期成就

本研究預期完成的主要工作項目如下：

1. 建立異常氣候下(包括颱風暴潮、長浪以及河川水位等複合條件)，跨河橋梁水位溢淹之數值模式。
2. 建置颱風或強降雨期間，因上游暴雨造成的河川水位暴漲、河川下游暴潮及長浪衝擊，等複合影響之資料庫，據以評估極限狀況對臺灣鄰海岸跨河橋梁通行安全影響。
3. 建置異常氣候下橋梁通行安全評估之視窗化操作介面。
4. 建置颱風暴潮或海嘯等長浪作用下，臺北、基隆、花蓮、蘇澳等 4 個港區的水位溢淹圖資。
5. 整合臺北、基隆、花蓮、蘇澳等 4 個港區的溢淹圖資，並轉為 Google Earth 地理資訊系統之圖資，以建立 Google Earth 地理資訊系統圖資之視窗化操作介面。

本研究預期完成成果、效益及其應用如下：

(一) 預期成果：

1. 建立異常氣候下跨河橋樑水位溢淹之數值模式及人性化視窗化操作介面。

2. 建置相關資料庫以評估颱風期間跨河橋樑的通行安全。
3. 製作臺北、基隆、花蓮、蘇澳等港域，受不同颱風暴潮或地震海嘯侵襲時之溢淹潛勢圖。
4. 整合 Google Earth 地理資訊系統之圖資，利用圖層方式顯示不同之溢淹高程及擴展現有視窗化操作介面。

(二) 效益及應用：

1. 建立颱風期間跨河橋樑之通行安全評估的技術及資料庫。
2. 提供未來颱風發生時，跨河橋梁可能遭受的威脅，供公路單位參考。
3. 當颱風暴潮或地震海嘯發生時，可評估臺灣主要商港影響範圍與淹水潛勢，並提供各港務公司或觀光局，預先掌握對臺灣環島近岸地區可能發生之風險及因應措施。
4. 以 Google Earth 做為溢淹潛勢圖的展示平臺，可以免除建立臺灣主要商港基本圖層及數位資料之困擾。且由於 Google Earth 已標註主要道路、醫院、學校等重要地點供防災應變之用，便於規劃臺灣主要商港適當之保全地點及減災措施，提供本所後續相關研究之依據。

第二章 溢淹潛勢圖之必要性及海嘯速報系統建置

2.1 溢淹潛勢圖之必要性

海底火山或山崩造成的海嘯十分罕見，因此本研究以探討斷層發生地震造成的海嘯為主。根據歷史資料，會產生海嘯的地震至少要 6.7 級以上，震源深度最多不超過 100 公里。地震時，斷層可能左右運動，也可能上下運動；目前一般的看法認為海底地震若是左右運動，對海水影響不大，但海底若是上下運動，可能引起海嘯。然而即使在斷層接近水平錯動的 2008 年海地地震，也有三位民眾因海嘯而死亡(Fritz 等人, 2012)；可見地震造成海嘯的可能性絕不能輕忽。

海嘯是海底地震、海底火山或海底山崩等作用造成的長週期波，小行星、彗星的撞擊也會產生海嘯；但一般以地震斷層運動造成的情形最常見。臺灣位於環太平洋地震帶，地震頻仍；較近的例子如 921 大地震，地表斷層上下運動(如圖 2.1)最大可達十公尺，同樣的斷層運動萬一發生在海上，將產生大海嘯，造成重大傷亡。因此吾人須正視臺灣可能的海嘯風險，故建立海嘯速報系統及溢淹潛勢圖，據以提高港灣方災能力及建立民眾自救的知識與緊急逃生，降低災害的威脅。

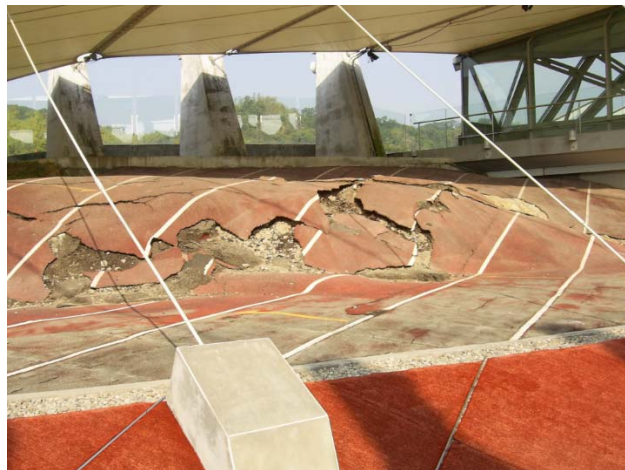


圖 2.1 921 大地震造成地表斷層上下錯動

由於海嘯波在大洋傳遞時不易察覺，加以早期對於海嘯並無具體概念，往往在近岸抬升之過程中，造成許多傷亡。自 2004 年南亞海嘯事件後，至 2016 年 3 月為止，較具規模之海嘯事件共十一起，如表 2.1 所示。

表2.1 2004~2016年間重大海嘯事件

資料來源：美國 NGDC/WDS 之 Global Historical Tsunami Database.

Date(Mag.)	Country	Name	Max. wave height (m)	Death
2004/12/26(9.1)	Indonesia	Sumatra	50.9	226,898
2005/3/28(8.7)	Indonesia	Indonesia	3	10
2006/7/17(7.7)	Indonesia	Java	10	802
2007/4/1(8.1)	Solomon	Solomon	12.1	52
2007/4/21(6.2)	Chile	Chile	7.6	10
2009/9/29(8.0)	Samoa	Samoa	22.35	192
2010/2/27(8.8)	Chile	Chile	29	156
2010/10/25(7.8)	Indonesia	Sumatra	7	431
2011/3/11(9.0)	Japan	Honshu	38.9	15,854
2013/2/6(8.0)	Solomon	Solomon Islands		10
2014/4/1(8.2)	Chile	Chile	4.40	
2015/10/18(8.3)	Chile	Chile		8
2016/3/2(7.8)	Indonesia	Sumatra	0.21	0

海嘯所造成之災害不同於其他天然災害，由於海嘯是整個水體被帶動且波長甚長，故能攜帶之水體通常會造成大範圍之溢淹，以2004年南亞海嘯東斯里蘭卡為例，可造成長度約2.5km之溢淹；薩摩亞海嘯也有此一現象產生。後續衍生之衛生、心理及重建問題亦是甚為棘手之問題。其次是海嘯波之速度，2011年3月11日東日本海嘯事件中，由現場實況及事後調查報告均顯示即使海嘯波已經造成溢淹，其殘餘速度仍足夠沖垮目前現有之結構物。因為海嘯具有強大破壞性但也具備高度不可預測性，故自南亞海嘯之後，印度洋周邊國家開始建立區域性海嘯預警系統；美日兩國也加強與周邊國家之資訊交流，但在薩摩亞海嘯事件中證明現有之海嘯預警系統/流程對於近域海嘯幾乎無事先預警之功能。日本先前所建立之海嘯預警系統及應變措施在這次的海嘯事件中有發揮其功效，有效降低傷亡之人數。

海嘯所造成之災害是全面性的，日本海嘯事件即是一個案例；海嘯震源區約位於伊豆小笠原海溝，日本東岸又屬於人口稠密區，沿岸有核電廠等重要結構物，海嘯過後所引發之火災及核電廠冷卻失靈也

造成了嚴重災情及難以收拾之復建作業；雖然當地雖建有號稱海上長城之防波堤，在海嘯來襲之時其原先預期的防禦功能因已超過設計值而無法抵擋海嘯來襲時之波高，雖有效降低海嘯流速及溢淹面積，但兩座防波堤也完全毀損，地形之效應使得海嘯最大溯升高度約達 40 公尺左右；在太平洋東岸之加州、墨西哥一帶也能感受本次海嘯之威力。

2.2 海嘯災害概述與分析

地震是海嘯成因之一，近年四起海嘯事件，南亞海嘯、薩摩亞海嘯、智利海嘯及2011年3月東日本海嘯即是由強烈之海底地震所引起之海嘯。利用美國NOAA之海嘯災難資料庫可大略看出海嘯事件之特性，檢索結果顯示自1500~2015年共有2361起海嘯事件，約13%是由火山活動或其他因素所造成，70%以上是由地震所引起的，即是大部分之海嘯事件仍舊是由地震活動所造成的，其中地震規模多在4以上，多半集中於5~8.9之區間。圖2.2為海嘯事件中之地震規模分佈圖，92%之海嘯事件之地震規模均達6.0以上，與一般認知引起海嘯之地震所需規模相符，該圖同時也顯示超大地震的發生率甚小。在2361起海嘯事件，有1342起有紀錄震源強度，其中僅有827起有紀錄震源深度，震源深度90%均發生在60公里以內，如圖2.3。

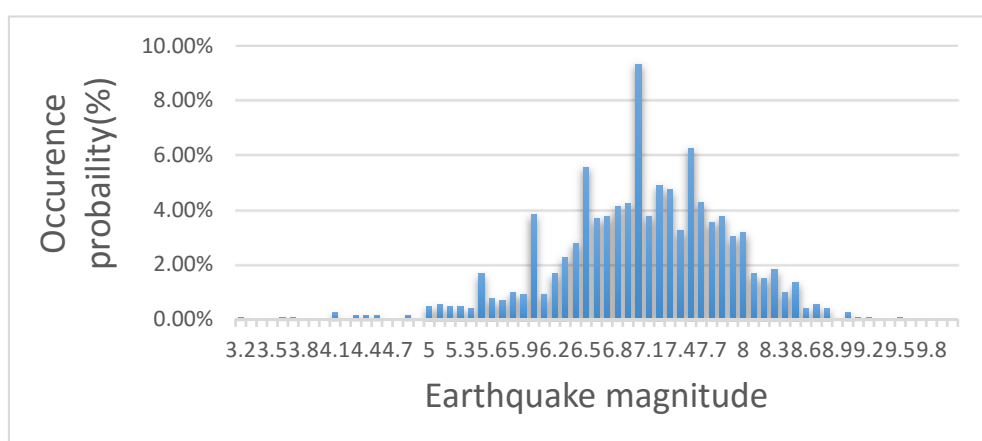


圖 2.2 1500-2015 年海嘯事件之地震規模分析

資料來源：美國 NGDC/WDS 之 Global Historical Tsunami Database.

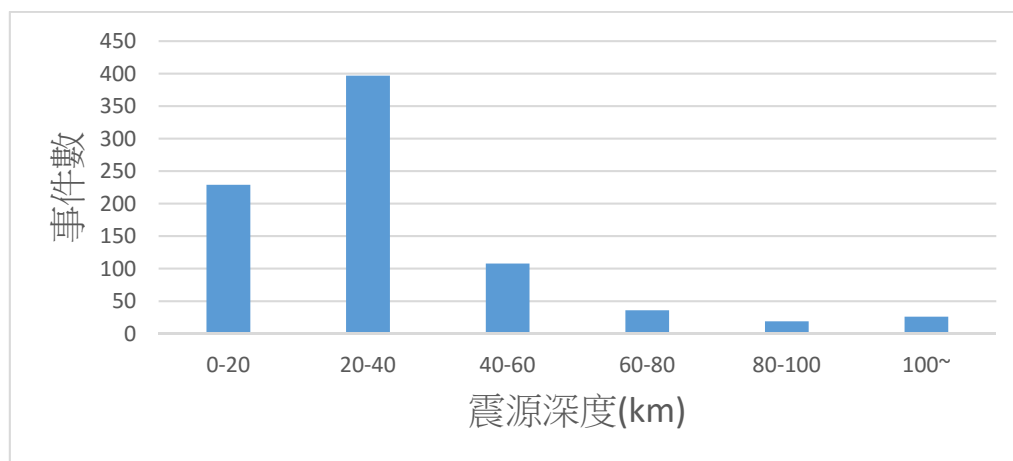


圖 2.3 1500-2015 年海嘯事件之震源深度分析

資料來源：美國 NGDC/WDS 之 Global Historical Tsunami Database.

台灣雖近數十年來並無顯著之海嘯災難案例發生，但根據歷史文獻紀錄，可信度甚高；西南地區之高雄(1781 年及1866年)及安平(1721 年)，東北地區之基隆(1867 年)均有相關海嘯災情之文字記載；近年來也有 1986 年花蓮海嘯事件，在花蓮港內有觀測到水位 2 公尺之變化(張等，1999)。東部沿岸各鄉鎮所面臨之主要海嘯震源區是來自於太平洋東岸之遠域海嘯，雖然東部外海地形陡峭，提供天然之保護條件；但花東外海卻是我國海底地震及海嘯事件最多之地區。

非天氣因素的海嘯發生成因甚多，例如強烈海底地震、海底火山爆發、海底邊坡滑動(landslide)或山崩、水下核爆；本研究僅探討由強烈海底較淺層地震所產生之海嘯，其生成機制如圖 2.4 所示(邱等，2005)。此種類型之海嘯之特點是通常地盤運動之垂直分量視同等於初始水位，海嘯波之能量不容易消散且能傳遞相當長之距離，而且具有方向性。

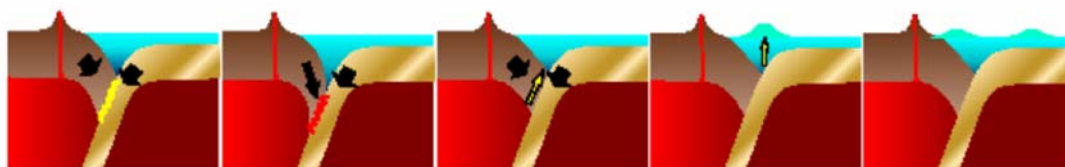


圖 2.4 板塊交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖

(資料來源：邱等，2005)

臺灣北部海域有琉球海溝，長期以來由於缺乏相關震災紀錄，故一般堅信不會發生大地震；日本學者經過 GPS 之檢測，發現琉球海溝有發生地震規模 8 之潛在危機；鄰近臺灣宜蘭海域之八重山群島、宮古島一帶，也被認為有發生海嘯之疑慮；臺灣西南海域之馬尼拉海溝，經美國地調所(Kirby et al., 2005)認為是下一個「海嘯危險區」，經過海嘯模擬顯示，馬尼拉海溝發生海嘯時，其海嘯波在 30-40 分鐘內即可到達恆春半島；加以西南海域地形較為平緩，有利於海嘯之溯上，此區人口密集，重要設施林立，若有海嘯引起之災情，其嚴重程度可見一般。

臺灣西南方的馬尼拉海溝是研究海嘯的學者認為是高風險之潛勢震源區。臺灣西南部與南部海域雖然較少活動斷層，地震頻率及規模均較少，但 2006 年兩起規模 6 以上之地震在此區產生，既有科學文獻也顯示臺灣西南海域有許多斷層帶。再加上位於臺灣南方的菲律賓與臺灣同屬於菲律賓海板塊與歐亞板塊的聚合帶，地震頻繁，呂宋島有許多活動斷層延伸至海域，大規模斷層活動可能引發海嘯，於數十分鐘至一小時即可到達臺灣西南部海域，衝擊臺灣南部及西南部海岸。地質文獻可以看出臺灣陸地斷層其實往南延伸至海底，故對某些海底斷層，可以從陸地露頭推測之性質(陳等，2007)。

臺灣對於海嘯之相關史料或紀錄甚多，但因早期欠缺科學概念，故這些歷史紀錄目前有許多學者正利用不同科學方式驗證其可信度，但從歷史紀錄來看，有許多史料記載臺灣地區也曾發生災害性之海嘯，造成不小之傷亡；近百年來，臺灣地區雖有海嘯事件發生，但均未對臺灣造成大規模之災害，加上海嘯發生機率較地震低，是故缺乏國內相關災害統計資料可供研究；根據美國 NGDC 之天然災害資料庫顯示臺灣地區自西元 1500~2015 年共有 22 起海嘯事件，詳見表 2.2。花蓮海嘯事件，芮氏地震規模(M_L)6.8，規模屬於近域海嘯，在花蓮港產生約 2 公尺之波高(張等，1999)，表 2.2 中最後一筆之海嘯紀錄即為 2006.12.26 屏東恆春海嘯，造成大約 0.6 公尺之水位變化，恆春半島陸地區域並未遭受產生太大之災情，但卻造成數條海底通訊電纜斷裂，使得對外連絡通訊蒙受嚴重之損失，其災損金額亦相當可觀。

表 2.2 臺灣地區西元 1500~2015 年之海嘯事件

Date						Tsunami Cause				Addl Tsu Info	Deposits	Tsunami Source Location			
Year	Mo	Dy	Hr	Mn	Sec	Val	Code	Earth- quake Mag	Vol- cano			Country	Name	Latitude	Longitude
1661	1	8				2	1	<u>6.0</u>		*		TAIWAN	SOUTH CHINA SEA	23.000	120.100
1721						1	1	*		*		TAIWAN	TAINAN	23.000	120.200
1754	4					3	1	<u>6.0</u>		*		TAIWAN	E. CHINA SEA	25.300	121.400
1782	5	22				2	1	<u>7.0</u>		*		TAIWAN	TAIWAN STRAIT	24.500	120.500
1792	8	9				2	1	<u>6.0</u>		*		TAIWAN	TAINAN	23.600	120.500
1853	10	29				1	6		Vol	*		TAIWAN	E. TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	24.000	121.830
1882	12	9				0	1	<u>6.2</u>		*		TAIWAN	SOUTH CHINA SEA	24.500	120.500
1903	9	7				1	1	*		*		TAIWAN	TAIWAN		
1917	5	6	12	19		4	1	<u>5.8</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.200	121.600
1922	9	1	19	16	6.0	1	1	<u>7.6</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	24.500	122.000
1951	10	22	5	43	1.0	4	1	<u>7.3</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.800	121.700
1963	2	13	8	50	4.5	4	1	<u>7.3</u>		*		TAIWAN	E. TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	24.400	122.100
1966	3	12	16	31	21.8	3	1	<u>7.6</u>		*		TAIWAN	E. TAIWAN-RYUKYU ISLANDS	24.100	122.600
1972	1	25	2	6	23.3	4	1	<u>7.5</u>		*		TAIWAN	E. TAIWAN	22.500	122.300
1978	7	23	14	42	36.9	3	1	<u>7.4</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	22.282	121.512
1986	11	14	21	20	10.5	4	1	<u>7.8</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.901	121.574
1990	12	13	19	50	17.8	4	1	<u>6.3</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.722	121.627
1994	5	24	4	0	42.1	1	1	<u>6.5</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.959	122.448
1998	5	3	23	30	21.9	4	1	<u>7.5</u>		*		TAIWAN	TAIWAN: SOUTHEAST OF	22.306	125.308
2001	12	18	4	2	58.2	4	1	<u>6.8</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	23.954	122.734
2002	3	31	6	52	50.4	4	1	<u>7.1</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	24.279	122.179
2006	12	26	12	26	21.4	4	1	<u>7.0</u>		*		TAIWAN	TAIWAN	21.799	120.547

資料來源：美國 NGDC/WDS 之 Global Historical Tsunami Database.

2.3 海嘯速報系統及海嘯預警系統

自 2004 年南亞海嘯之後，各國有感於海嘯所帶來之天災，故開始致力研發或是佈置海嘯預警系統 (Tsunami Warning System，簡稱 TWS)。經由發布警報以避免生命與財產的損失。主要由兩個元件所構成，一個是偵測海嘯的感測器，另一個是即時發布警報以疏散沿海區域避難的通信基礎設施。海嘯預警系統有區分為國際性及地域性，前者最著名的即是美國太平洋海嘯預警中心(Pacific Tsunami Warning Center)，環太平洋地區之海嘯警報大多數即是由該單位發布警報通知鄰近諸國，我國中央氣象局即是接收該單位所傳來的訊息進行海嘯警報發布，例如 2011 年 3 月 11 日東日本海嘯事件、2012 年 8 月 31 日菲律賓東方疑似海嘯事件；該單位會隨時發送最新訊息給鄰近國家；另一個即是印度洋海嘯預警系統。

地域性之海嘯預警系統最著名的範例即是日本，日本在沿海一帶佈設大量之監測器，可偵測異常之水位變化；一但有海嘯之疑慮，隨即利用廣播系統通知沿岸民眾盡速依指定路線往指定地點進行疏散作業。本計畫所開發之系統是一種「海嘯速報系統/預報系統」，其主要目的在於在海嘯發生初期即利用歷史參數或是即時地震參數計算各港口對應可能水位變化及到達時間，而後將資訊彙整至權責單位憑以進行後續程序；其優勢為在有限之成本及時效，可得出實用性甚高之海嘯初期評估資料。

2.4 海嘯數值模式介紹

海嘯由於與強烈之海底地震有關，所以地震預測技術尚未進入實際應用階段，是以海嘯也無法事先進行預測作業；但海嘯波之速度遠小於彈性波之波速；因此，海嘯相較於地震有更多之應變時間。海嘯模擬通常藉由海嘯數值模式在獲知地震訊息時進行運算，雖說海嘯有較多之應變時間，但依我國週遭之海嘯潛勢震源分布特性而言，近域海嘯在 20-30 分鐘即可到達陸地，應變時間略顯急迫；因此，若能以資料庫之概念製作海嘯波高資料庫，以期在海嘯發生初期即可利用資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間，可大幅地提高防災應變之時效性。要建置波高資料庫、溢淹模擬及機率分析必需借重海嘯數值模式。其速報精度及效率，依東日本海嘯之實例測試顯示，系統能於 1-2 分鐘之內完成單一點模擬。

2.4.1 海嘯水動力數值模式

數值模式以數值方式解析物理方程式，其解析能力主要由物理方程式所決定。依物理方程式的解析能力來分，海嘯水動力數值模式可簡單分為一維、二維與三維三種類型。早期海嘯模擬採用類似於海岸工程之射線(ray)法的一維海嘯模式；一維模式在電腦普及後，因較費人工，且對繞射、邊緣波等現象無法處理，現已無人使用。

三維海嘯水動力模式最為全面、完整，但也最複雜、耗時。所幸

最常見的海嘯成因--地震，其引致海嘯的機制是由斷層錯動推動海水面的升降，從而引發重力波所致。此重力波之波速遠小於地震的彈性波，故可假設水面是瞬間抬升或陷落；此種抬升或陷落之初始條件很容易在二維海嘯水動力模式給定，因此海嘯之波源、傳播及溯上、溢淹皆可以二維海嘯模式加以模擬。根據學者研究 (Murty, 1979) 也證明海水的層化效應對海嘯的影響甚微。因此就海嘯傳播而言，模擬的方式僅限於二維模式；除非探討細部的流況或受力，才有採用三維模擬的必要。由於上述的因素，一般所謂海嘯模式皆指二維模式，而本文也只討論二維海嘯模式。

本計畫採用美國康乃爾大學土木與環境工程學系團隊發展出的 COrnell Multigrid COupled Tsunami model(COMCOT)模式作為主要模擬工具(陳等, 2011; 陳等, 2012)。開發之初，經過智利海嘯、花蓮海嘯以及南亞海嘯之實例驗證，其成效尚稱滿意；其研究成果也常發表於國內外知名期刊，該模式也為國內其他相關學術單位所使用。故在臺灣地區海嘯實測資料缺乏情況之下，本計畫後續利用南亞海嘯之案例作為校正之用。

而 COMCOT 模式之基本理論是淺水方程組(shallow water equations)，由康乃爾大學劉立方教授領導建立(Liu 等人, 1998)，至今已進行多次改版。1 版到 1.4 版 之發展時間可上溯至 1993-2002，較新的 COMCOT 1.6 版發展時間則為 2003-2007；最新的 COMCOT 1.7 版發展時間由 2008 到現在。COMCOT 1.6 版與 1.7 版皆為康乃爾大學畢業生王曉民(Xia-ming Wang)博士發展與維護。我們研究團隊前期採用 COMCOT 1.6 版為基礎，加入 OpenMP 平行運算語法，檔案輸出由文字檔更動為 nc 檔(netcdf)；近期則採用 COMCOT 1.7 版(陳與陳, 2012; 陳等, 2013)。

除了 COMCOT 模式之外，日本東北大學的 TUNAMI(Tohoku University Numerical Analysis Model for Investigation of tsunamis) 模式脫胎於 1991 開始的 TIME (Tsunami Inundation Modeling Exchange) 計

畫，使用的機構遍佈全世界；NOAA 的 MOST (Method Of Splitting Tsunami) 模式也有不少使用者。模式之基本理論同樣是淺水方程組。在卡氏座標中非線性之淺水方程組可寫為：

$$\eta_t + P_x + Q_y = 0 \quad (2.1)$$

$$P_t + \left(\frac{P^2}{H} \right)_x + \left(\frac{PQ}{H} \right)_y + gH\eta_x - fQ + \tau_x H = 0 \quad (2.2)$$

$$Q_t + \left(\frac{PQ}{H} \right)_x + \left(\frac{Q^2}{H} \right)_y + gH\eta_y + fP + \tau_y H = 0 \quad (2.3)$$

式中 t 是時間， η 為自由表面之變動水位， H 為全水深， P 及 Q 分別為 x 與 y 方向之流量， g 為重力加速度， f 為科氏參數， τ_x 、 τ_y 分別為 x 與 y 方向底部摩擦力。

除淺水方程組外，Boussinesq 方程式也是二維，但比淺水方程組多出了非靜水壓的頻散(nonhydrostatic dispersion)效應。惟 Boussinesq 方程式為解析頻散效應，引入高階微分項，容易造成數值不穩定。再者，如陳(2007)所述，一般使用於海嘯傳播模擬的網格尺度並無法顯示頻散效應，因此無論使用哪一種方程式結果都差不多；故在深海的粗網格架構下使用 Boussinesq 方程式意義不大。

至於溯上、溢淹的模擬，Synolakis & Skjelbreia(1993)曾證明採用靜水壓近似的淺水方程組模式可以描述表面波與海底地形交互作用之碎波、溯上過程中的波高變化；這是由於斜坡距離有限，在短暫的溯上過程中，非靜水壓效應引起的頻散不足以發揮影響。故在近岸的溯上模擬使用 Boussinesq 方程式也無重要意義，使用非線性之淺水方程組即足以描述其過程。而模擬在大洋中的傳遞，其科氏力及地球曲面效應不可忽略，由於在大洋中振幅很小，非線性行為不明顯，故於大洋傳遞時，可考慮用球面座標下之淺水方程式；但在近岸時，由於波高放大及底床摩擦，使得非線性效應增加，此時科氏力及地球曲面效應相對較小，故

應採用直角座標下之淺水方程式。

另一方面，模式的校驗及率定也是一個重要的考量；海嘯模式與其他水動力模式比較下，可供驗證之實際案例及資料較為不足；特別是臺灣本島之海嘯資料及案例多屬歷史文件記載，鮮少科學紀錄。故若引用國外已經發展完成之海嘯模式，則可免除許多模式校正及驗證之工作。

COMCOT 數值模式是以程式語言Fortran 撰寫，模式中提供計算由斷層錯動產生的海床垂直位移量以及海嘯波傳播的計算。與其它相似之模式相較之下，擁有下列之特點：

- (1)使用巢狀網格系統(multi-grid nested system)計算，可保持遠域及近岸之計算速度與精確度。
- (2)可依計算區域，選擇使用球狀或直角座標系統計算。
- (3)可依計算區域，選擇使用線性或非線性方程式計算。
- (4)使用蛙跳法(leap-frog)及有限差分方法來解淺水方程式(shallow water equation)。
- (5)提供不同初始波形之方式：(例如地震、海底山崩、人工造波或起始水面資料檔等)。

球面座標下之淺水方程式可表示為：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left[\frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right] = 0 \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\partial \zeta}{\partial \psi} - fQ \\
& = \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left[\frac{h^3}{3R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{P}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\cos \varphi \frac{Q}{h} \right) \right\} \right]
\end{aligned} \tag{2.5}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} + fP \\
& = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[\frac{h^3}{3R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{P}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\cos \varphi \frac{Q}{h} \right) \right\} \right]
\end{aligned} \tag{2.6}$$

上式中 (ψ, φ) 表示在地球表面的經度及緯度；目前臺灣地區採用的是國際橫麥卡托二度分帶座標系統(UTM2)，以 (N, E) 來表示， N 為六位數， E 為七位數，由(2.4)式至(2.6)式消去 P 和 Q ，且略去科氏力項，並假設水深為一常數，則可得到以 ζ 代表的關係式。

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - \frac{gh}{R^2 \cos^2 \varphi} \left[\frac{\partial^2 \zeta}{\partial \psi^2} + \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\cos \varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} \right) \right] \\
& = \frac{gh^3}{3R^4 \cos^4 \varphi} \frac{\partial^4 \zeta}{\partial \psi^4} + \frac{gh^3}{3R^4 \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[\cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\cos \varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} \right) \right\} \right] \\
& + \frac{gh^3}{3R^4 \cos^3 \varphi} \left[\frac{\partial^3}{\partial \psi^2 \partial \psi} \left(\cos \varphi \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} \right) + \cos^2 \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial \psi^2} \right) \right\} \right]
\end{aligned} \tag{2.7}$$

COMCOT 中以交錯式顯性蛙跳法 (staggered explicit leap-frog scheme) 來處理線性淺水方程式，利用前一時刻之體積流量及自由表面水位，用連續方程式計算網格 (i, j) 點在第 $n+1/2$ 時刻之自由表面水位 $\zeta_{i,j}^{n+1/2}$ ，接著計算體積流量 $P_{i+1/2,j}^{n+1/2}$ 及 $Q_{i,j+1/2}^{n+1/2}$ ，體積流量和水位是由不同的位置分別計算，基本上即是在網格中央計算水位，而在網格四周計算體積流量。波高及體積通量的計算是在不同的時間步上，利用物理量在空間上的交錯(staggered)方式來計算，可以減少誤差及增加數值穩定性，如圖2.5所示。COMCOT 採用中央差分法，因此COMCOT具有二階的準確性及 $O((\Delta x)^2, (\Delta y)^2, (\Delta t)^2)$ 的截斷誤差(truncation error)。

其離散式為(Liu et al., 1998)：

$$\frac{P_{i+1/2,j}^{n+1} - P_{i+1/2,j}^n}{\Delta t} + gH \frac{\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x} = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{Q_{i,j+1/2}^{n+1} - Q_{i,j+1/2}^n}{\Delta t} + gH \frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta y} = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta x} + \frac{Q_{i,j+1/2}^n - Q_{i,j-1/2}^n}{\Delta y} = 0 \quad (2.10)$$

若近岸地區時，改採卡氏坐標系統，考慮底部摩擦作用之非線性淺水方程式可以下列各式表示之(Liu et al., 1994)：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} P + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fQ + \tau_x H = 0 \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + fP + \tau_y H = 0 \quad (2.13)$$

式中 t 是時間， ζ 為自由表面之變動水位， H 為全水深， P 及 Q 分別為 x 與 y 方向之流量， g 為重力加速度， f 為科氏力參數， τ_x 、 τ_y 分別為 x 與 y 方向底部摩擦力。

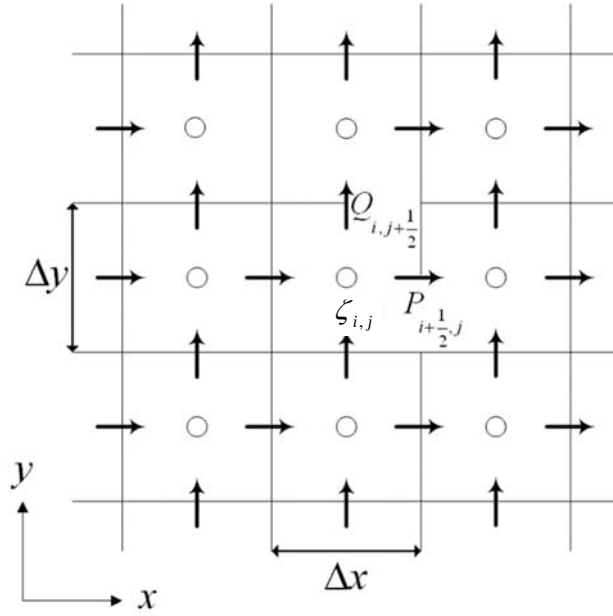


圖 2.5 交錯式有限差分網格

底部摩擦項可使用 Chezy 公式，

$$\tau_x = \frac{g}{C_f^2 H^3} P (P^2 + Q^2)^{1/2}, \quad \tau_y = \frac{g}{C_f^2 H^3} Q (P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (2.14)$$

或曼寧公式

$$\tau_x = \frac{gn^2}{H^{10/3}} P (P^2 + Q^2)^{1/2}, \quad \tau_y = \frac{gn^2}{H^{10/3}} Q (P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (2.15)$$

(2.14)式中的 C_f 表示 Chezy 公式的摩擦係數，而(2.15)式 n 代表相對粗糙係數，與流動狀況及底部的表面粗糙度有關。

非線性方程式仍是採用蛙跳法為主，但此法對於對流項並不適用，故改採上風法(Upwind Scheme)處理，但精度僅達到空間網格大小的一階。

COMCOT 模式在近岸海陸(乾溼)交界處採用移動邊界條件；若波高足以進入陸地時，則容許海水進入陸地網格，則可模擬出長波於陸地上之溢淹範圍及溯上高度。移動邊界技巧可參考圖 4.10 及圖 4.11 所

示，將沿岸地形以階梯形式表示之，在網格 $i-1$ 、 i 及 $i+1$ 處計算全水深，而在 $i-1/2$ 、 $i+1/2$ 及 $i+3/2$ 處計算流量；圖中 MWL 表示平均海水面 (mean water level)， ζ 表示自由邊界之水位， h 為平均靜水位到陸地的高度；在乾陸地(dry land)的網格中，總水深 $H = h + \zeta$ 是為負值，於有水溢淹的溼陸地 (wet land)網格總水深以正值表示，位於乾網格與溼網格之間的交界則定義為海岸線。由連續方程式計算出全區域的自由表面水位，在陸地網格點的自由表面水位永遠為零，因為在鄰近網格點處流量為零，在此過程中須判斷網格點之全水深是否足以使水移往鄰近的陸地網格(即為移動邊界)。動量方程式則更新在水域部分之流量。波由外海計算到近陸區域，於海岸線交界處時，即 $H_i > 0$ 及 $H_{i+1} \leq 0$ 的條件下，則開始進行移動邊界計算。

起始體積通量為零，利用連續方程式並配合移動邊界計算來找下個時間步長的波高，波高在乾的陸域網格中的值為 0，這是因為在鄰近的流量都為 0。原本在第 i 個網格點的總水深需上傳到第 $i+1/2$ 個網格點，經由數值計算來決定總水深是否夠高足以溢淹到相鄰的乾陸域 (dry land)網格，並調整海岸線位置。如果某一點網格在各方向的總水深為零或負值，則此網格視為乾網格 (dry cell)，如圖 2.6 中，第 i 個網格為溼陸域，其總水深為正值，第 $i+1$ 個網格為乾陸域，其總水深為負值且體積通量為零，海岸線位於 i 與 $i+1$ 之間，而賦予第 $i+1/2$ 個網格點的體積通量為零。但在波高較高的例子中，如圖 2.7 所示，此時第 $i+1/2$ 個網格點的體積通量為非零，海岸線也往陸地方向移動一個格點，而總水深由連續方程式中被更新。以下的計算為用來判斷海岸線是否該移動，而先決條件在總水深由連續方程式更新後，即可由下列方式判斷海岸線是否會移動。

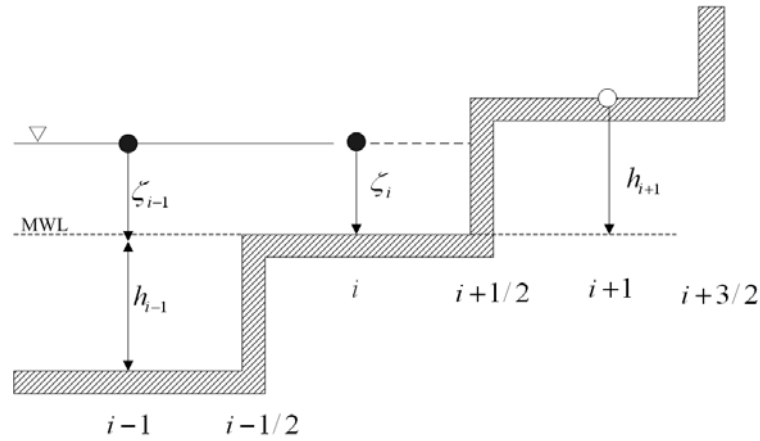


圖 2.6 移動邊界示意圖(a)

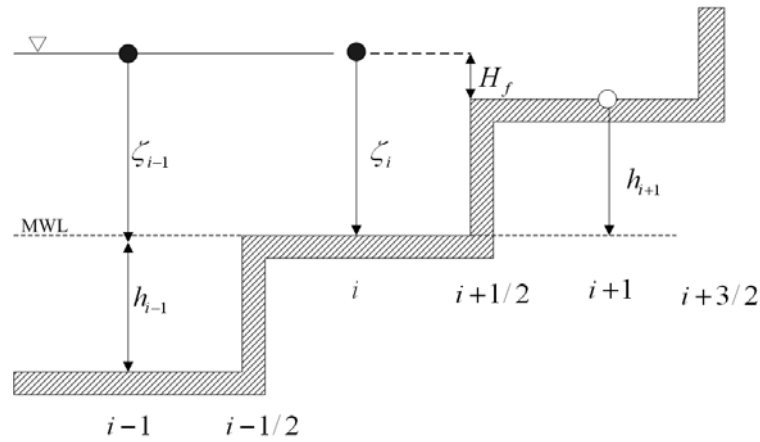


圖 2.7 移動邊界示意圖(b)

- (1) 若 $H_{i+1} \leq 0$ 且 $h_{i+1} + \zeta_i \leq 0$ ，則海岸線保持不動，流量 $P_{i+1/2}$ 亦為零。
- (2) 若 $H_{i+1} \leq 0$ 且 $h_{i+1} + \zeta_i > 0$ ，則海岸線移往 $i+1$ 和 $i+2$ 之間，流量 $P_{i+1/2} > 0$ 可能為非零值，但 $P_{i+3/2}$ 仍為零，溢淹之深度 H_f 為 $h_{i+1} + \zeta_i$ 和 $h_{i+1} + \zeta_{i+1}$ 二者之較大者。
- (3) 若 $H_{i+1} > 0$ ，則海岸線移至 $i+1$ 和 $i+2$ 之間，流量 $P_{i+1/2} > 0$ 可能為非零值，但 $P_{i+3/2}$ 仍為零，溢淹深度 H_f 為 $h_{i+1} + \zeta_i$ 和 $h_{i+1} + \zeta_{i+1}$ 二者之較大者。

以上海岸線的移動過程中，不僅能滿足質量守衡，在移動邊界之處理亦能得到合理的結果。 H 在模式內是兩個網格之平均值，一般出現在

海陸地形交界處，在多起模擬案例中，目前尚未遇到剛好等於 0 的情形。為避免模式產生計算誤差，可考慮在模式加入條件式，設定 $H = 0$ 時，給予一極小值。

本模式在上下左右四側的邊界設定皆為幅射邊界條件，波浪傳遞至此處時，必須予以適當的計算處理，以消除波浪在此邊界產生之反射現象。計算過程中，假設網格邊界上之水流方向，令流出計算區域時之水位為負值，代表下降；流入計算區域時之水位為正值，代表上升，根據此方法來控制平衡網格邊界上之水位流量，順利解決此開放邊界上的干擾現象。

2.4.2 海嘯數值模擬與巢狀網格

海嘯在大洋的波長尺度較大，其模擬可容許使用較粗的網格；因此如果模式計算的區域相當大，通常會將網格數減少，網格間距加大，以節省模式的運算時間。到了近海，水深變淺，海嘯的波長尺度下降，其模擬必須使用較細的網格。故一般在大洋使用較粗的網格，到近海增加網格數、網格間格縮小，到近岸再用更細的網格；如此一層套疊一層，近似鳥巢般的網格配置，稱為巢狀網格(nested grid)。在計算及運作上則是在模式內設定好巢狀網格，模式會將第一層網格的水位帶進第二層計算以此類推，而巢狀網格可以滿足大小區域之需求，在遠洋區域及近岸區域選用不同的網格大小進行海嘯的傳播模擬，藉此細部描述海嘯於小區域之溯上計算，也提高海嘯模式的效率。以下以圖2.8為例說明，模擬海嘯在大洋中傳遞時所使用的大網格，共包括了第一與第二區域，且第二區域的網格是在第一區域的網格之中。由於第一區域計算範圍大，其中考慮了地球曲面效應及科氏力造成的偏轉效應，因此在此區域所使用之座標系統為球面座標系統，而模式的計算是依據球面座標之線性淺水方程組(2.4式至2.6式)。第二區域使用的網格系統則改為直角座標系統，使用直角座標之線性淺水方程組(2.12至2.14式)。然而，當模擬海嘯於近岸第三與第四區域溯上時，則必須考慮到近岸的非線性效應與海底底部摩擦項的影響，模式的計算改為使用非線性淺水方

程組(2.1至2.3式)。上述處理過程可分別滿足海嘯在大洋中傳遞，以及在近岸地區溯上的兩種需求。

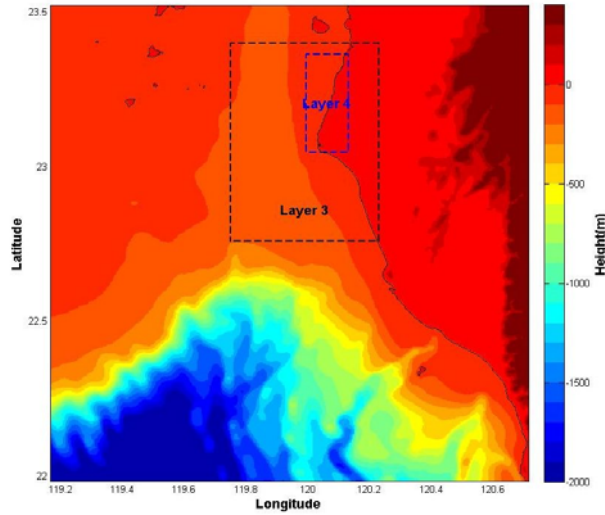


圖2.8 巢狀網格示意圖

模式的顯式數值積分必須滿足CFL(Courant, Friedrich, Levy)穩定條件，即物理速度小於等於數值訊號的傳播速度；對二維海嘯模式，此條件可表示為

$$\Delta t \leq \frac{\sqrt{2}}{c} \Delta x = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{gh_{\max}}} \Delta x \quad (2.16)$$

其中 Δt 為時間步長(time step)， Δx 為網格間距， $h_{\max}$ 為各計算網格中最大水深值。由以上可知數值積分之最大容許時間步長隨網格間距而改變，最細的網格模擬最耗時。

本研究以2004年南亞海嘯作為進行模擬，其地震矩規模(Mw)為9.0，目的為驗證模式的可用性。由於蘇門達臘地震源區的海底地震板塊交界處以接近南北向的方式綿延一千多公里左右，因此模擬計算時，模式上共分成三段海底斷層(如表2.3所示)的方式來表示震源區域的海底斷層錯動。印度洋之地形資料來源為NOAA，如圖2.9、2.10所示。

模式中最重要之參數為斷層參數，本研究採用之參數如表2.3所列，表2.3參考Wang and Liu(2006)所使用的參數，圖2.10(a)為代入地震參數所得的海嘯初始水位圖，模式模擬的海嘯在時間第2、3、4和5小時的水位傳播如圖2.10(b)，並與馬爾地夫潮位站比對，與實測資料相比相當符合。如圖2.11所示。

表2.3 本研究所使用之斷層參數

Source parameters	Fault Plane 1	Fault Plane 2	Fault Plane 3
Fault depth	5 km	5 km	5 km
Length of fault plane	200 km	670 km	300 km
Width of fault plane	150 km	150 km	150 km
Strike/Dip/ Slip	300°/13°/90°	345°/13°/90°	365°/13°/90°
Dislocation	15 m	15 m	15 m

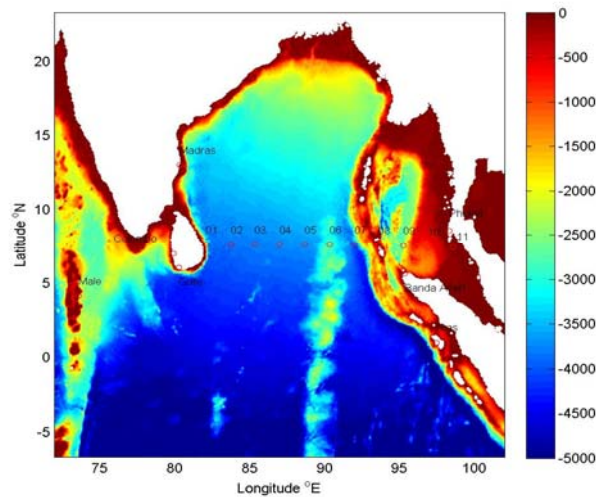


圖2.9 模式計算區域水深地形圖

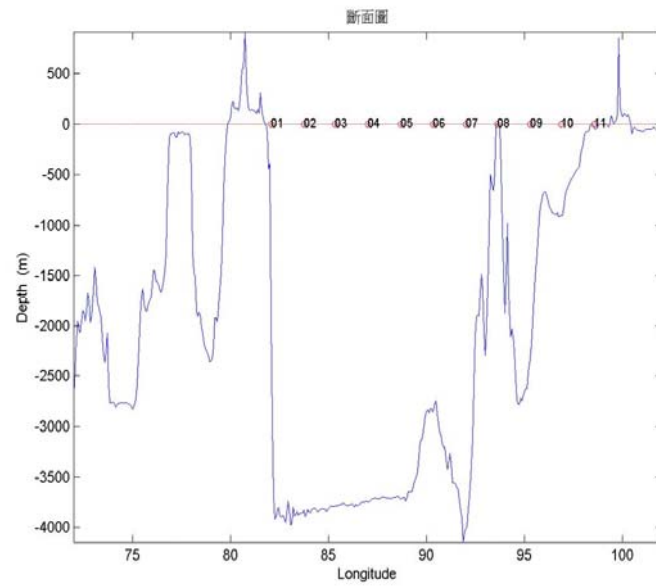


圖2.10 模式計算區域水深地形剖面圖

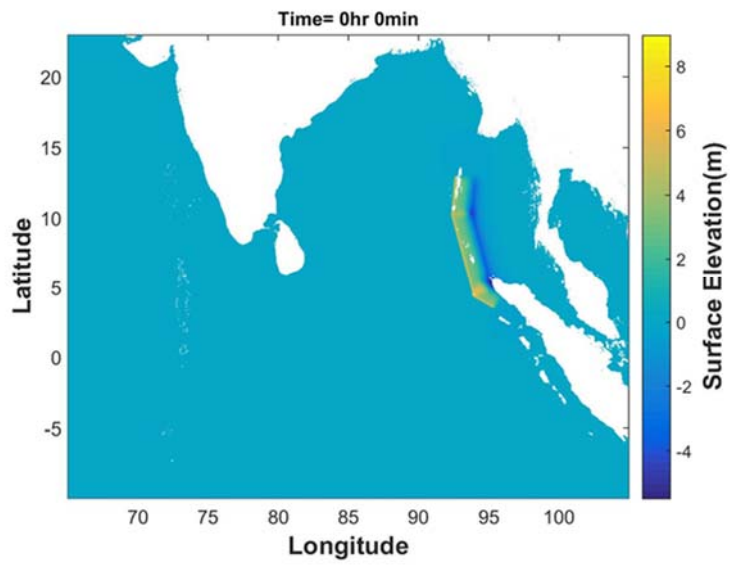


圖2.10(a) 模式代入表2.3的地震參數所得的海嘯初始水位

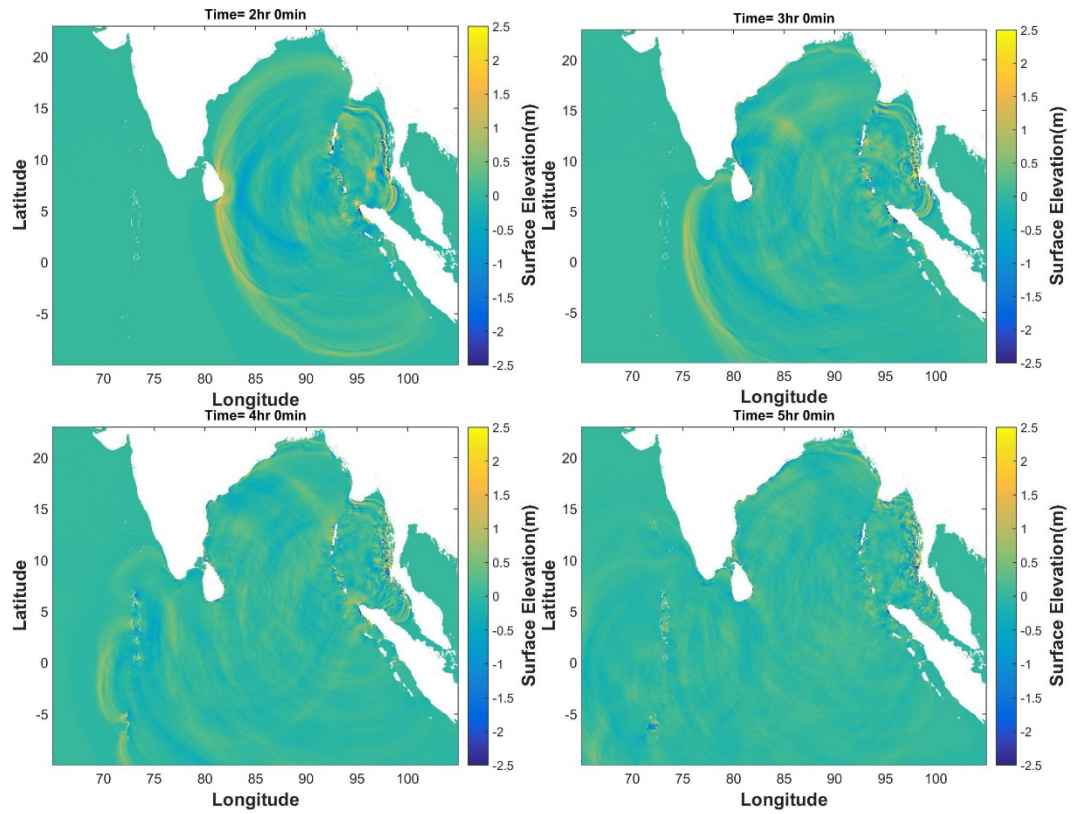


圖 2.10(b) 模式模擬的海嘯在時間第 2、3、4 和 5 小時的水位傳播。

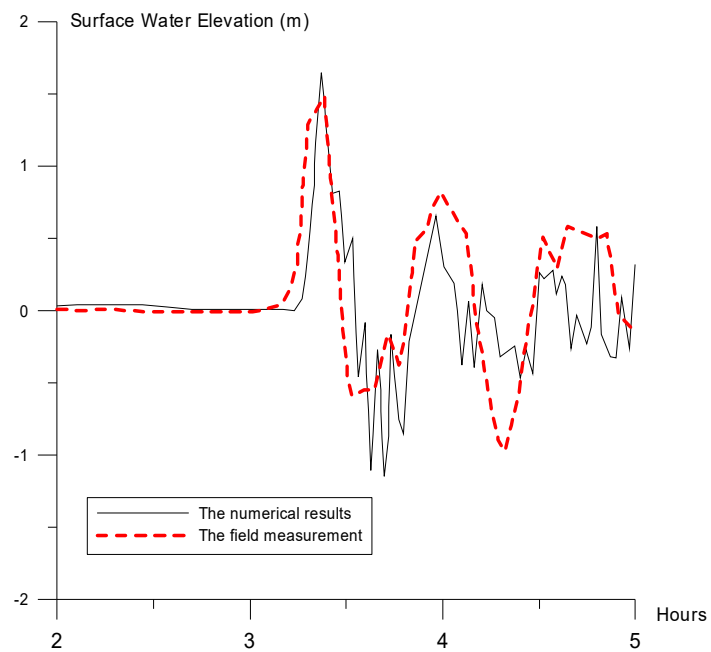


圖2.11 與馬爾地夫水位之比對

2.5 地震資料來源與擷取

延伸先前計畫所建構之海嘯波高資料庫，其構想及初始概念，即是尋找一個方法能提高海嘯計算之效率，在遠/近域海嘯發生後，能夠快速掌握可能之最大波高以及到達時間，提供給各港務(分)公司作為後續應變之作為之參考，並將各個港口之資料庫整合在單一操作界面之下，以方便使用者使用，本研究應用地理資訊系統整合溢淹潛勢圖，使能在 Google Earth 讀取，標註主要道路、醫院、學校等重要地點供防災應變之用，其預警系統主要流程如圖 2.12 所示。本節將逐一介紹系統之建置方式。

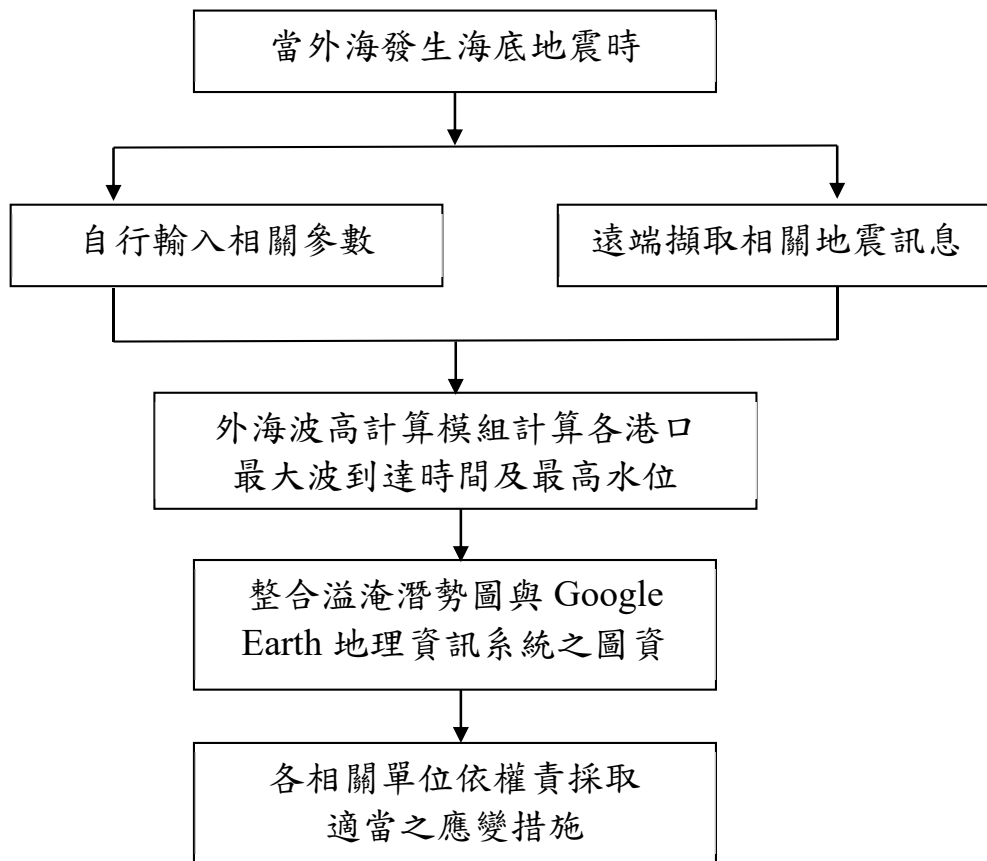


圖2.12 海嘯速報系統之規劃圖

大多數的海嘯成因起源於海底地震，所以海嘯初始水位主要是計算斷層錯動推動海水面的升降；而斷層模式所需之參數均來自於地震

資料，故本小節將說明地震資料來源及擷取方式。

本計畫地震資料來源採用 [United States Geological Survey](http://www.usgs.gov/)(USGS)-National Earthquake Information Center(NEIC)中所記錄地震資料，地震紀錄期間為自 1973 至 2013 年，搜尋範圍為整個太平洋區域，如圖 2.13 所示。地震紀錄採用下限為 4.5，地形資料則採用 NOAA-ETOPO1 之數值資料。



圖2.13 美國USGS資料庫

USGS-NEIC 資料庫不同於 Harvard-CMT，在 NEIC 資料庫中含有 M_W 、 M_B 、 M_S ...等不同地震規模的測值，可透過經驗式的轉換來彌補有些地震資料不足的情形。地震規模(earthquake magnitude)和地震震度(earthquake intensity)之表示略有不同。地震震度(earthquake intensity)是在地震儀發明之前，用來表示地震強度的指標。震度是指在發生地震時，人們所感受到震動大小的程度或者是物體受到地震震動所遭到的破壞程度，距離地震震央愈接近，其震度大小就愈大，破壞力也愈強；世界各國在使用地震強度分級上，會因環境、背景的差異，所訂定的標準也會不同；現今地震儀器已經能描述地震的加速度，所以震度亦可由加速度值來劃分。

USGS-NEIC 之地震資料庫範圍為全球，但其資料擷取約在地震發

生後約 1 小時才可遠端擷取其參數，本計畫採用自動擷取方式擷取即時之資料，當有地震資料時，系統可自動擷取即時資料進行後續預報作業。對於震央發生在臺灣周邊海域恐有不及，因此在臺灣區附近(東經 119 度~123 度，北緯 21 度~26 度)採用中央氣象局之地震即時資料(<http://cwbsnbb.cwb.gov.tw/CMT/quick/quick.html>，如圖 2.14 所示)，約在地震後 5 分鐘即可獲得相關訊息，而其他區域仍使用 NEIC 之資料。

擷取的方式為使用定時程式及 Matlab 裡面內附的 Java 套件，透過 http 的方式取得 USGS(或 F-net)的網頁資訊加以分析取得地震訊息，包括發生時間，震央以及震度等參數，如果發生時間較新且震央範圍在計畫範圍之內，便將該參數傳遞給系統做水位預報。其抓取後之格式，如圖 2.15 所示。

Quick CMT Reports:

[Recent Qcmt Distribution In Taiwan](#)

[Subscribe Quick CMT](#)

Date	Time(UT)	Lat.	Lon.	Dep.	Mw	Strike	Dip	Slip	Misfit	CMT	Detail
2013-07-24	15:32:15.08	23.91	121.53	9.32 13	4.40	215 57	34 58	71 102	0.405		Trace Map Image Solution
2013-07-24	14:47:5.76	23.91	121.51	9.63 15	4.30	217 50	31 60	79 97	0.402		Trace Map Image Solution
2013-07-18	0:28:23.26	22.97	120.91	4.29 13	3.30	334 136	45 46	-77 -103	0.575		Trace Map Image Solution
2013-07-16	10:11:35.00	24.28	121.50	4.92 12	4.70	335 146	40 50	-83 -96	0.490		Trace Map Image Solution

圖2.14 中央氣象局網站之即時地震資料

```

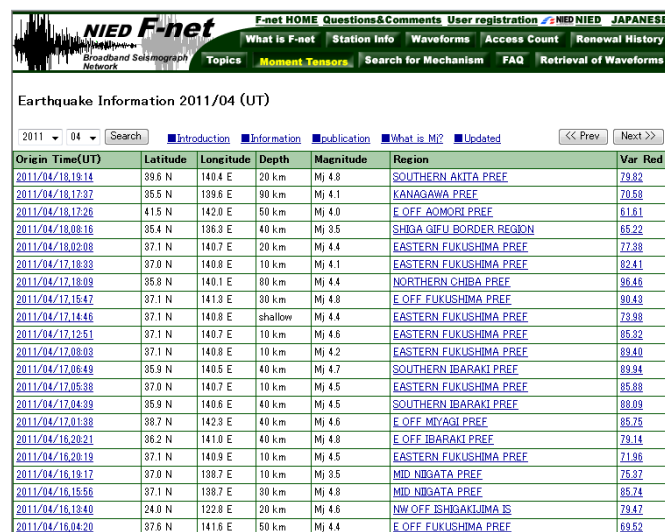
http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/neic_b000d65a_fmt.php
yr | mon | day | hr | min | sec | mw | lon | lat | dep | strike/dip/slip strike/dip/slip
2012 10 15 17 52 2.160000e+001 5.5 -90.866 14.147 68 253/9/37 127/85/97

```

圖2.15 遠端擷取USGS地震資料格式

目前計畫完成之即時地震擷取系統之資料來源為 USGS、CWB，並增設日本防災科學技術研究所(National Research Institute for Earth

Science and Disaster Prevention NIED) 所提供之 F-net (Full Range Seismograph Network of Japan)，其範圍在東經 120 度到 156 度，北緯 20 度到 49 度，以供地震資料參考(圖 2.16)，三個主要之地震資訊來源及提供範圍如表 2.3 所示。圖 2.17 為目前完成之即時地震擷取系統介面。在此要特別說明的是，實務上在擷取地震資料時會設定地震矩規模的下限，超過此一下限之資料，系統才會擷取；此舉是考量到地震必須有相當之強度才有發生海嘯之可能，此設定可避免過多之地震訊息所造成的誤解。而在地震初期或是通訊中斷而資訊不明時，作為系統之參考輸入條件；實務上，地震之震央無法事先預知，會造成海嘯初始水位預測之困難，也影響系統預估水位之準確度；因此，在此一情況下，採用附錄三依不同地震矩規模輸入建議之地震參數作為替代條件，雖與實際狀況有所差異，但不失為一可行之方法。



Origin Time(UT)	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude	Region	Var Red
2011/04/18.19.14	39.6 N	140.4 E	20 km	Mj 4.8	SOUTHERN AKITA PREF	79.82
2011/04/18.17.37	35.5 N	139.6 E	90 km	Mj 4.1	KANAGAWA PREF	70.58
2011/04/18.17.26	41.5 N	142.0 E	50 km	Mj 4.0	E OFF AOMORI PREF	61.61
2011/04/18.08.16	35.4 N	138.3 E	40 km	Mj 3.5	SHIGA Gifu BORDER REGION	65.22
2011/04/18.02.08	37.1 N	140.7 E	20 km	Mj 4.4	EASTERN FUKUSHIMA PREF	77.88
2011/04/17.18.33	37.0 N	140.8 E	10 km	Mj 4.1	EASTERN FUKUSHIMA PREF	82.41
2011/04/17.18.09	35.8 N	140.1 E	80 km	Mj 4.4	NORTHERN CHIBA PREF	86.46
2011/04/17.16.47	37.1 N	141.3 E	30 km	Mj 4.8	E OFF FUKUSHIMA PREF	90.43
2011/04/17.14.46	37.1 N	140.8 E	shallow	Mj 4.4	EASTERN FUKUSHIMA PREF	73.98
2011/04/17.12.51	37.1 N	140.7 E	10 km	Mj 4.6	EASTERN FUKUSHIMA PREF	85.32
2011/04/17.08.03	37.1 N	140.8 E	10 km	Mj 4.2	EASTERN FUKUSHIMA PREF	89.40
2011/04/17.06.49	35.9 N	140.5 E	40 km	Mj 4.7	SOUTHERN IBARAKI PREF	89.94
2011/04/17.05.38	37.0 N	140.7 E	10 km	Mj 4.5	EASTERN FUKUSHIMA PREF	85.88
2011/04/17.04.39	35.9 N	140.6 E	40 km	Mj 4.5	SOUTHERN IBARAKI PREF	88.09
2011/04/17.01.38	38.7 N	142.3 E	40 km	Mj 4.6	E OFF MIYAGI PREF	85.75
2011/04/16.28.21	36.2 N	141.0 E	40 km	Mj 4.8	E OFF IBARAKI PREF	79.14
2011/04/16.26.19	37.1 N	140.9 E	10 km	Mj 4.5	EASTERN FUKUSHIMA PREF	71.98
2011/04/16.19.17	37.0 N	138.7 E	10 km	Mj 3.5	MID NIIGATA PREF	75.37
2011/04/16.15.56	37.1 N	138.7 E	30 km	Mj 4.8	MID NIIGATA PREF	85.74
2011/04/16.13.40	24.0 N	122.8 E	20 km	Mj 4.8	NW OFF ISHIGAKI JMA IS	79.47
2011/04/16.04.20	37.6 N	141.6 E	50 km	Mj 4.4	E OFF FUKUSHIMA PREF	89.52

圖2.16 日本防災科學技術研究所F-net即時地震資料

表2.3 本系統主要地震資料之網址及對應之資料提供範圍

	機構名稱	網址及資料提供範圍
美國	地質調查所(USGS)	http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/fm/ 資料提供範圍：全球
臺灣	中央氣象局(CWB)	http://cwbsnbb.cwb.gov.tw/ 資料提供範圍：東經 119~123 度，北緯 21~26 度
日本	防災科學技術研究所(NIED)	http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=en 資料提供範圍：東經 120~156 度，北緯 20~49 度



圖 2.17 即時地震擷取系統介面

第三章 溢淹潛勢圖整合地理資訊統之應用

3.1 溢淹潛勢圖

海嘯溢淹模擬最佳之方式就是確切得知發生一已知之震源或是一組斷層參數，得知初始水位高度後據以模擬海嘯之溢淹行為及特性。但實務上，上述之方法有其困難度：

- (1) 首先是震源位址，目前並無法準測預測地震之發生，故也就無法得知震央；其次，斷層參數之來源也極其有限，除了少數較為引人注目之斷層(例如琉球海溝)有較為嚴密之地球科學探測資料外，其餘甚少有較為詳盡之參數資料；故在有限之條件下以實際海嘯波形進行海嘯溢淹模擬有其實務上之困難。
- (2) 另一方面，目前也無法確知各個可能震源點所能產生之最大地震矩規模及海嘯波之來向。

由以上兩點可知，在許多必要條件均缺乏之情況下進行海嘯於近岸地區之數值模擬是相當不便的，加以防災需求宜作較為保守之推估；因此，利用單一波形及情境模擬方式來進行溢淹模擬除了可獲得較為保守之結果外，更可匯集成一資料庫，在實際海嘯事件發生時，得知外海波高後，即可得知對應可能之海嘯資訊。採以 COMCOT 模式模擬孤立波入射溢淹區域，紀錄模擬期間內每個空間點所發生的最大水位高度來當作溢淹高度。其溢淹高度為進水水位高度減到原地形高度。

本研究使用 COMCOT 溢淹模式，以不同波高之高斯波模擬海嘯波垂直岸線入射(0.5m、1m、2m、3m、4m、6m、10m)；海嘯波為長週期之重力波，一般週期約為 15~30 分鐘，其所攜帶之水量遠大於季風所引起之短週期風浪，而孤立波之高度及寬度有一固定關係，故本研究所稱之高斯波為說明其週期與波高的不同而定義，採用之週期為約 20 分鐘，以花蓮港為例，海嘯波模擬採用之週期為約 20 分鐘，圖 3.1 為波高 4m 週期約 20 分鐘之高斯波，以此波形在模式地形邊界上入射，模擬此情境下陸地之溢淹狀況。而計劃中所設定之海嘯潛勢波源區為整個環太平洋地震帶。進而評估臺北、基隆、花

蓮、蘇澳等 4 個商港港域。

本系統目前於港灣技術研究中心及中山大學均已架設完成，並提供即時運算，除定期軟硬體維護及更新外，其他時間均保持 24 小時全天候作業狀態；並設定地震矩規模之下限值，高於此一下限值之地震發生時，即時擷取環太平洋地震區之地震訊息進行後續計算作業，為使該系統適合一般民眾使用及查詢，本系統業已併入港灣技術研究中心之港灣環境資訊網並進行全自動化作業；港灣環境資訊網為一網頁版，可以於網頁導入系統所輸出之 KML 檔，即可以透過 Google Earth 軟體查看溢淹資訊。

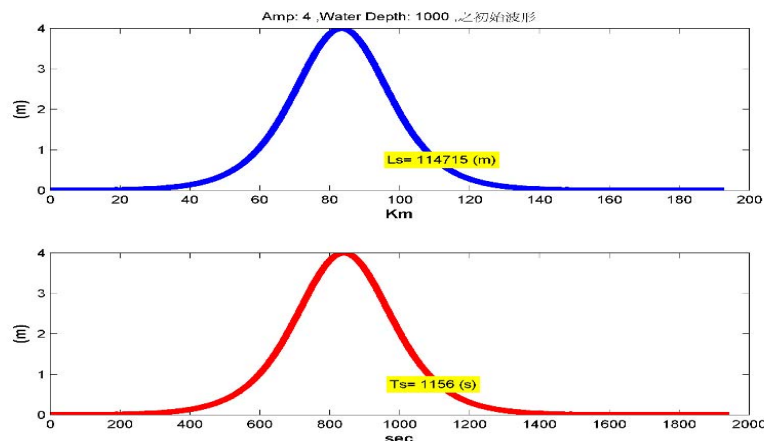


圖 3.1 週期 20 分鐘波高 4m 高斯波

海域地形主要是採用海科中心網格間距為 500 公尺之水深資料 (TaiDBMV6)，如圖 3.2；除了 TaiDBMV6 外，港區之水深亦採用港研中心所提供之船測資料加以校正。陸域地形資料是由內政部地政司所提供之 5m×5m 之 DSM (Digital Surface Model) 數值地形資料及 DEM (Digital Elevation Model) 數值地形資料，DSM 則指的是地表上所有地物，包含人工構造物或自然森林或人工作物覆蓋地面的高程，DEM 經由以人工或影像自動匹配的方式，在立體模型內量測出地表上足夠密度的離散高程點及用以描述地表特殊起伏形狀的地形特徵線（地形結構線、地形斷線）、特徵點（局部最高或最低點），然後以適當的運算法則將這些量測的數據，過濾量測誤差後內差計算出等間距的網格，以得到原始地表高程。其中平面坐標採內政部 1997 臺灣大地基準 (TWD97)，高程坐標採內政部 2001 臺灣高程基準

(TWVD2001)。即是定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境下，並採用基隆潮位站(基隆平均海水面)1957 年至 1991 年之潮汐資料化算而得，即為中潮系統。每一網格點是一組 E、N、H 三個坐標值，組成右旋坐標系的三個 X、Y、Z 坐標(如 250000 2670000 123.0，坐標之間以一空格隔開)；無法測製區及湖泊、水庫等水體區則以影像當時邊界線高度測製。無法測製區及水體區則依地形特徵資料檔格式加測並儲存記錄邊界線。海域水體部分以海岸線及圖幅邊界組成邊界線。陸域地形需轉成經緯度座標。5m×5m 數值地形資料之測繪在實務上實屬不易，雖然無法表示局部地區之建物構造特色與實際情況，但是此一解析度已可做為溢淹圖資之用，以花蓮港為例，圖 3.3 為花蓮港之陸域數值地形。由於兩者解析度不同，在無其他較為精細海底地形之來源時，將海域地形以內插之方式製作成與陸域地形資料相同解析度之數值地形。圖 3.4 為海陸域整合後之數值地形檔。並將港研中心所提供之港內實測地形資料整併至數值地形圖 3.5。各港均以此方法建構其模擬用之數值地形。本研究為考量 DSM 數值地形資料，於港區的貨櫃容易被誤判成建築，另以陸域地形資料是由內政部地政司所提供之 5m×5m 之 DEM 數值地形資料，DEM 地形對海嘯而言，由於無建物的阻攔，所以往內陸的溢淹距離長，亦即考慮溢淹範圍較嚴重的情況。

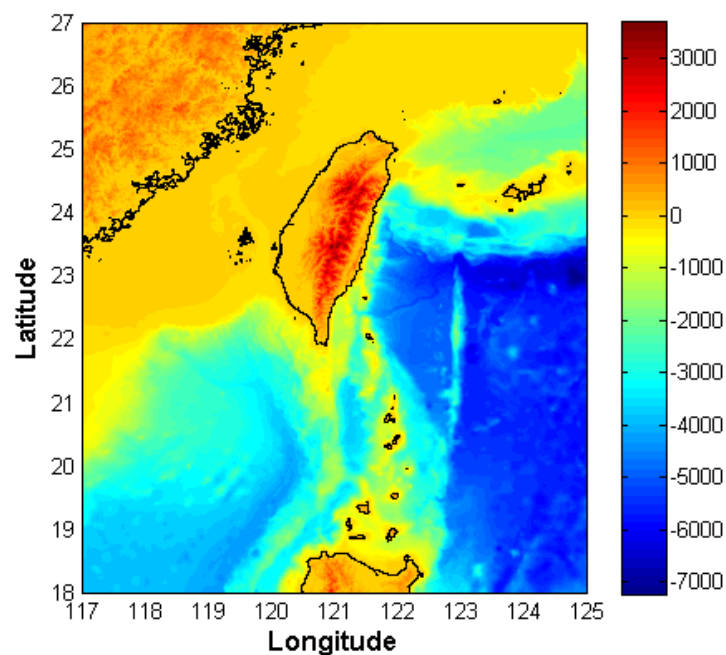


圖 3.2 臺灣 500m 解析度水深地形資料

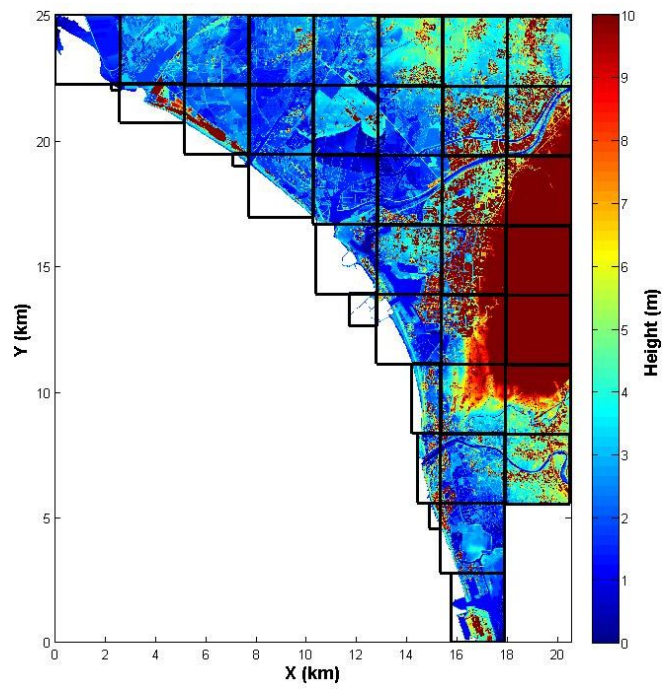


圖 3.3 安平港 5m 解析度數值地形檔

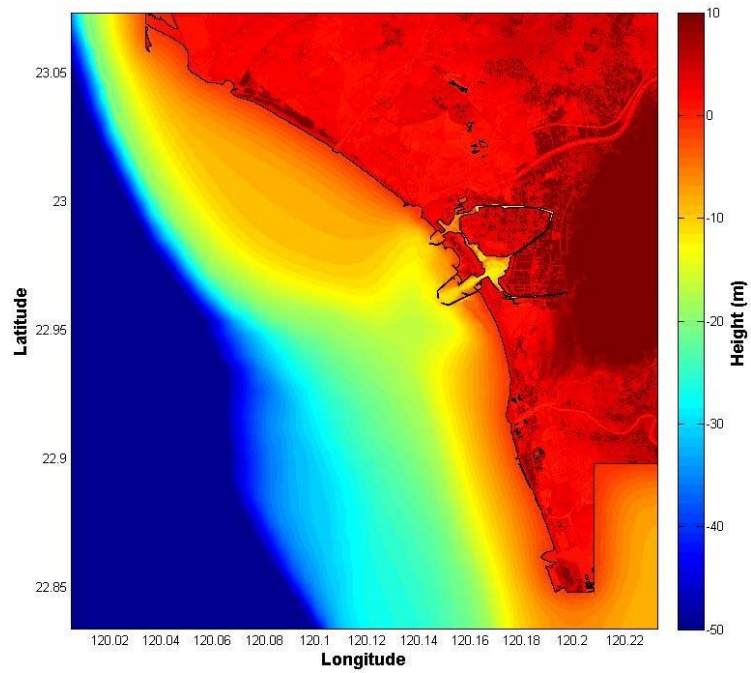


圖 3.4 安平港整合海陸域後之數值地形檔

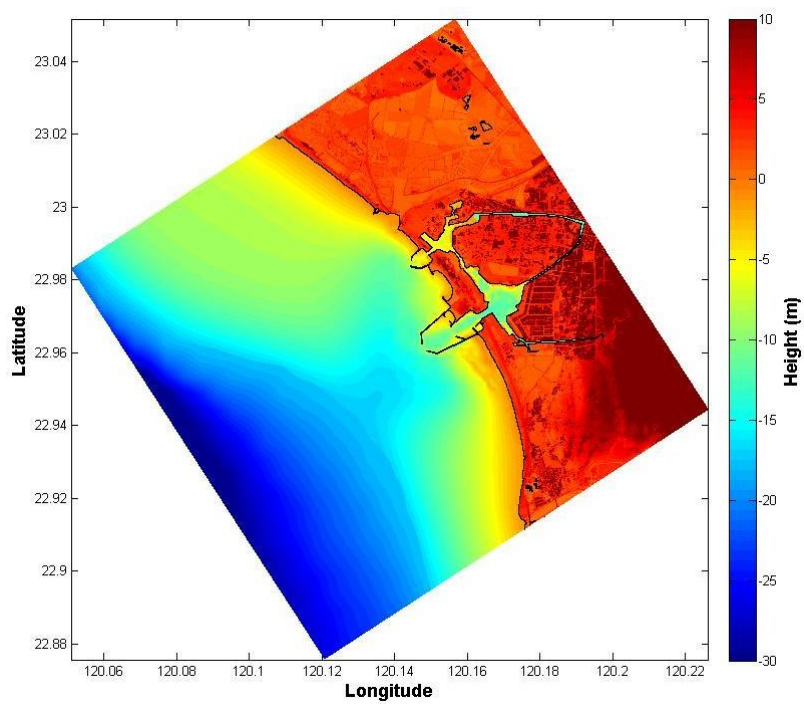
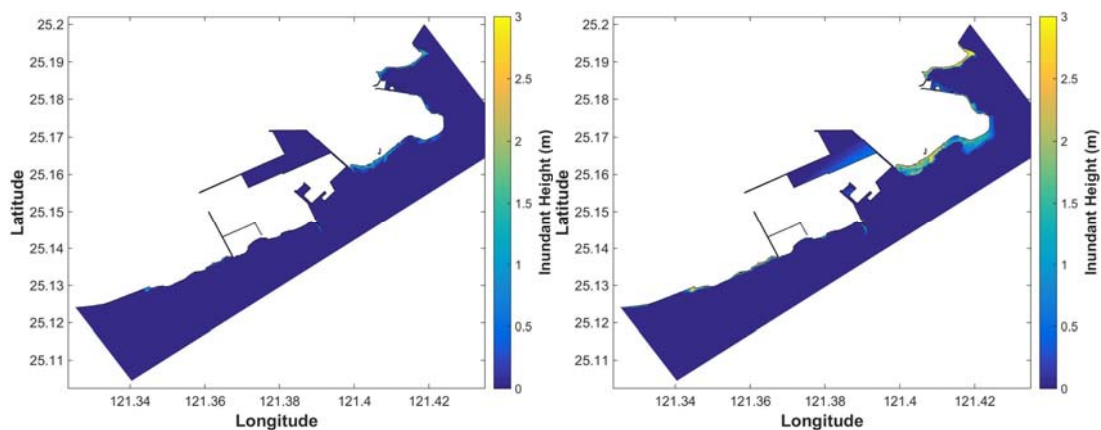


圖 3.5 安平港整併港內實際地形之數值地形檔

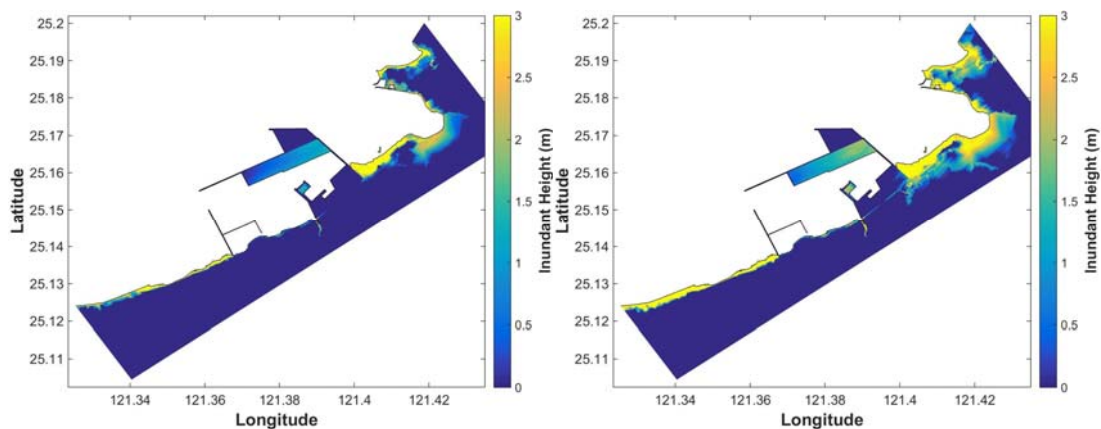
3.1.1 臺北港之模擬結果

圖 3.6(a)~(g)為臺北港在各種不同入射波高下之溢淹圖。在入射波高 0.5~10 公尺時之溢淹區域及溢淹高程分佈。



(a) 臺北:0.5 公尺

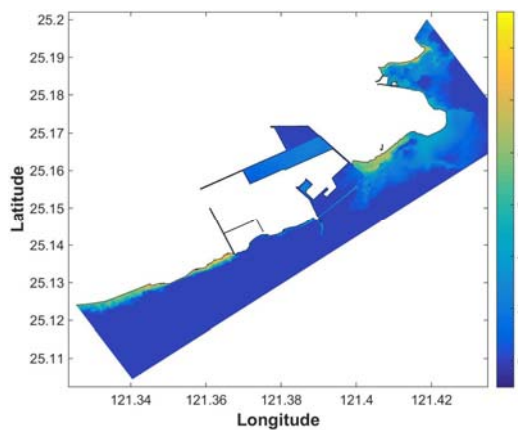
(b) 臺北:1 公尺



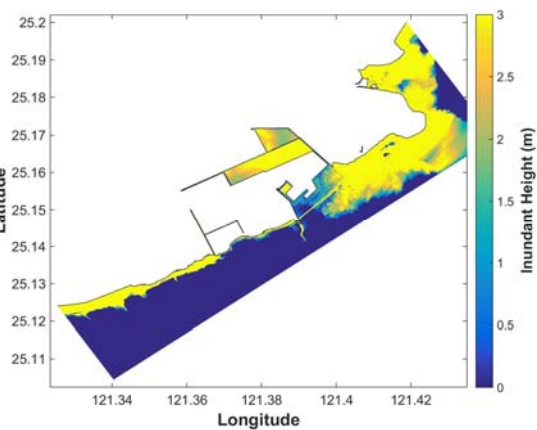
(c) 臺北:2 公尺

(d) 臺北:3 公尺

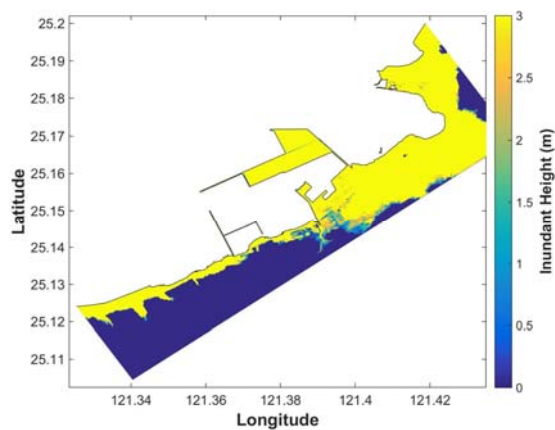
圖 3.6 臺北港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺



(e) 臺北:4 公尺



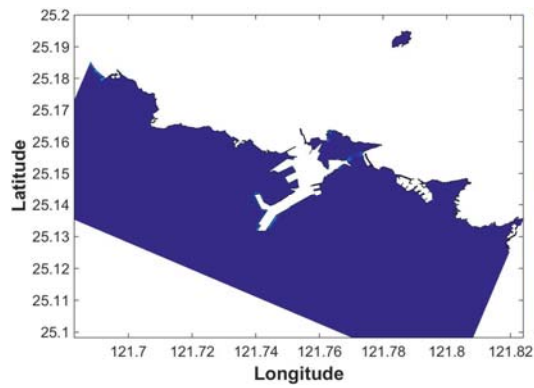
(f) 臺北:6 公尺



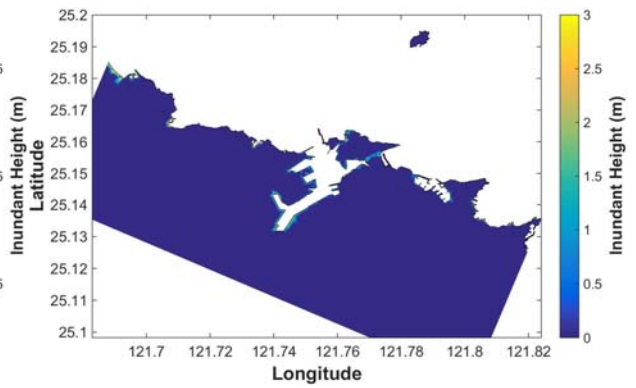
(g) 臺北:10 公尺

圖 3.6 臺北港之溢淹圖，入射波高： (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

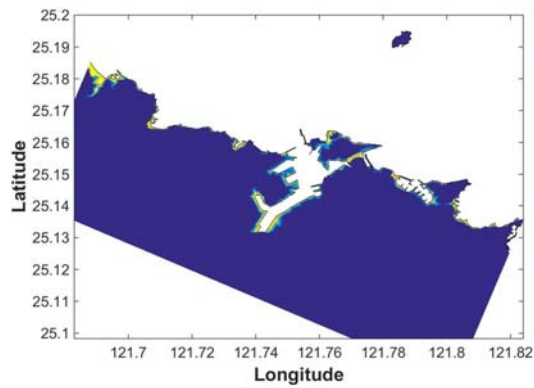
3.1.2 基隆港之模擬結果



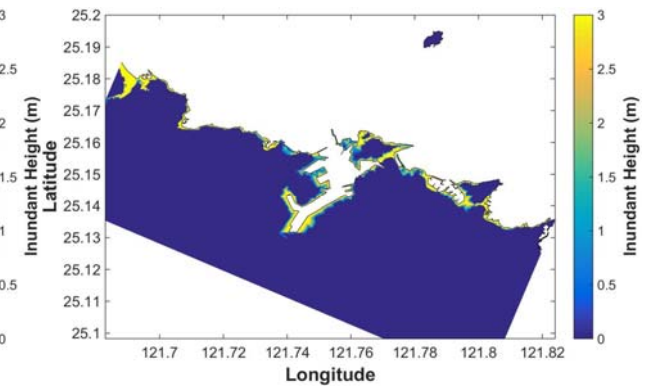
(a) 基隆:0.5 公尺



(b) 基隆:1 公尺

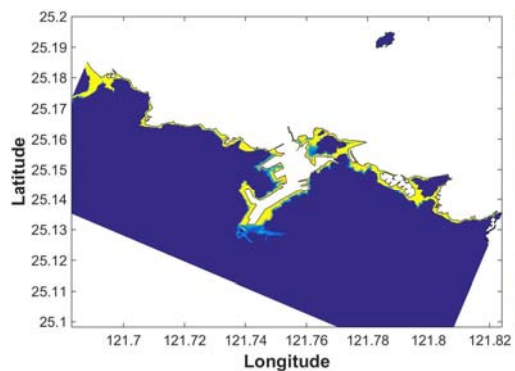


(c) 基隆:2 公尺

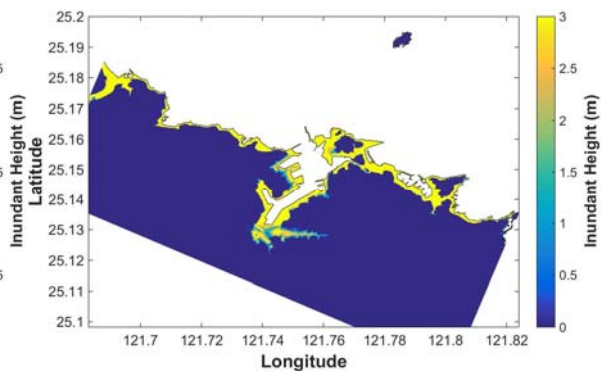


(d) 基隆:3 公尺

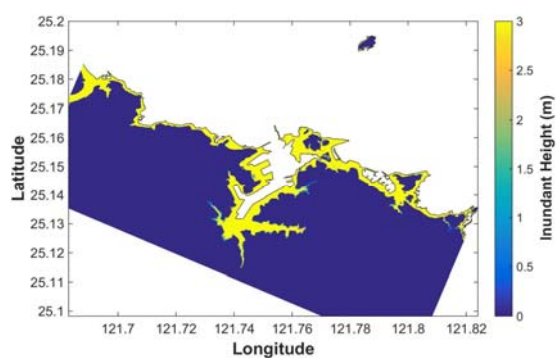
圖 3.7 基隆港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺



(e) 基隆:4 公尺



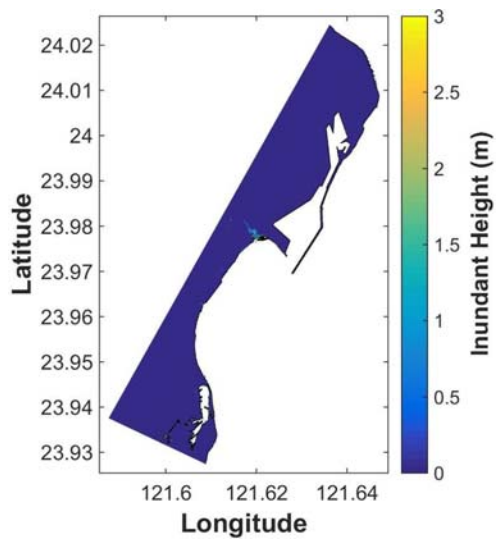
(f) 基隆:6 公尺



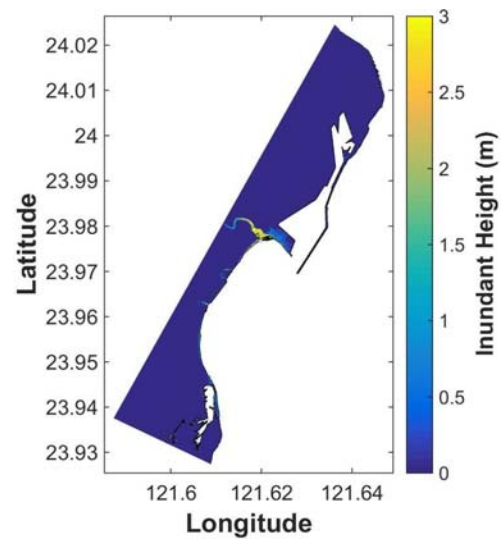
(g) 基隆:10 公尺

圖 3.7 基隆港之溢淹圖，入射波高： (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

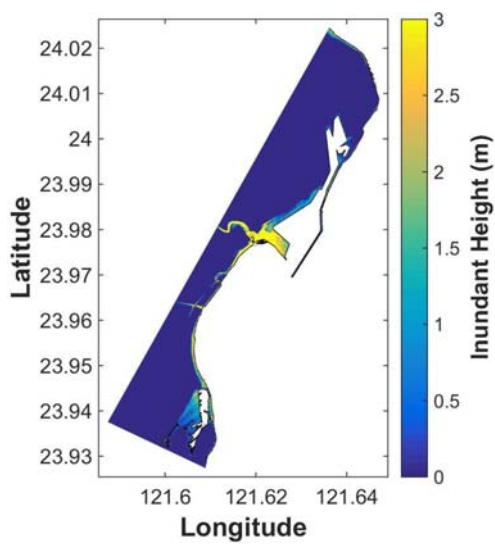
3.1.3 花蓮港之模擬結果



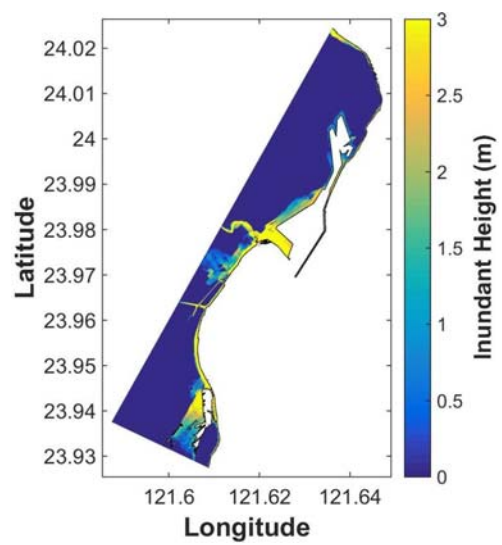
(a) 花蓮:0.5 公尺



(b) 花蓮:1 公尺

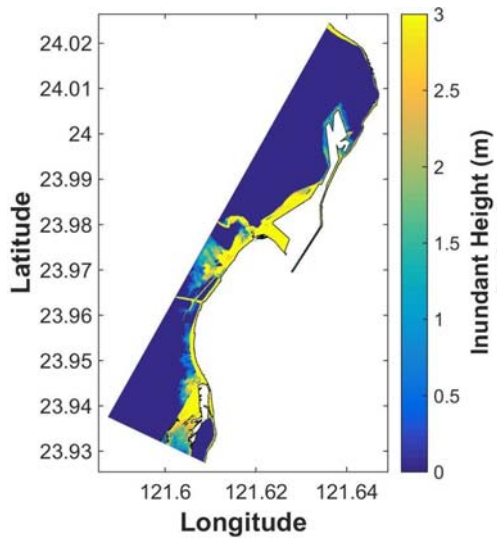


(c) 花蓮:2 公尺

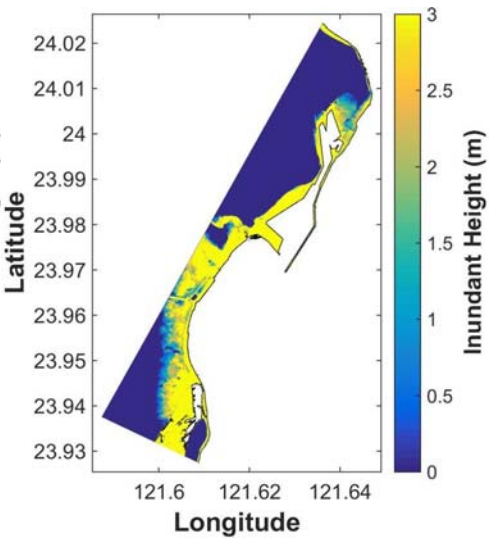


(d) 花蓮:3 公尺

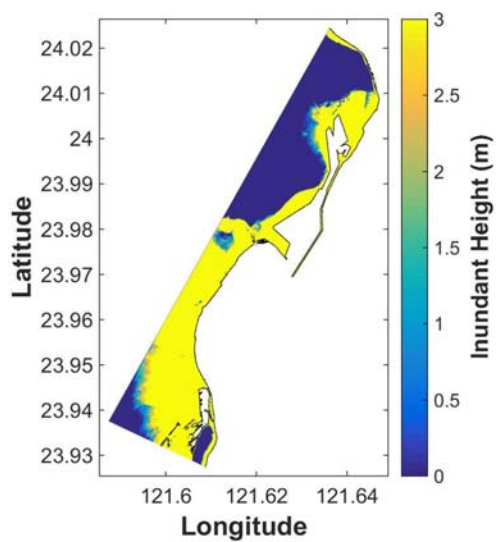
圖 3.8 花蓮港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺



(e) 花蓮:4 公尺



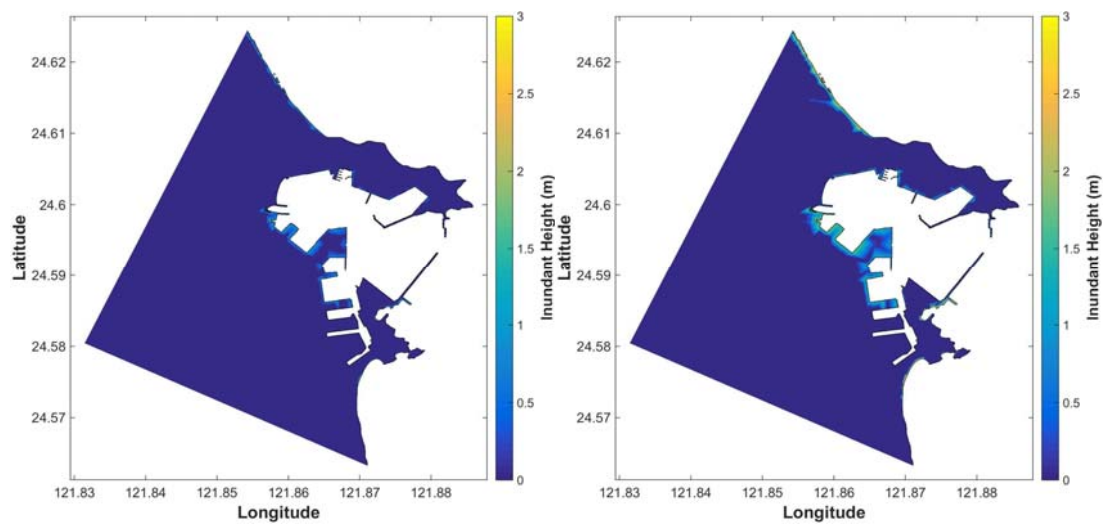
(f) 花蓮:6 公尺



(g) 花蓮:10 公尺

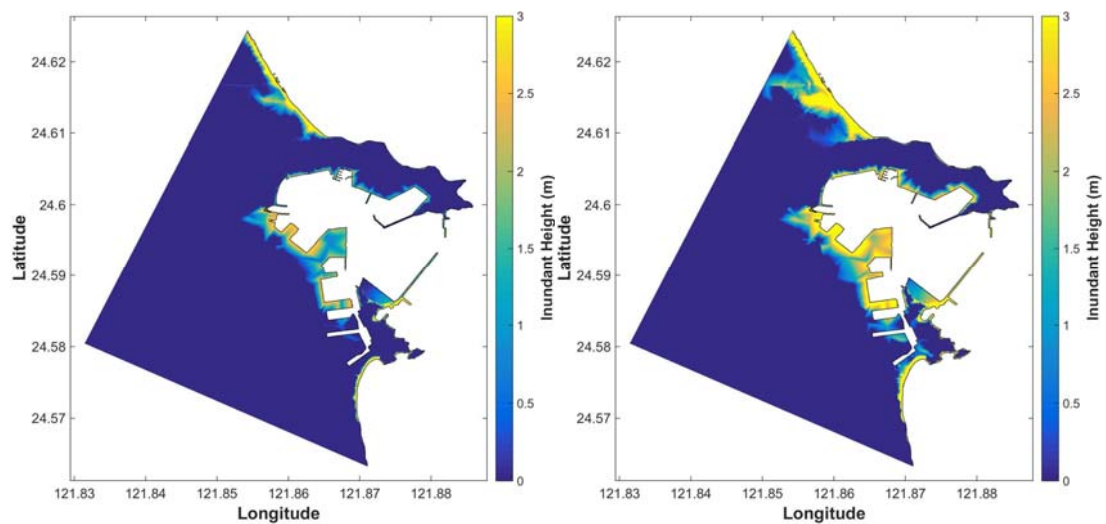
圖 3.8 花蓮港之溢淹圖，入射波高： (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

3.1.4 蘇澳港之模擬結果



(a) 蘇澳:0.5 公尺

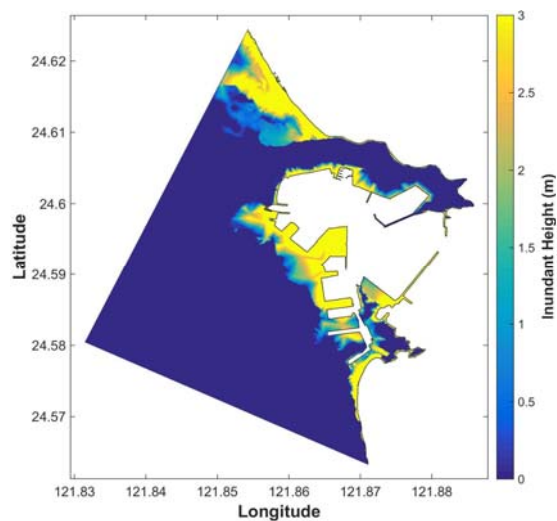
(b) 蘇澳:1 公尺



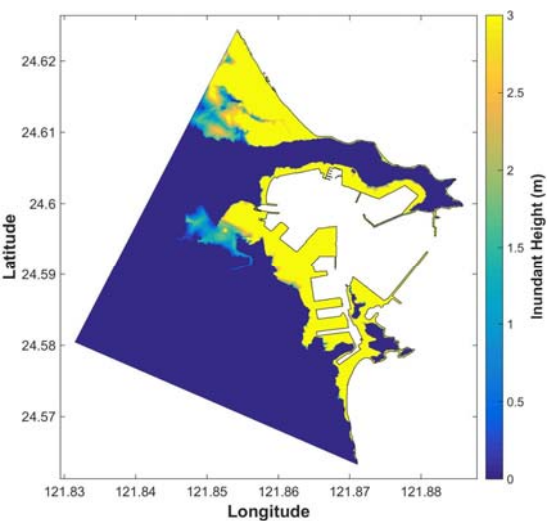
(c) 蘇澳:2 公尺

(d) 蘇澳:3 公尺

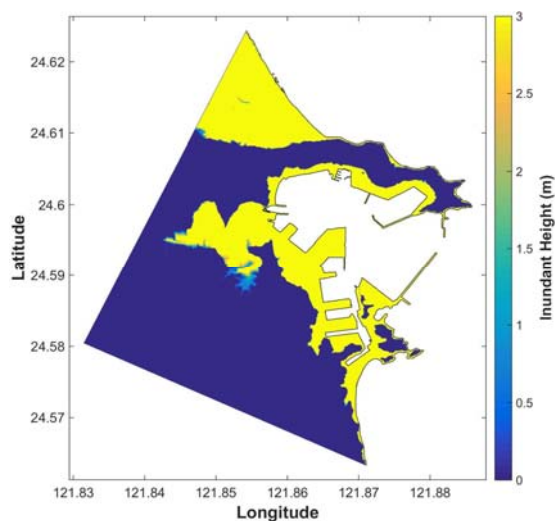
圖 3.9 蘇澳港之溢淹圖，入射波高：(a)0.5 公尺(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺



(e) 蘇澳:4 公尺



(f) 蘇澳:6 公尺



(g) 蘇澳:10 公尺

圖 3.9 蘇澳港之溢淹圖，入射波高： (e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

3.2 地理資訊系統

前期研究所建構之預報系統只提供外海波高，未能提供港內可能的受災狀況，故各港務分公司不知如何應變。本研究結合前節所呈現之視覺化之防災溢淹潛勢圖(Inundation Map) 並整合地理資訊系統之圖資一起展現，以建立 Google Earth 地理資訊系統圖資之視窗化操作介面，則不論一般民眾或是主管機關都能快速掌握港內受災狀況，大幅降低災害之威脅，也作為海嘯警報發布時各港務分公司之應變參考。

其方法將每一網格水位的高度已製做成溢淹的範圍並顯示水位高度，藉此將所計算出來的水位資料疊加原始的地形資料，並轉將其經緯度座標轉換成地理資訊系統座標，與地理資訊系統(GIS)相結合，配合各種圖層(圖 3.10)，依照每個溢淹潛勢圖的功能，以最一目了然的方式呈現。各地理資訊系統中尤其以 Google Earth 最方便經濟，系統使用者可直接於網路上下載使用應用軟體，同時可以免除建立基本圖層及數位資料之困擾，其強大之多圖層功能可應用於防災圖資之建立，做為溢淹潛勢圖的展示平臺，因此海嘯速報系統將可輸出 Google Earth 圖資地形用之 kmz 檔。

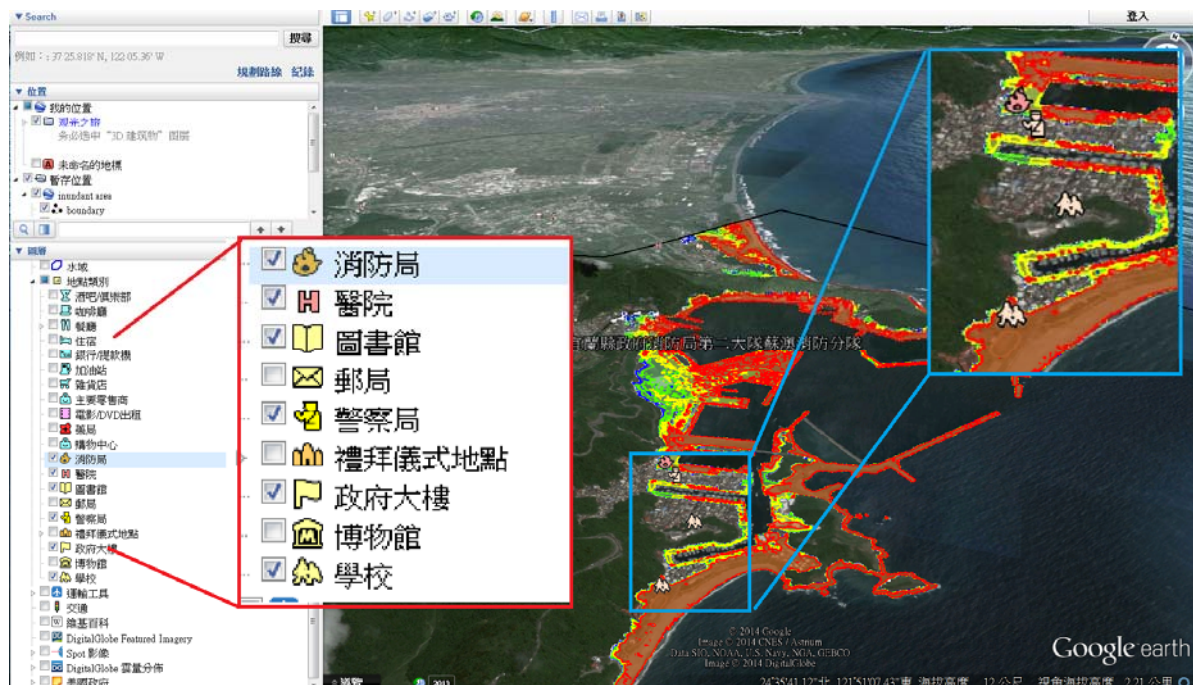


圖 3.10 Google Earth 圖層

因計畫提供的溢淹潛勢圖為入射波高範圍 0 到 10 公尺，間隔 0.1 公尺 1 張的溢淹潛勢圖，目的是搭配海嘯預警系統計算出的 8 個港外海的海嘯入射波高，因溢淹潛勢圖無法一一放進報告，以部分展示其成果如圖 3.11 至圖 3.14 分別為臺北、基隆、花蓮、蘇澳之 DSM 地形數值模擬結果，圖 3.15 至圖 3.18 分別為臺北、基隆、花蓮、蘇澳之 DEM 地形數值模擬結果。因系統可直接匯出 kmz 檔，則可以直接透過 Google Earth 軟體放大至局部位置，並彙整先前研究成果，海嘯查詢手冊及太平洋地區 126 個震源發生 MW7.0 以上的海源淺層地震 100 年的期望次數，以及其地震所造成 8 個港外海的最大波高表(如附錄一及附錄二)

3.2.1 臺北港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM)



圖 3.11 (a) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

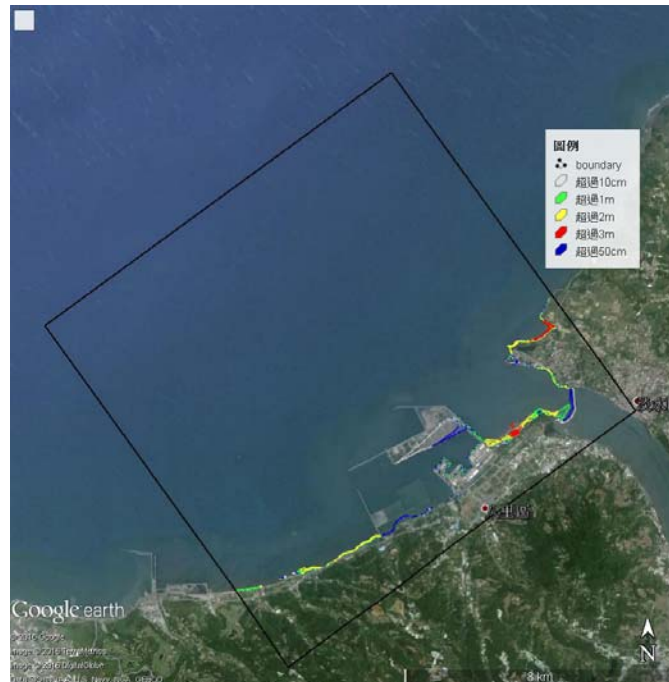


圖 3.11 (b) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

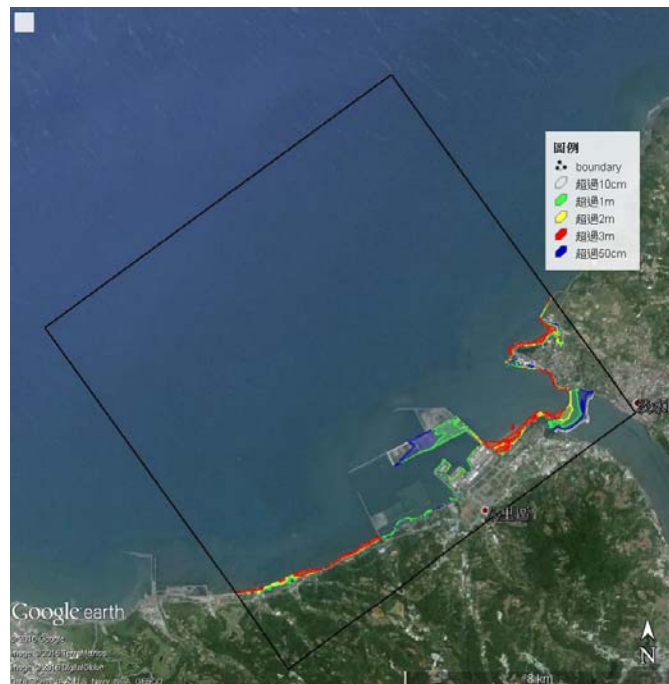


圖 3.11 (c) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

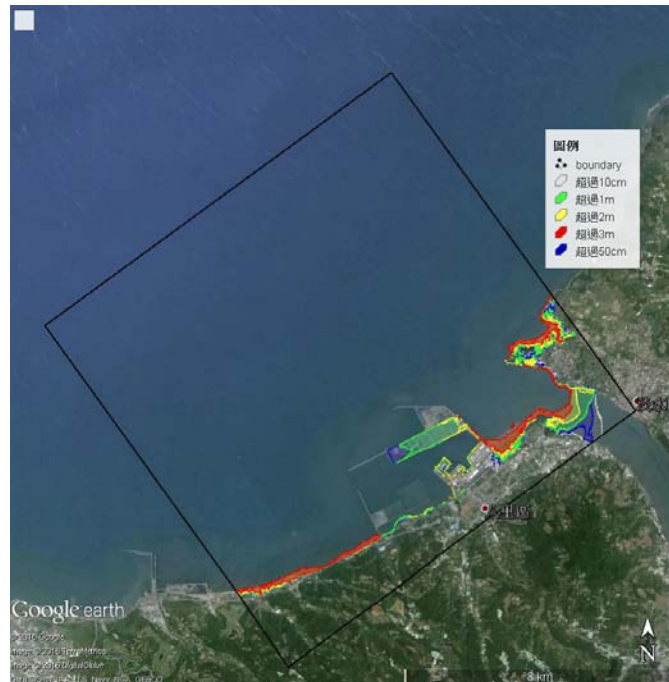


圖 3.11 (d) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

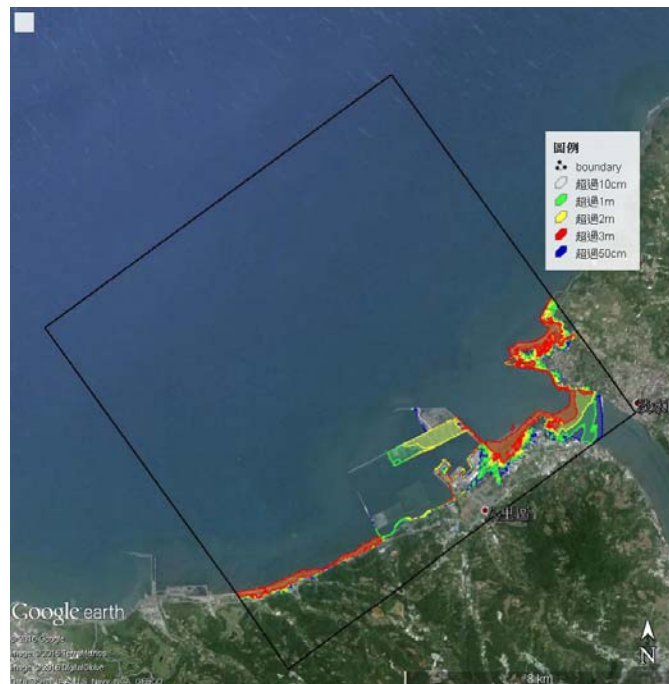


圖 3.11 (e) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

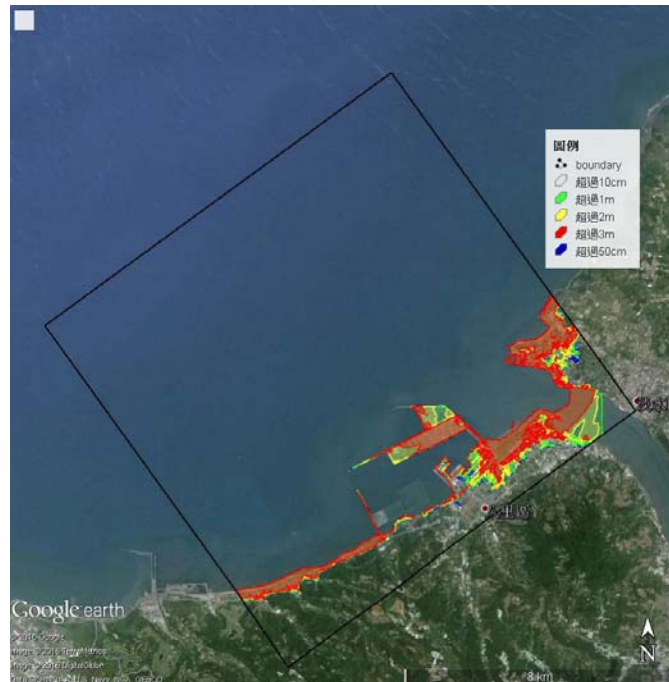


圖 3.11 (f) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

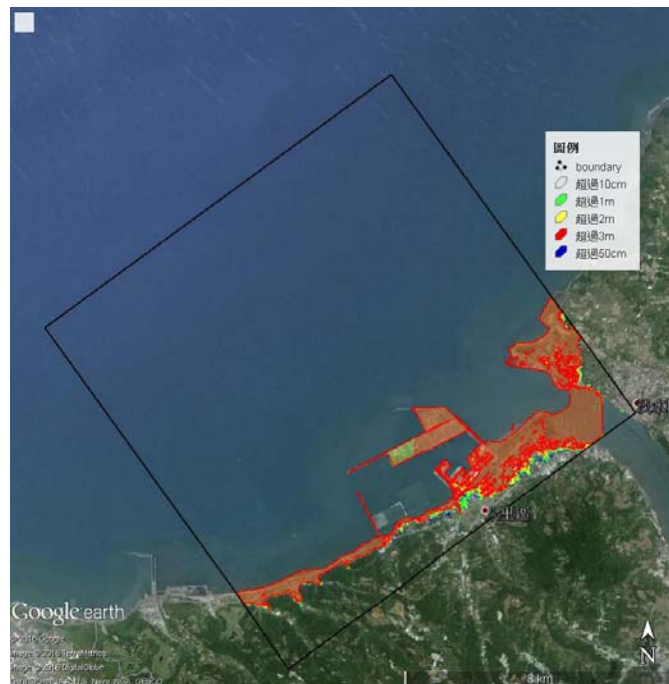


圖 3.11 (g) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 3.11 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：(a)0.5 公尺
(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

3.2.2 基隆港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM)



圖 3.12 (a) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

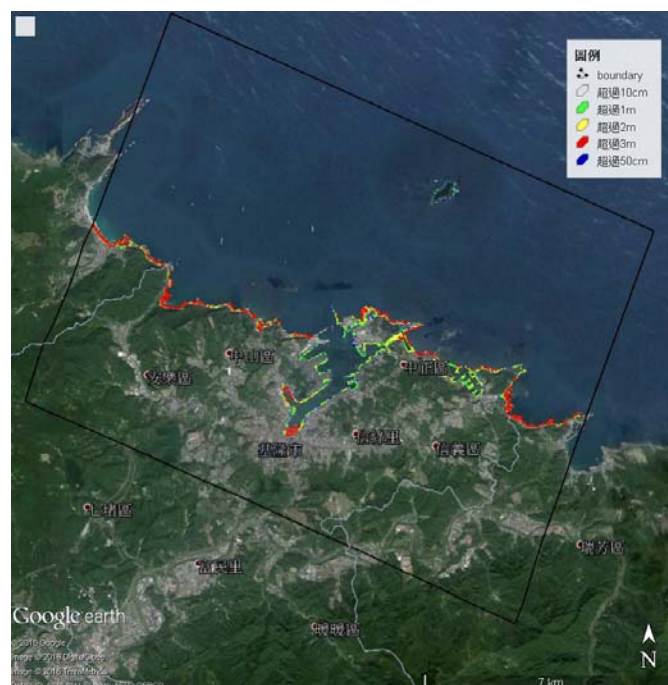


圖 3.12 (b) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

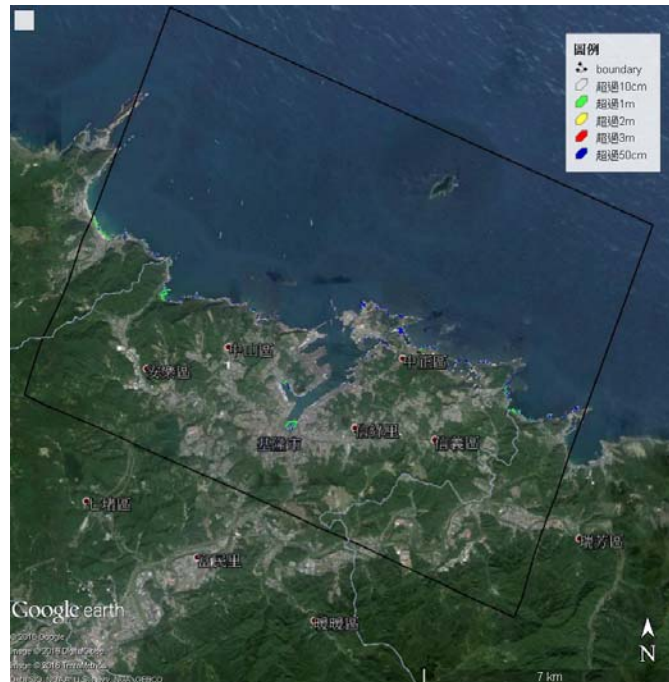


圖 3.12 (c) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

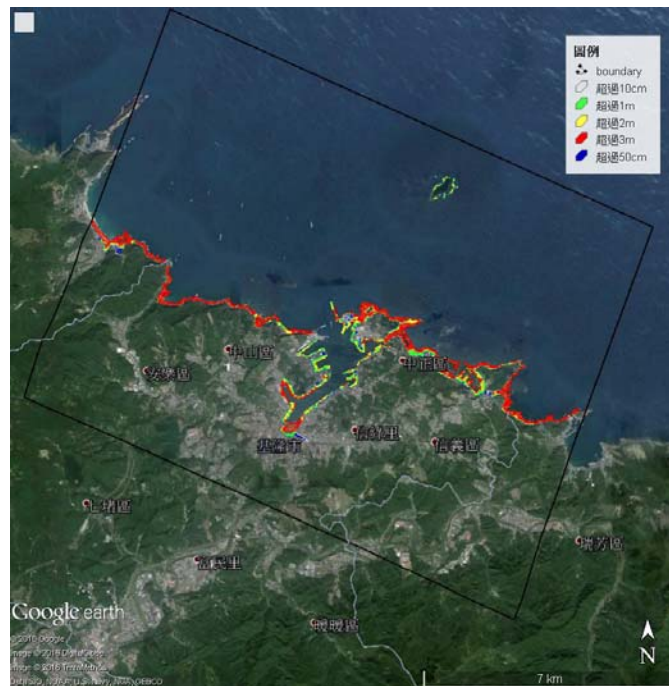


圖 3.12 (d) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺



圖 3.12 (e) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

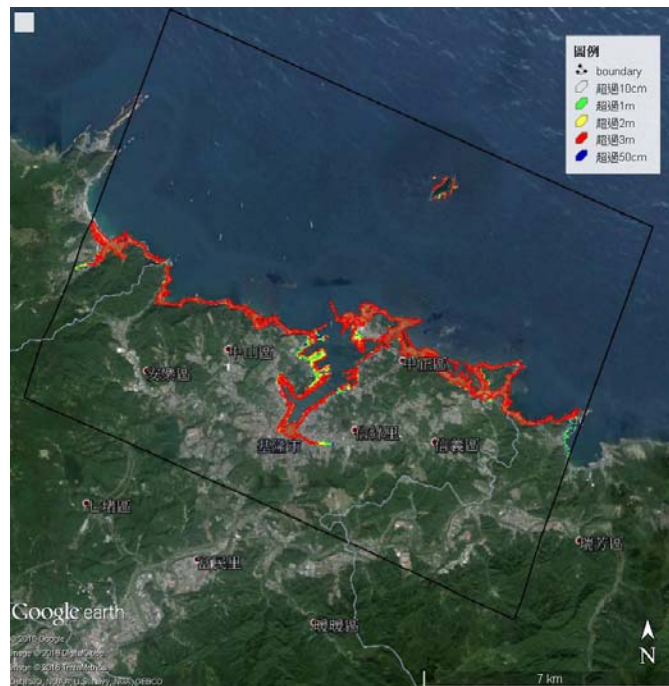


圖 3.12 (f) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺



圖 3.12 (g) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 3.12 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：(a)0.5 公尺
(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

3.2.3 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM)

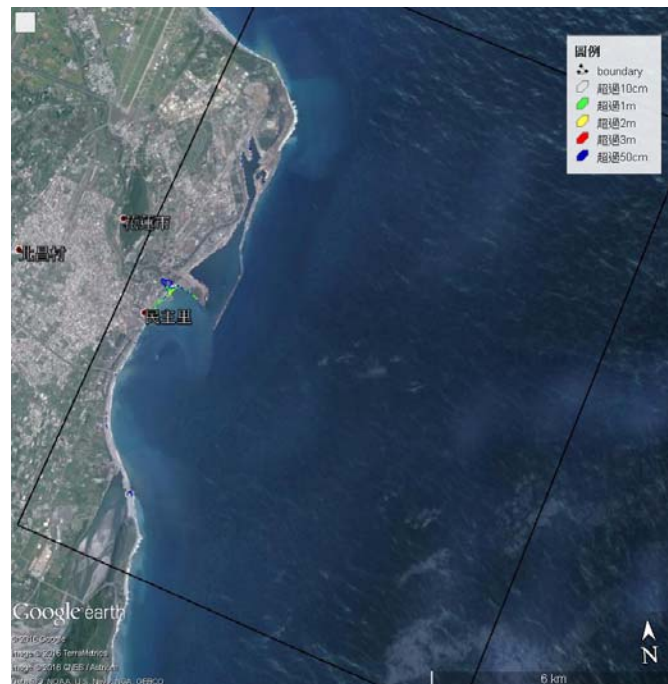


圖 3.13 (a) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

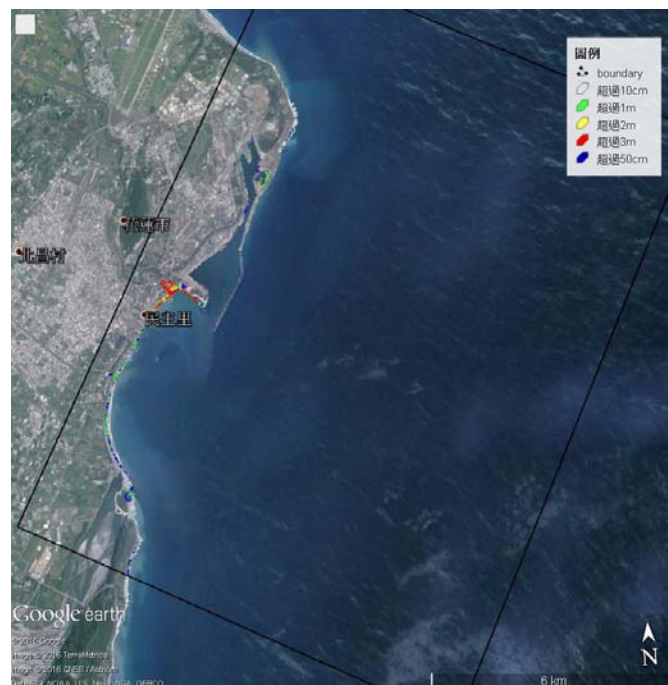


圖 3.13 (b) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

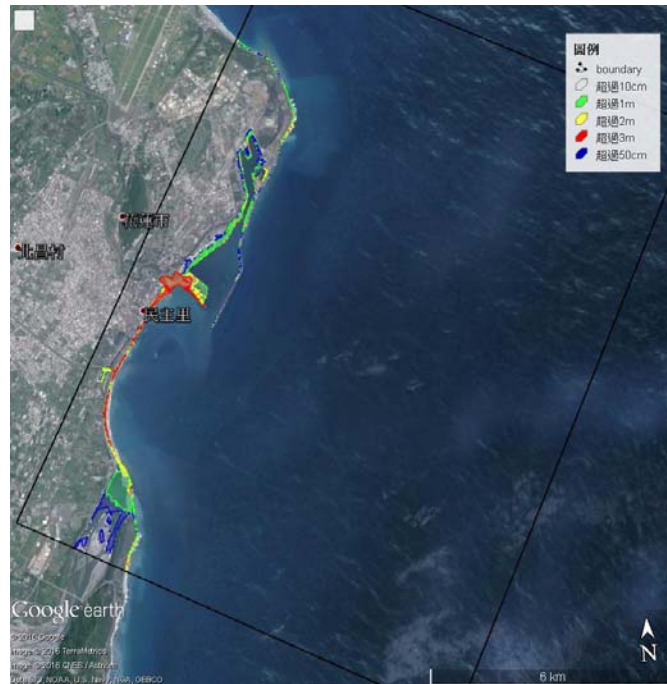


圖 3.13 (c) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺

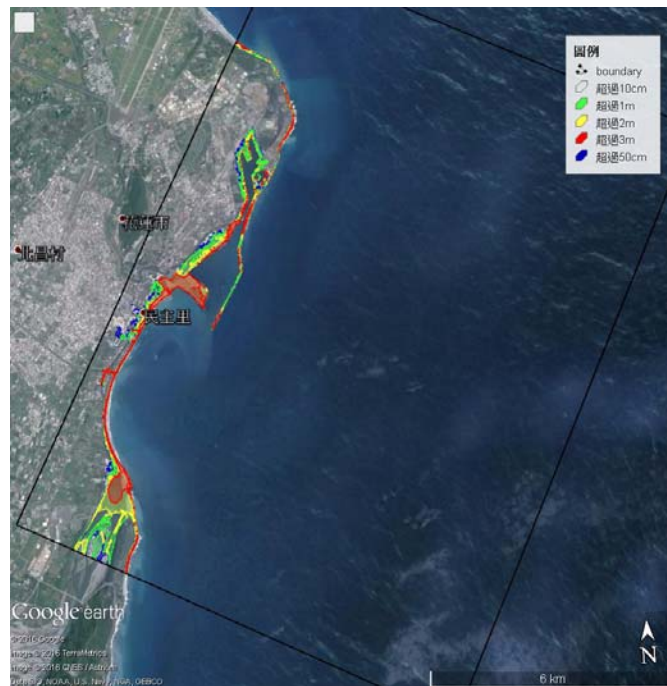


圖 3.13 (d) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

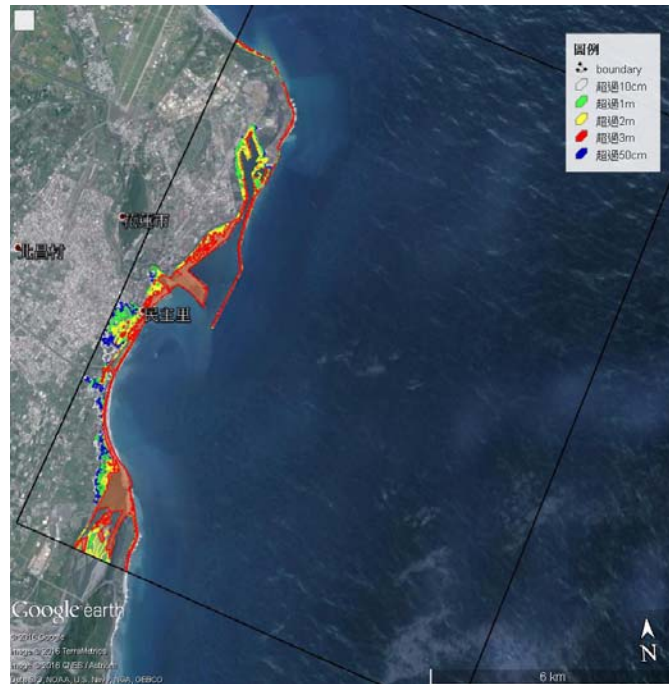


圖 3.13 (e) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

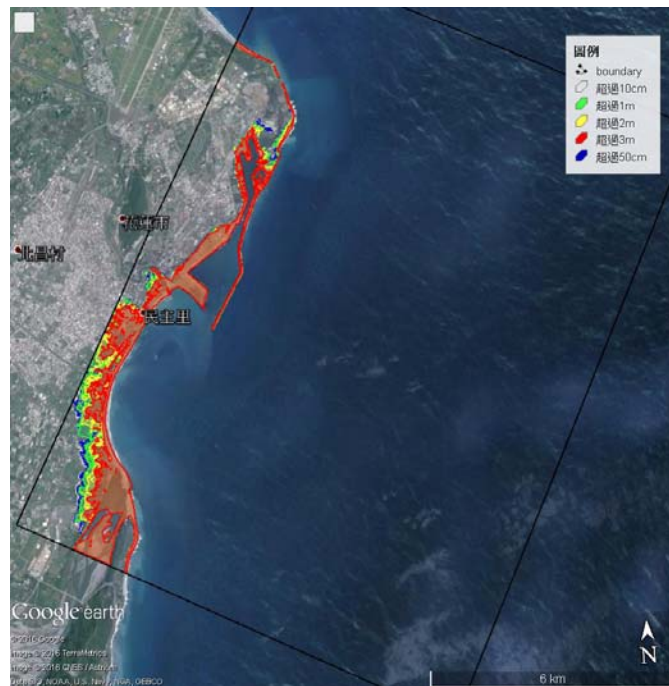


圖 3.13 (f) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

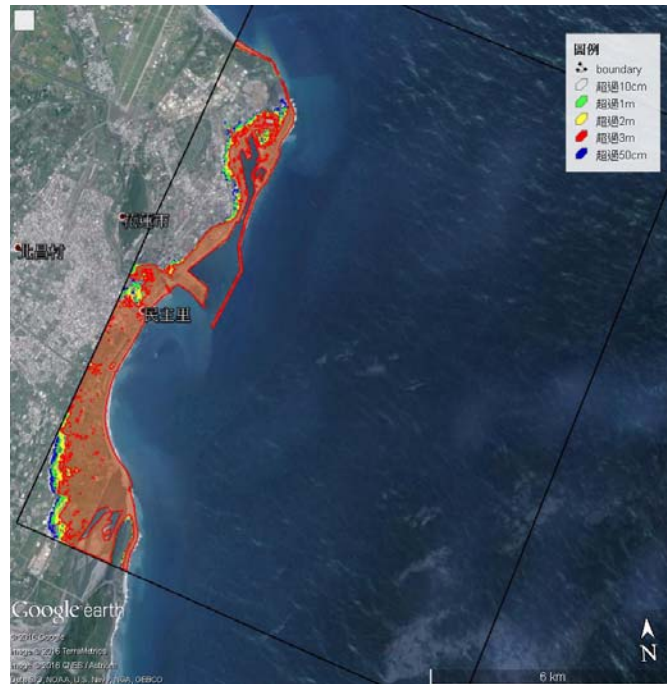


圖 3.13 (g) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 10 公尺

圖 3.13 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高：(a)0.5 公尺
(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

3.2.4 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DSM)

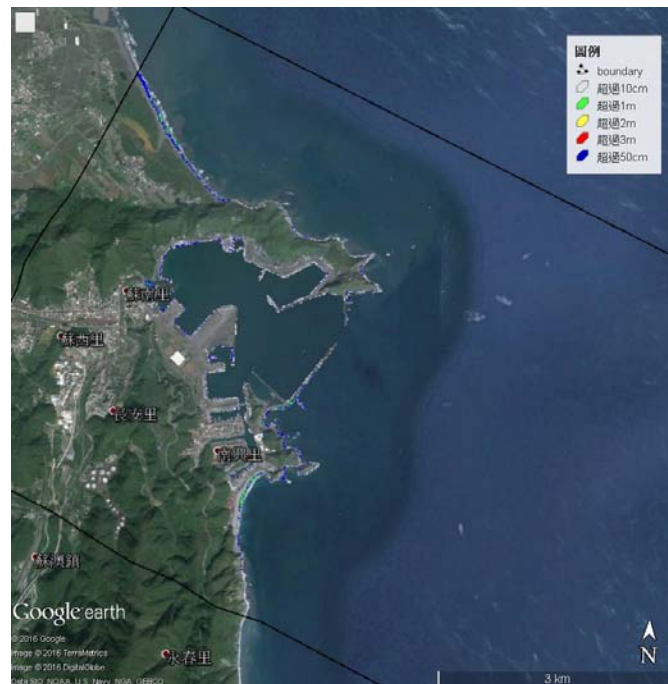


圖 3.14 (a) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 0.5 公尺

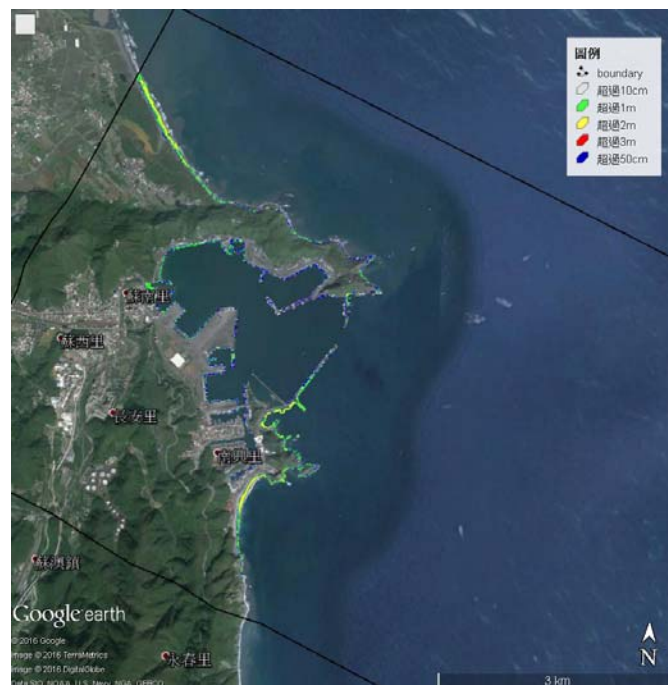


圖 3.14 (b) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 1 公尺

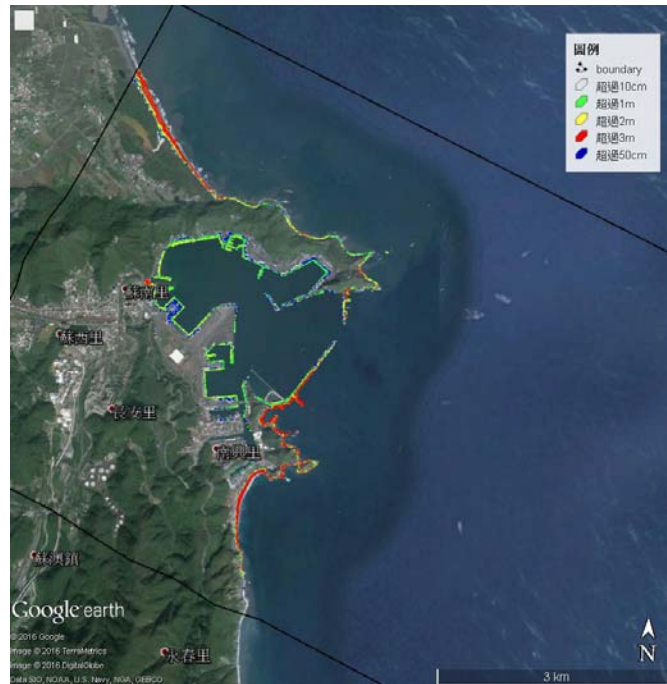


圖 3.14 (c) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 2 公尺



圖 3.14 (d) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 3 公尺

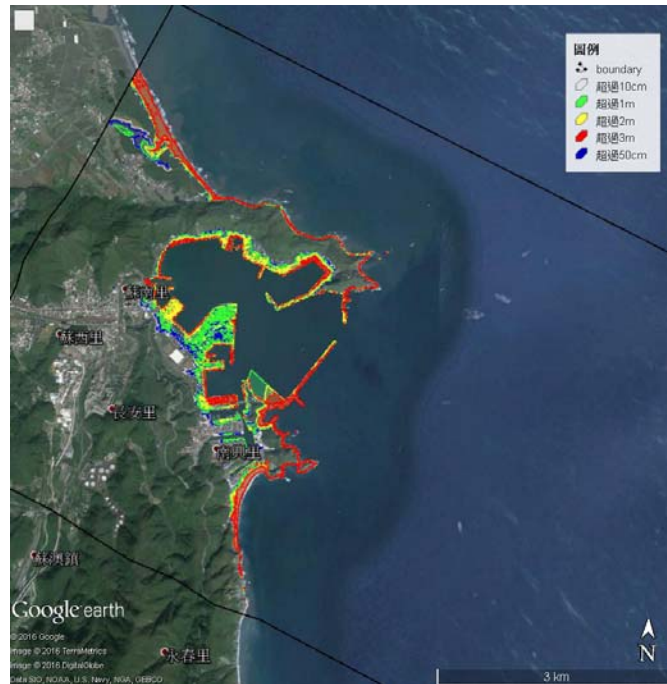


圖 3.14 (e) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 4 公尺

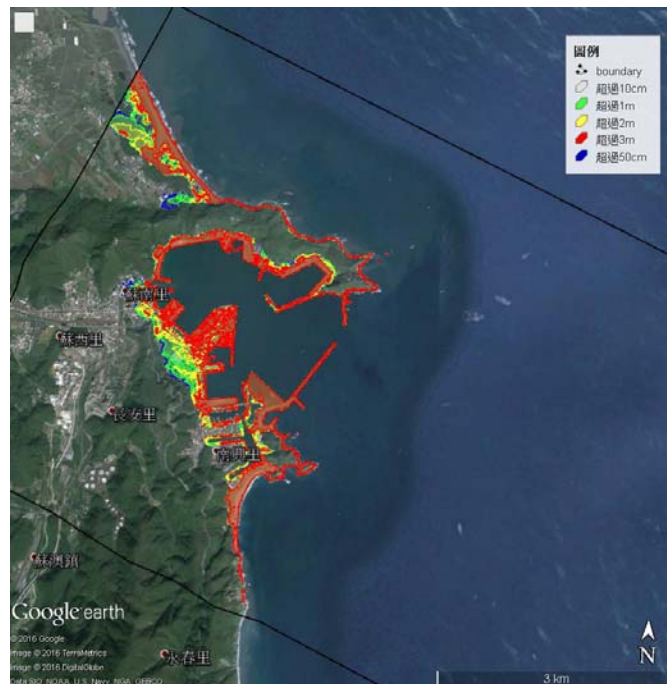


圖 3.14 (f) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DSM)，入射波高 6 公尺

3.2.5 臺北港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)

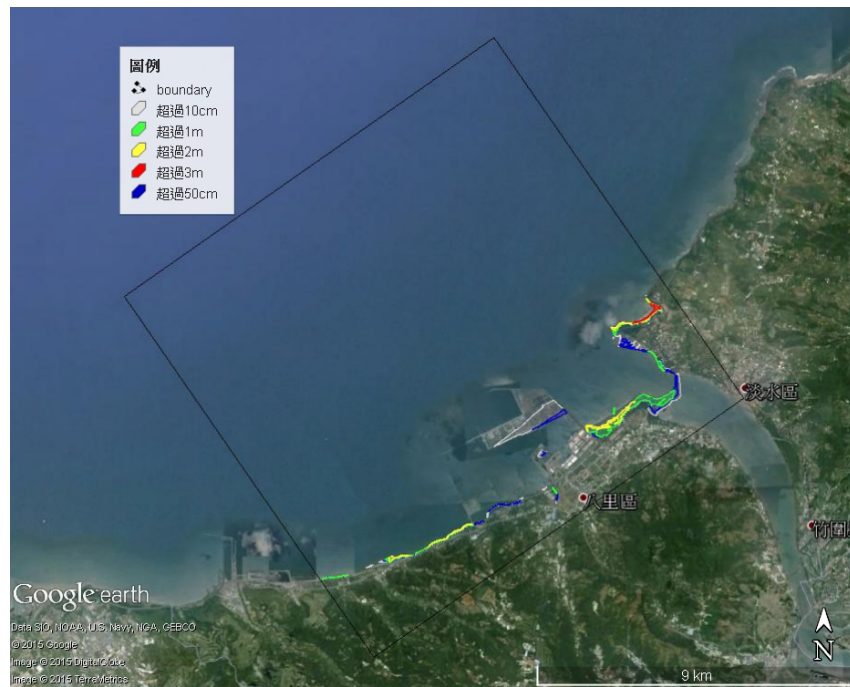


圖 3.15 (a) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺



圖 3.15 (b) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺



圖 3.15 (c) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

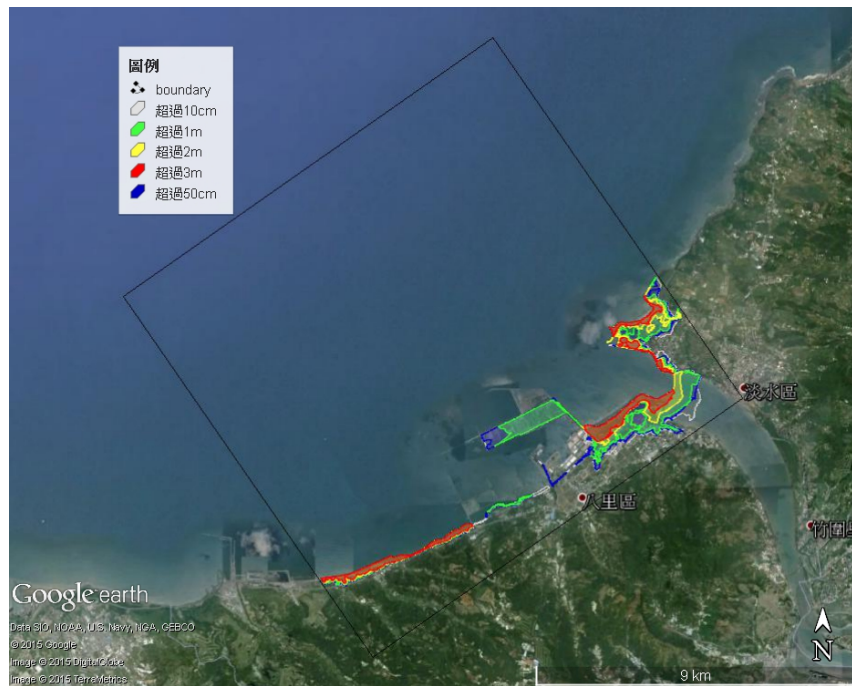


圖 3.15 (d) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

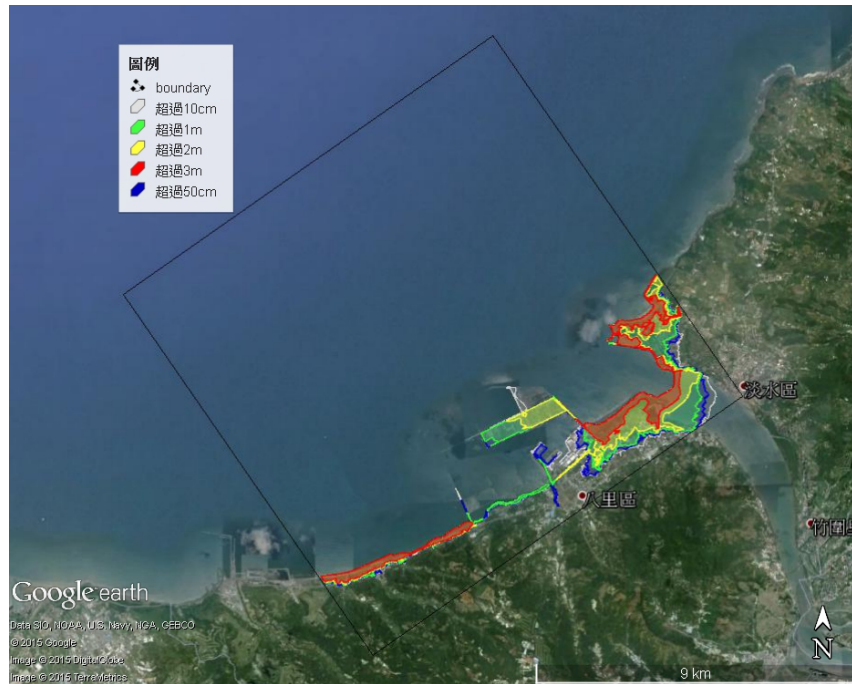


圖 3.15 (e) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

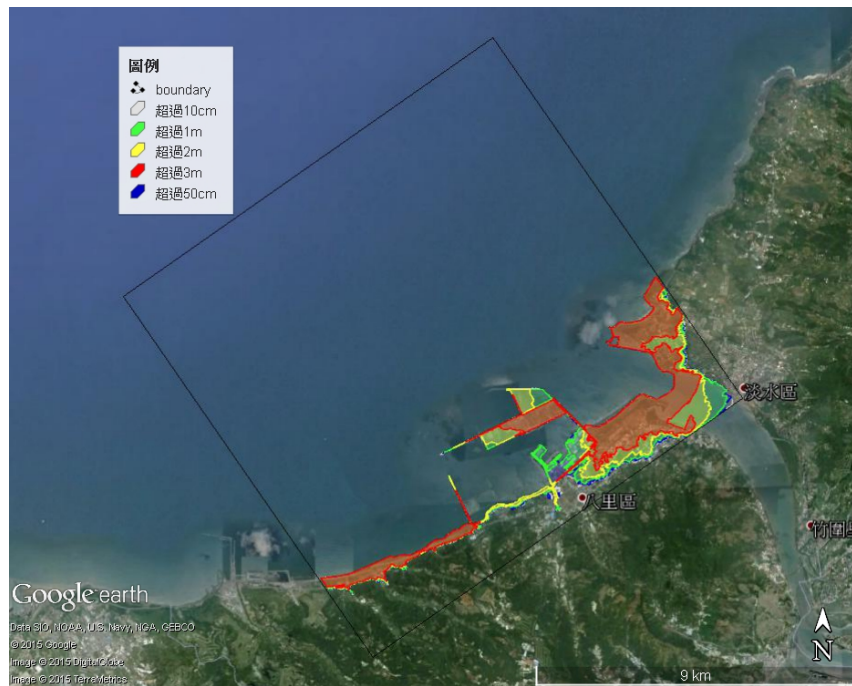


圖 3.15 (f) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

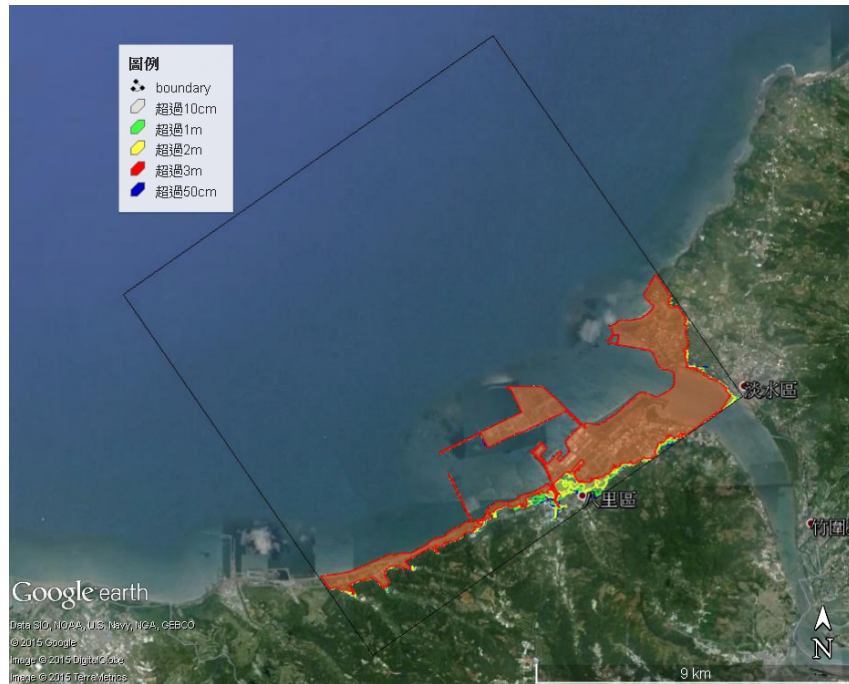


圖 3.15 (g) 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 3.15 臺北港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：(a)0.5 公尺
(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

3.2.6 基隆港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)

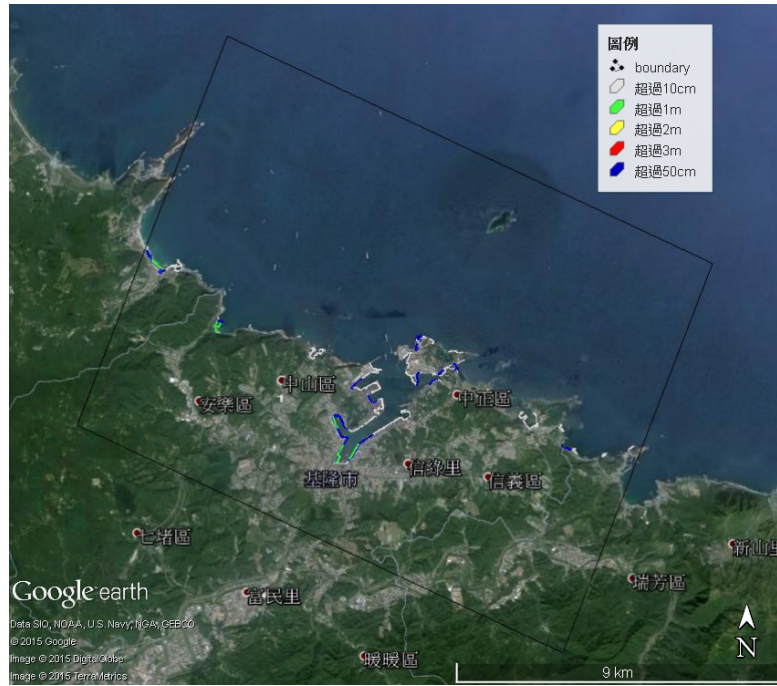


圖 3.16 (a) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

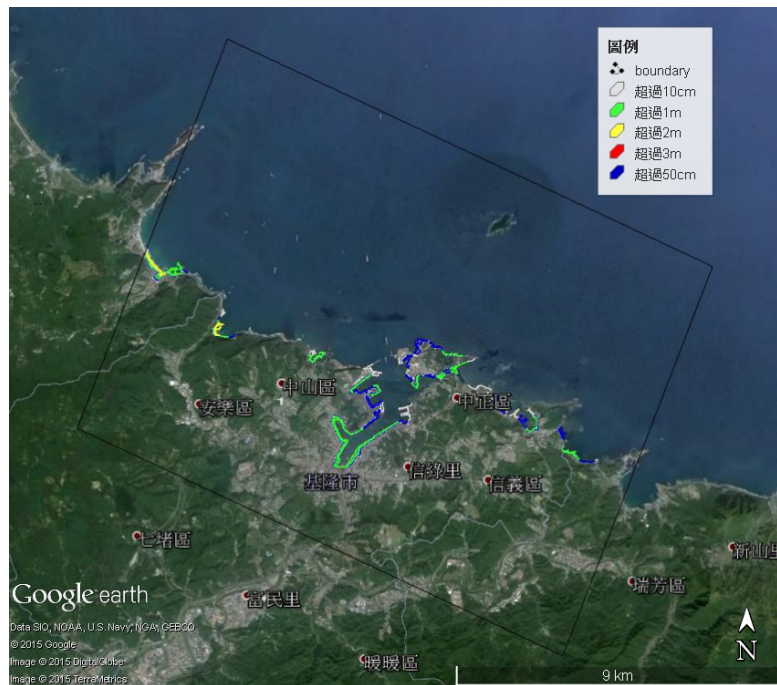


圖 3.16 (b) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺



圖 3.16 (c) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

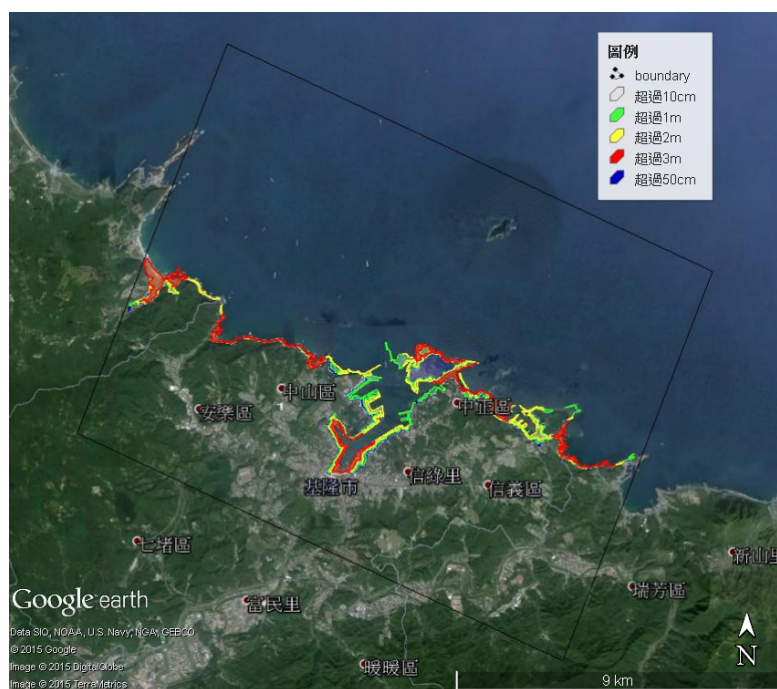


圖 3.16 (d) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

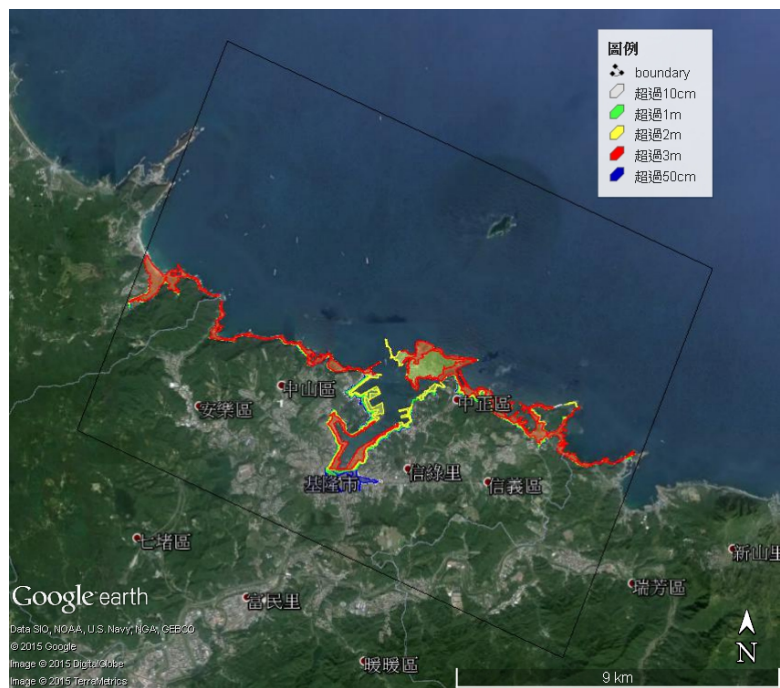


圖 3.16 (e) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

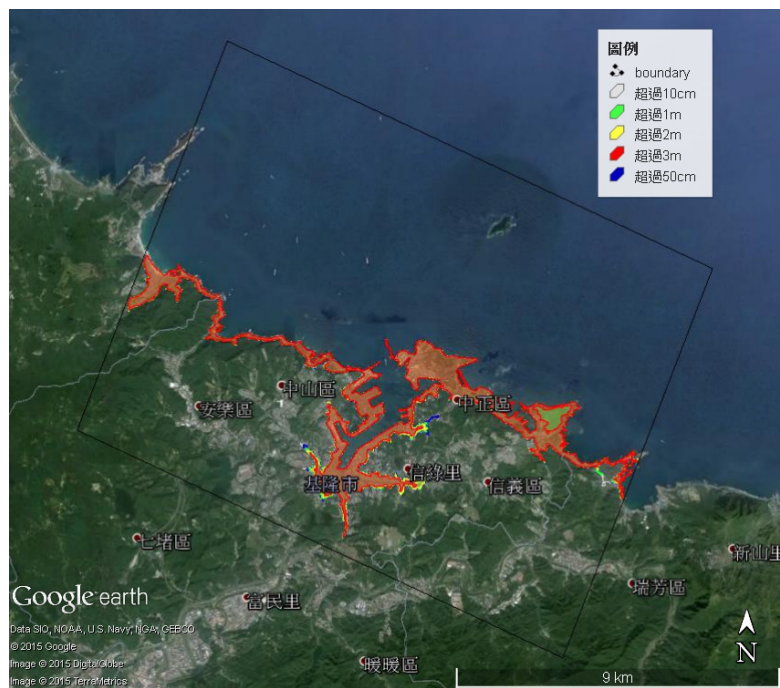




圖 3.16 (f) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺



圖 3.16 (g) 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 3.16 基隆港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：(a)0.5 公尺
(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

3.2.7 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)

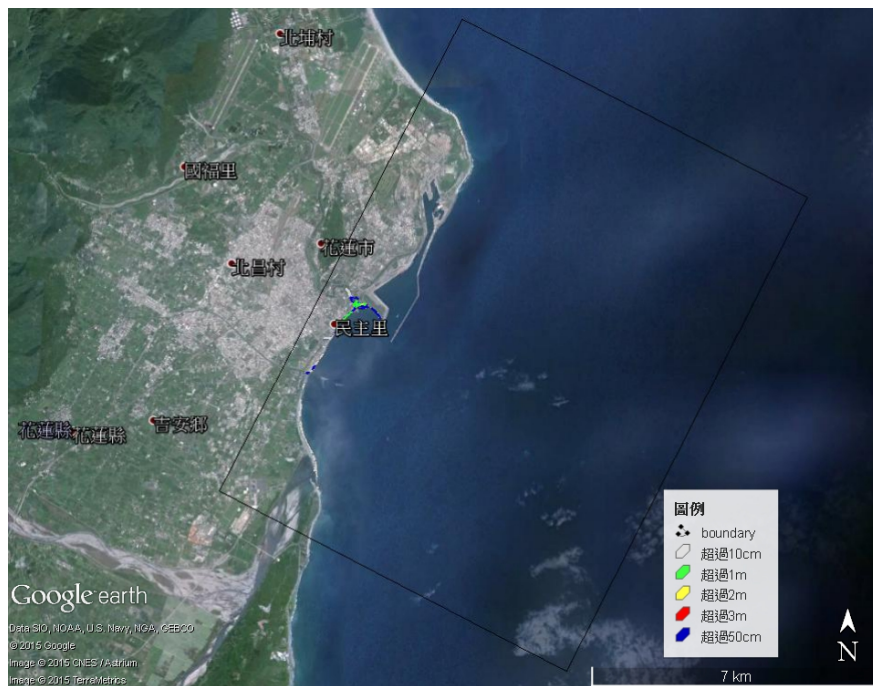


圖 3.17 (a) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

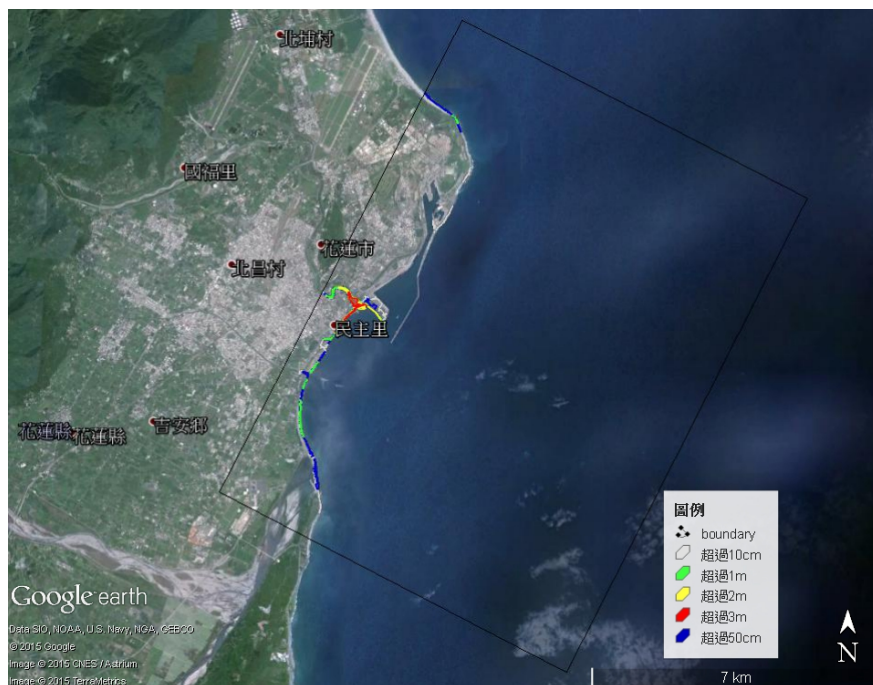


圖 3.17 (b) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

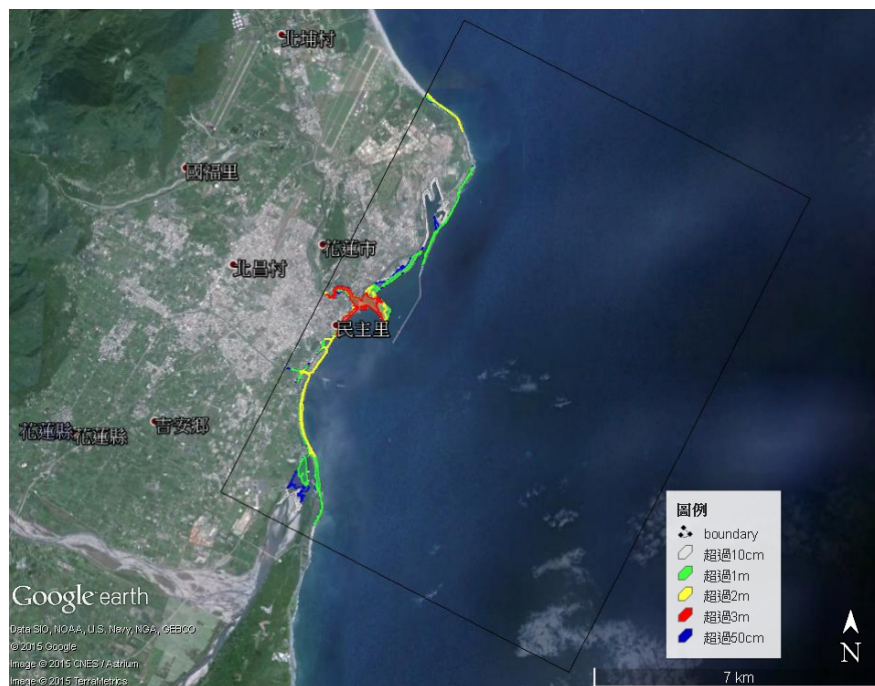


圖 3.17 (c) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

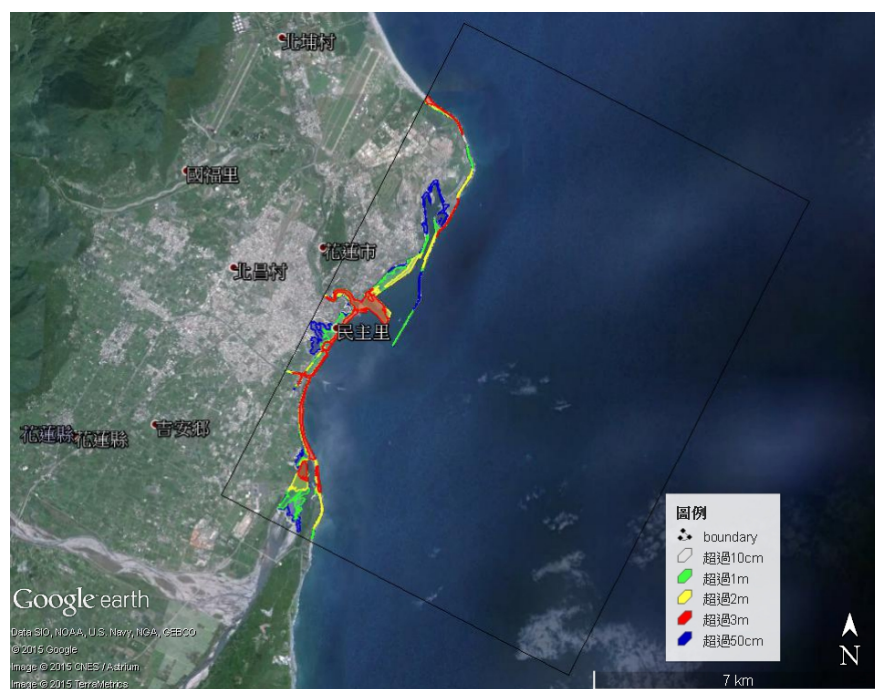


圖 3.17 (d) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

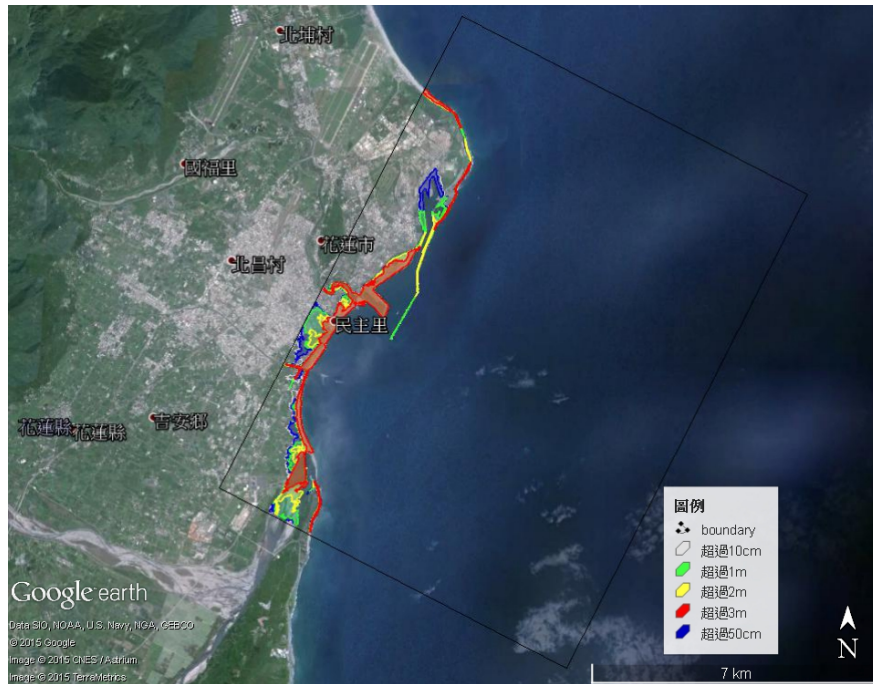


圖 3.17 (e) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

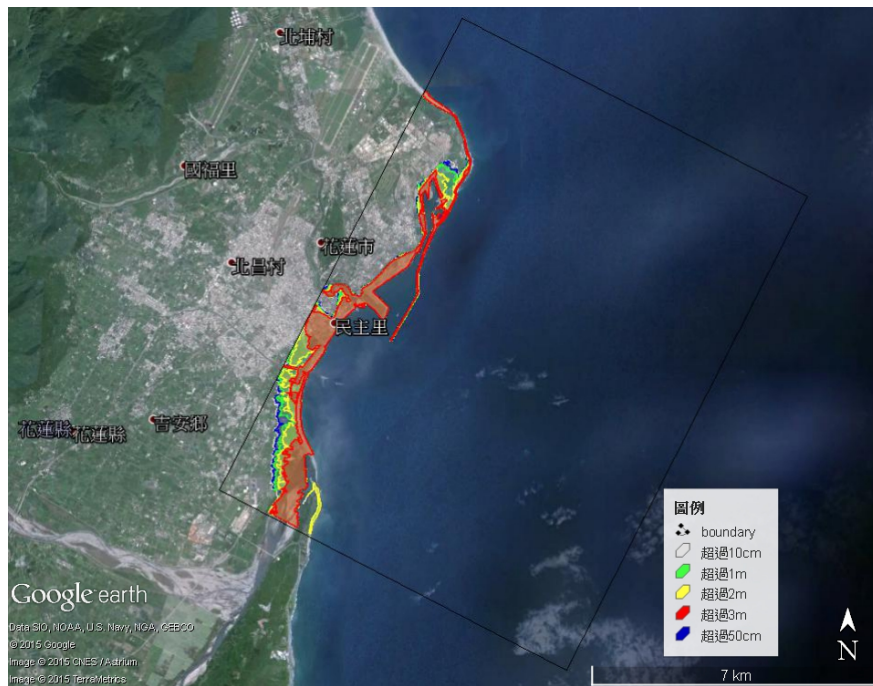


圖 3.17 (f) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

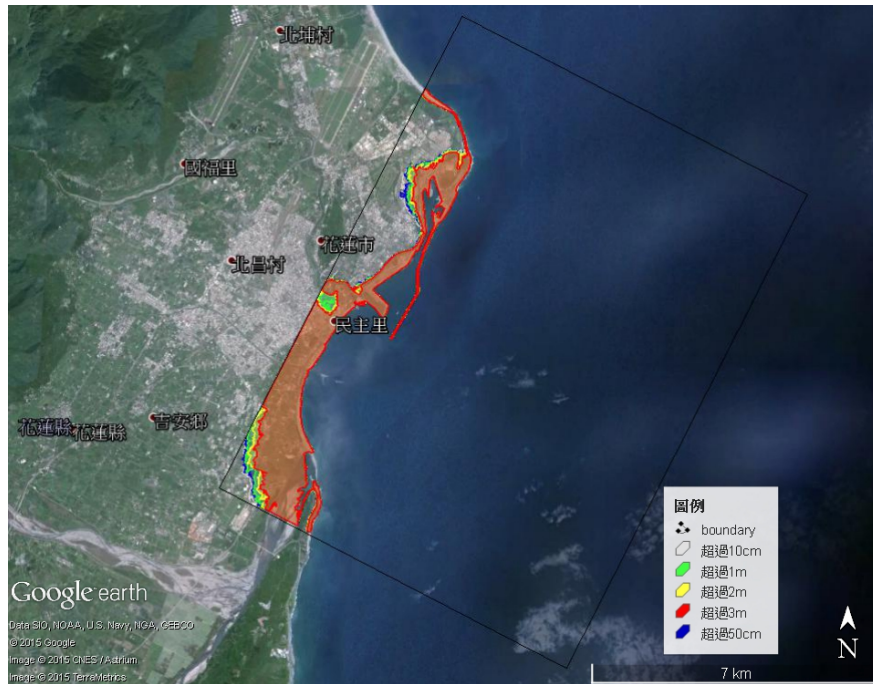


圖 3.17 (g) 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 3.17 花蓮港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：(a)0.5 公尺
(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

3.2.8 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹潛勢圖(DEM)

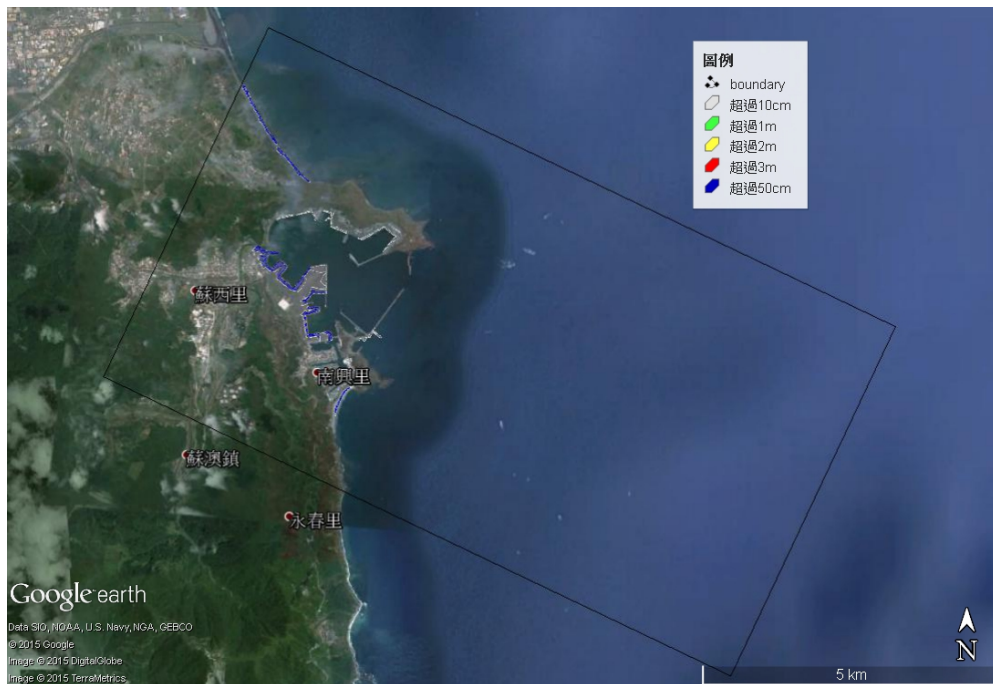


圖 3.18 (a) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 0.5 公尺

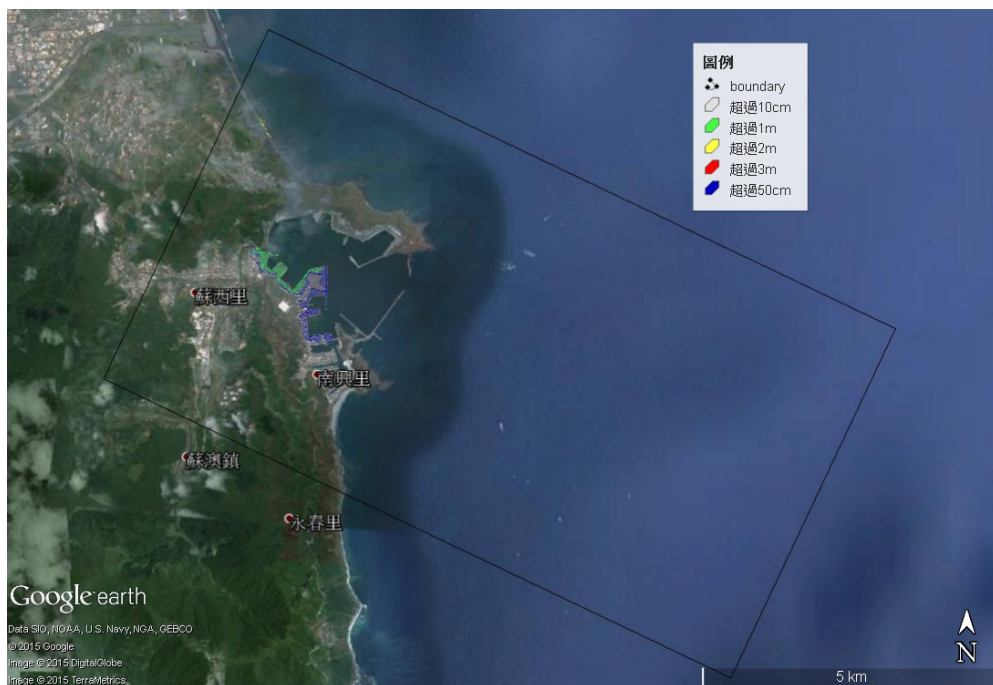


圖 3.18 (b) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 1 公尺

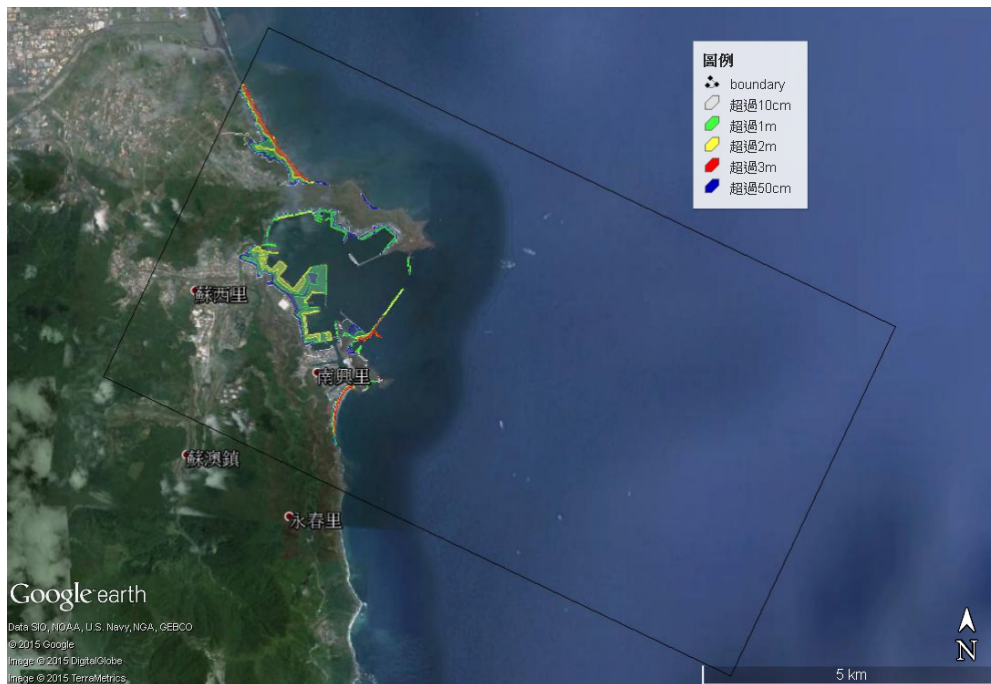


圖 3.18 (c) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 2 公尺

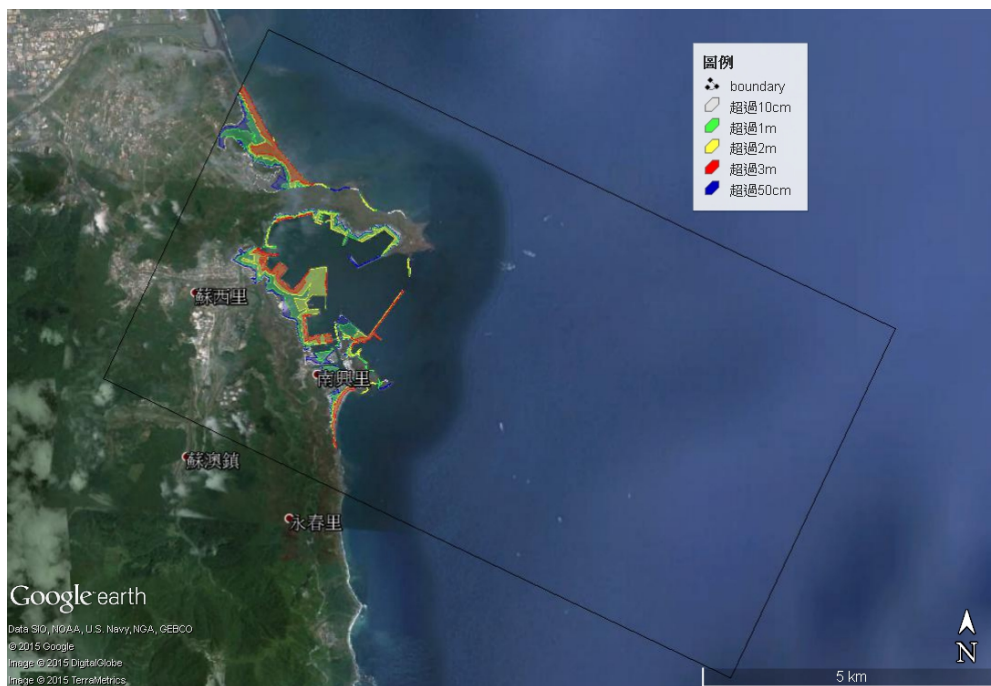


圖 3.18 (d) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 3 公尺

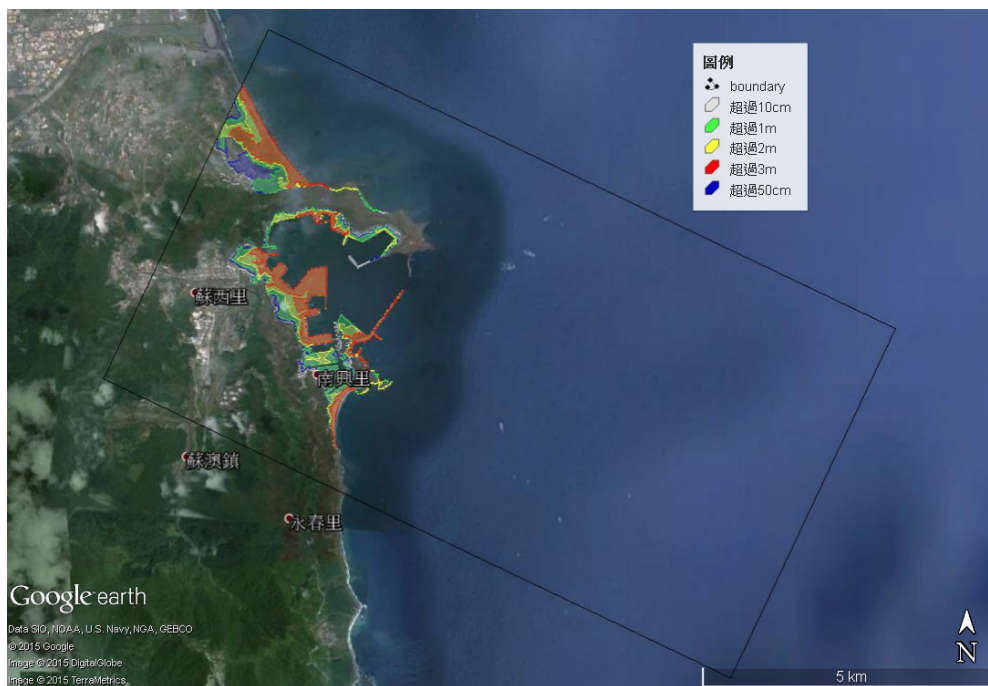


圖 3.18 (e) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 4 公尺

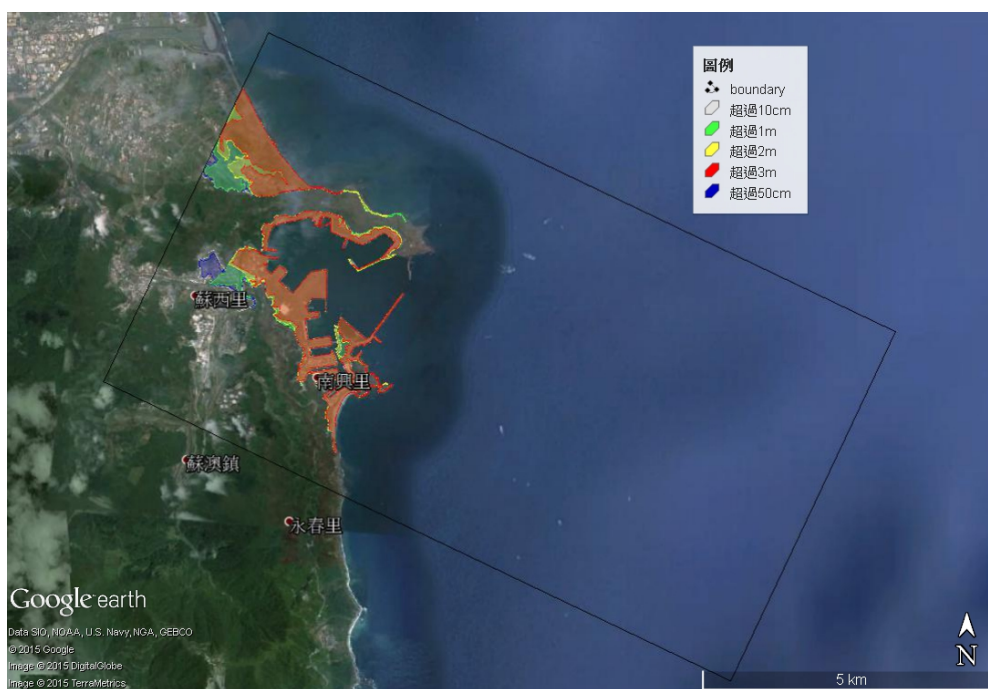


圖 3.18 (f) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 6 公尺

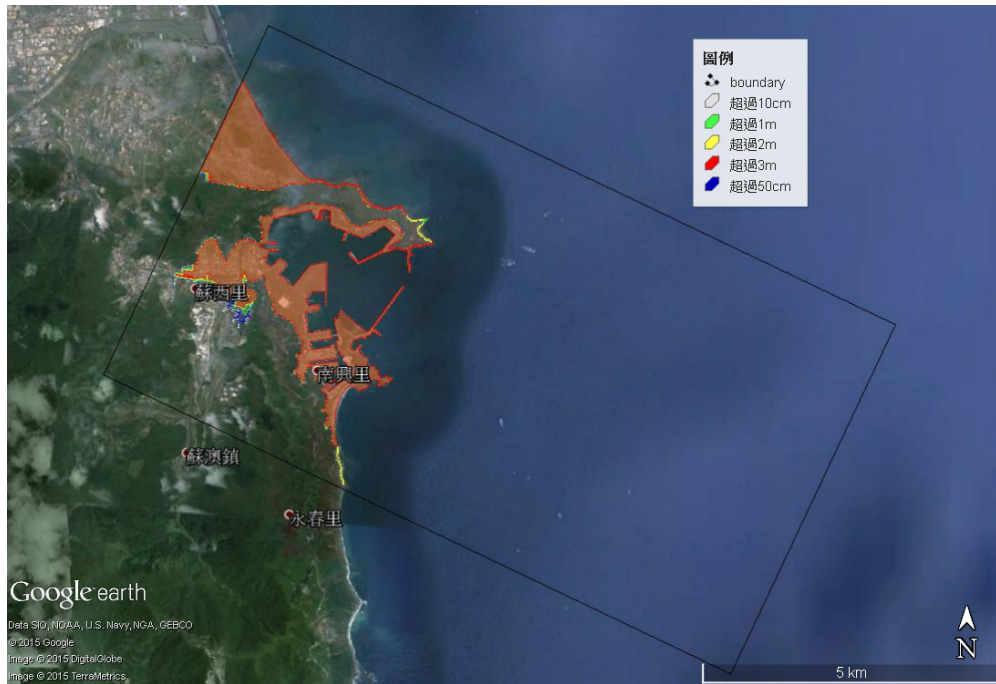


圖 3.18 (g) 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高 10 公尺

圖 3.18 蘇澳港結合 Google Earth 之溢淹圖(DEM)，入射波高：(a)0.5 公尺
(b)1 公尺(c)2 公尺(d)3 公尺(e)4 公尺(f)6 公尺(g)10 公尺

第四章 極端氣候下之跨河橋梁通行安全評估

4.1 極端氣候概述與橋梁安全評估之重要性

極端氣候的定義為當區域的氣候狀態嚴重偏離其常態，亦即根據過去的氣候統計資料來看，出現了發生率極低的天候狀況，包括洪水、旱災、熱浪、颶風和強降雨頻繁出現等現象，對原本區域產生農產量變化、夏天的河流流量減少、物種消失及疾病肆虐等問題。在臺灣最明顯的例子就是 2009 年的莫拉克颱風為臺灣帶來接近 3000 毫公尺的降雨量，為目前降雨量最多的極端強降雨颱風。而聯合國跨政府氣候變遷小組 (IPCC) 和世界氣象組織 (WMO) 都認為全球暖化將增加這些極端氣候的出現頻率與強度。

根據中央氣象局的颱風統計資料顯示，臺灣每年平均受到 3 至 4 個颱風所侵襲，颱風通過海岸時，除了氣壓下降及向岸的強風會造成海水水位上升，形成暴潮現象之外。其強大風勢同時會在海面上形成較大的風浪。一般情況下，這些風浪和暴潮不易對濱海地區的橋梁結構和濱海橋梁設施附近活動的人民安全產生威脅。但受到極端氣候的影響，在風浪和暴潮的強度被提高的情況下，需要加以重視其威脅性。颱風來臨時，常造成河川水位的暴漲，尤其在出海口附近又受到暴潮及長浪的影響，可能對跨河橋梁通行安全形成威脅。因此，本研究模擬 5 種入射波高分別在 5 種坡度地形、4 種初始水位以及 5 流量條件下的傳播情況，以出海口附近之水位模擬進行通行安全評估。

依據國內相關之橋梁設計規範，設計洪水位不可高於橋梁上構(一般係以大梁梁底下方 1.5~2.0m 淨高處作為設計洪水位)、甚至產生越流之情形，然而近年來於暴雨時期經常發生洪水量遠大於設計洪水量之 Q100 或 Q200，且部分橋梁位於土石堆積之河段，往往也因為土石堆積、河床抬升，使得梁下淨高縮減及通水斷面不足，而發生水位幾乎到達橋梁底或高於橋梁上構等災況。若洪水位高達大梁或橋面版，橋面之阻水將產生下射水流，加劇河床及墩基之沖刷；當水位持續升高，水流

漫淹過橋面版，則下游側亦可能產生跌水而沖刷河床。此外，水流直接作用於大梁及橋面版，對橋體而言將產生壓力流之現象，則橋梁上構受到拖曳力(drag force)及側向力(lateral force)等將驟增，致使橋梁穩定性降低，可能產生沉陷、變位、傾倒等災害。(林，2012)

颱風來臨時，常造成河川水位的暴漲，尤其在出海口附近又受到暴潮及長浪的影響，可能對跨河橋樑通行安全形成威脅。因此本研究透過 2 維垂直的水動力模式來評估橋樑附近的最大水位和距樑底淨空的距離來了解對跨河橋樑通行安全之可能影響，以供運輸單位作為警戒或封橋的參考。未來如能結合水利署所提供在跨河橋梁的水位與流量 24 小時預報資料，再搭配港灣研究中心在橋梁附近的港灣地區暴潮及波浪預報資料，則可對跨河橋梁提供距樑底淨空值的短期預報。藉以評估橋梁附近的最大水位和距樑底淨高的距離來了解對跨河橋梁通行安全之可能影響，藉以提供橋梁安全性的參考。

4.2 垂直 2 維的單一坡度波流交互作用模擬

4.2.1 COBRAS 模式介紹

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

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

消散、流速、自由表面的構成、質量守恆或和水漫(overtopping)的體積。在二維不可壓縮且黏性流動之牛頓流體假設條件下，其 RANS 控制方程式如下：

連續方程式：

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

動量方程式：

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

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

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

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

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

另外 k- ε 紊流閉合模式的控制方程如下：

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

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

其中

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

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

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

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

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

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

紊流模式根據渦流黏度的特性提供以下兩種型式來表示雷諾應力。

1. 當渦流黏度為線性且具等向性：

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

2. 當渦流黏度為非等向性：

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

其中

δ_{ij} 為 Kronecker delta 函數

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

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

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

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

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

4.2.2 短距離模擬設定

模式區域設定為水平 X 方向長 3.4 km，高度 Y 方向則對應不同的入射波高、坡度、初始水位和流量條件，從 3.6 m 到 16.6 m 有不同的高度設定，確保水位震盪不會超出模式高度。模式地形在靠近左邊界線性入射波區的 $X=0$ 到 100 m 的地形高程設定為 0 m，而 $X=100$ 到 3300 m 處則為單一坡度的斜坡區，最後靠近右邊界的放流區 $X=3300$ 到 3400 m 處則為均一高程平台。另外為了減少模式可能會出現的不穩定擾動，在此進行一些地形微調。若模式網格的固體部分所占比例超過網格體積的 80% 時，直接將該網格設定為不含水的 100% 固體。

模式的網格解析度在 X 方向為 0.4 m，在 Y 方向為 0.2 m。時間解析為調整式的時間步長。模擬時間同樣依不同情境而有不同。在無流量的條件下，主要以第一個波到達陸地後再模擬 2 分鐘以上。而有流量的條件下，則至少模擬到最後一個波破碎或離開模式區域。

本研究模擬 5 種入射波高分別在 5 種坡度地形(圖 4.1)、4 種初始水位以及 5 流量條件下的傳播情況(圖 4.2)。由於當入射波高大於初始水深時，會導致入射波高從邊界入射後直接破碎，所以本研究在扣除這些

情況後所作的情境模擬共有 440 個。

模式的初始條件為流速皆 0 的無擾動單一水位的水平面，對應 3 種坡度各有 4 個不同的初始水位條件(表 4.1)。在邊界條件方面，每次模擬於左邊界從週期 10 秒且波高為 2 到 6 公尺等 5 種不同正弦波擇一持續的入射。而右邊界使用固定流量的條件，各有 0、-2、-4、-6 以及 -8 立方米每秒等 5 種不同條件。

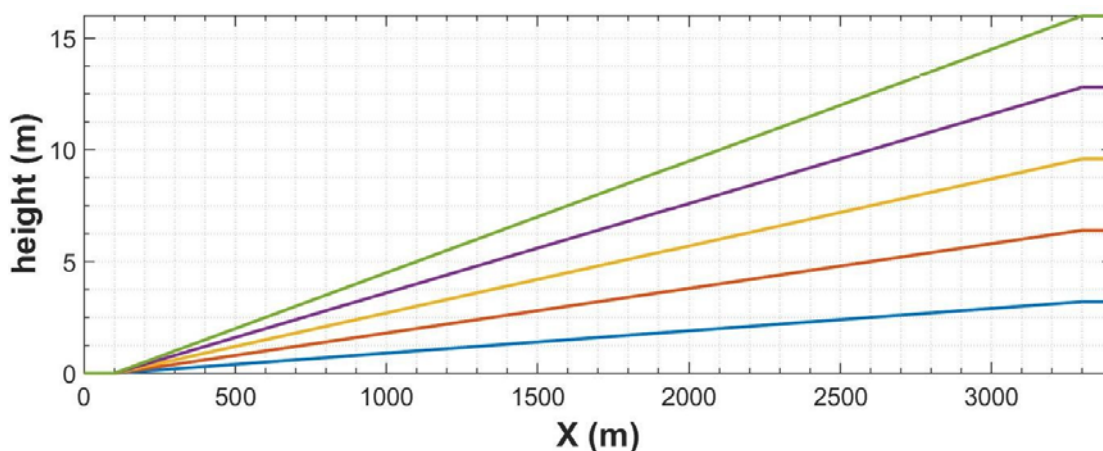


圖 4.1 短距離模擬的 5 種坡度地形(坡度 0.001 到 0.005)

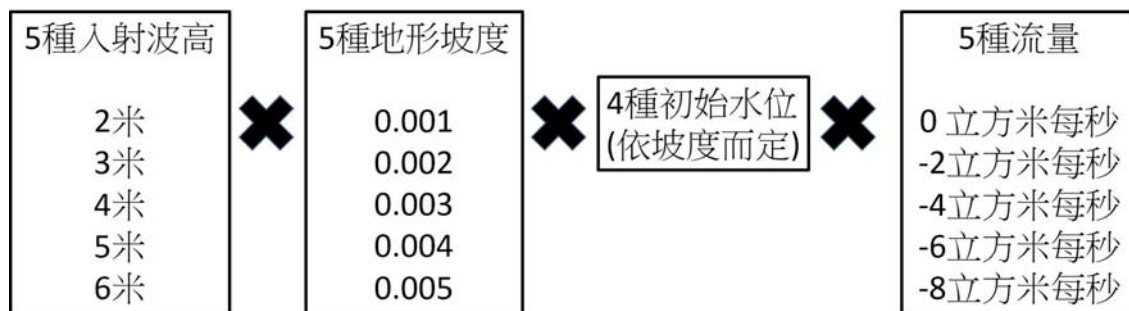


圖 4.2 模式模擬條件

表 4.1 5 種坡度所使用的四種初始水位

坡度	初始水位(m)			
	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4
0.001	1.5	2	3	4
0.002	3	4	5	6
0.003	4.5	6	7.5	9
0.004	6	8	10	12
0.005	7.5	10	12.5	15

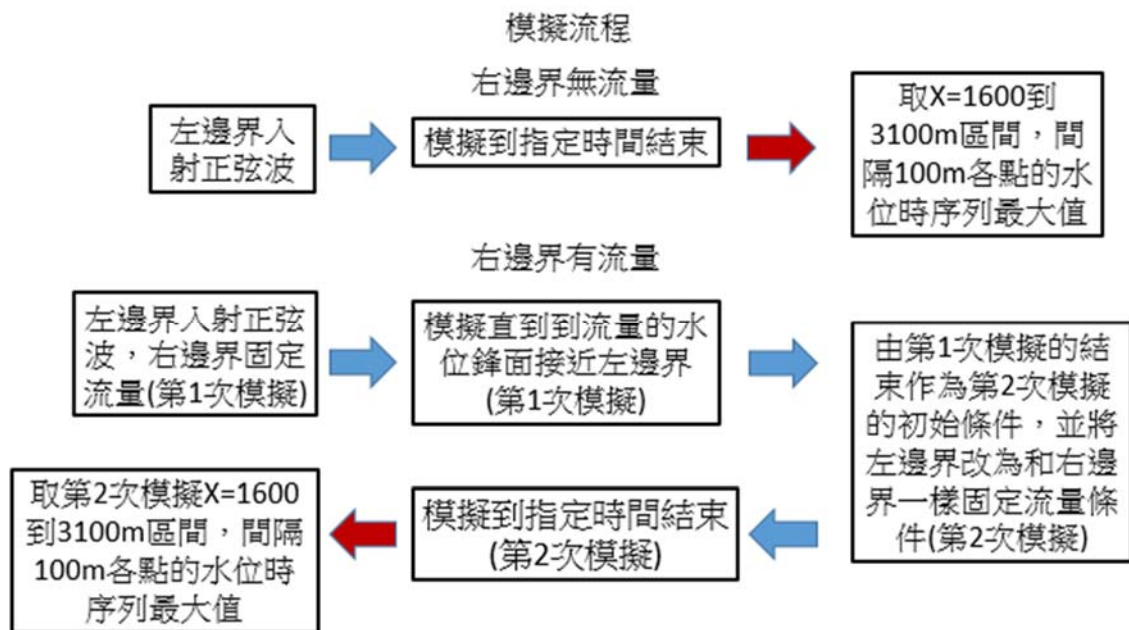


圖 4.3. COBRAS 模式的模擬流程

模式的模擬根據右邊界有、無流量而分成兩種流程，如圖 4.3。在無流量的情況下，由左邊界持續入射 10 秒週期的正弦波直到模擬結束後，從 $X=1600$ 到 3100 m 每間隔 100 m 取一個點，共取 16 個位置。最後從每個位置記錄的水位時序列中，分別取出最大水位值。以左邊界波高 4 m ，坡度 0.003 ，初始水位 7.5 m 且右邊界無流量的模擬條件為例，全程模擬 810 秒 。圖 4.4 為模擬時間第 60 、 150 、 360 、 510 和 630 秒的空間水位分布，而圖 4.5 為 X 座標在 1800 、 2000 、 2200 、 2400 、 2600 m 的 5 個位置的水位時序列。模擬期間 16 個空間位置的水位時序

列最大值及最大值發生時間如圖 4.6，其中 X 座標在 2800 m 以後的值沒有標示，代表不受波浪的影響。此例顯示最大水位越往陸地方向，水位高程越低。

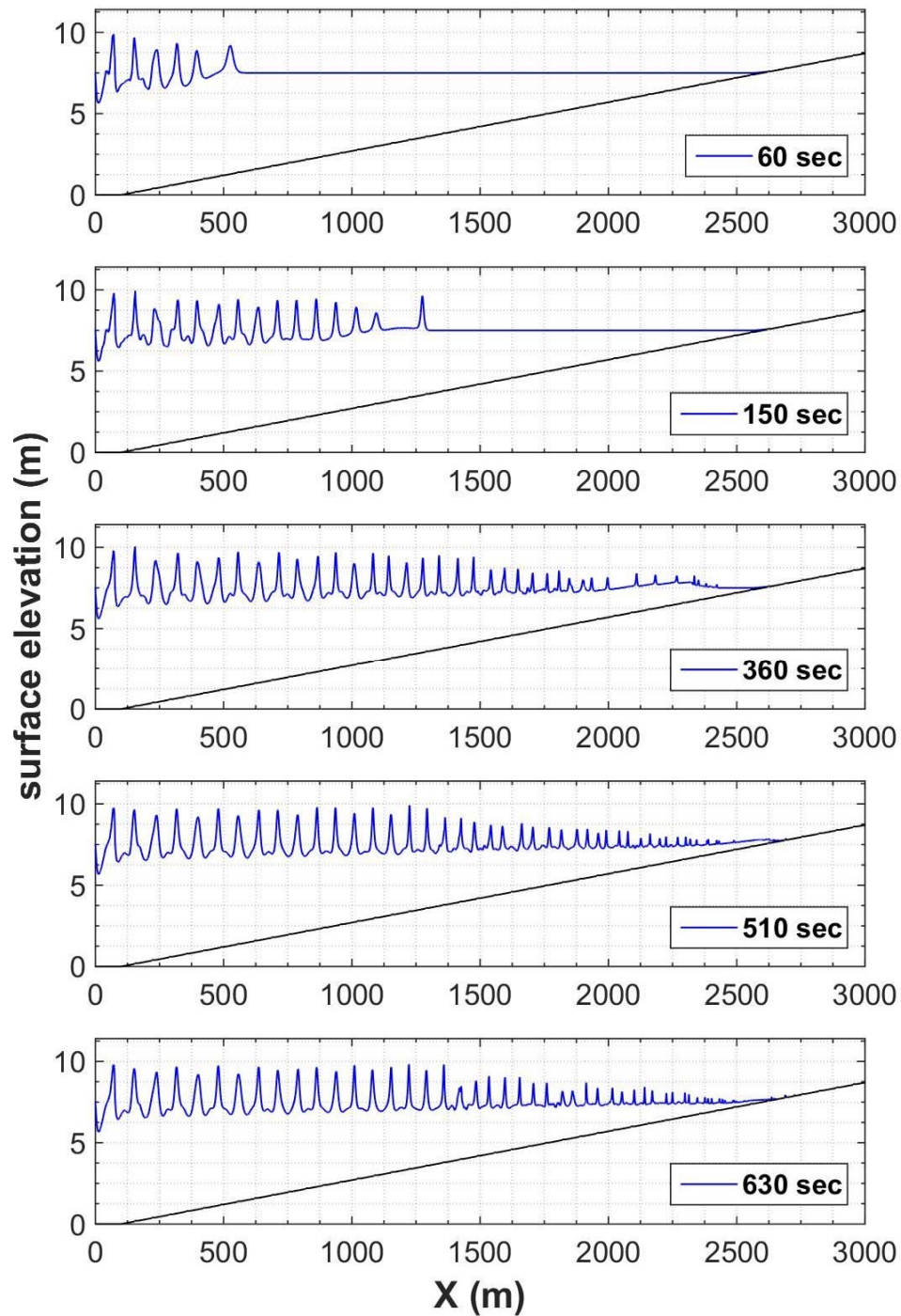


圖 4.4 時間第 60、150、360、510 和 630 秒的空間水位分布。(右邊界無流量)

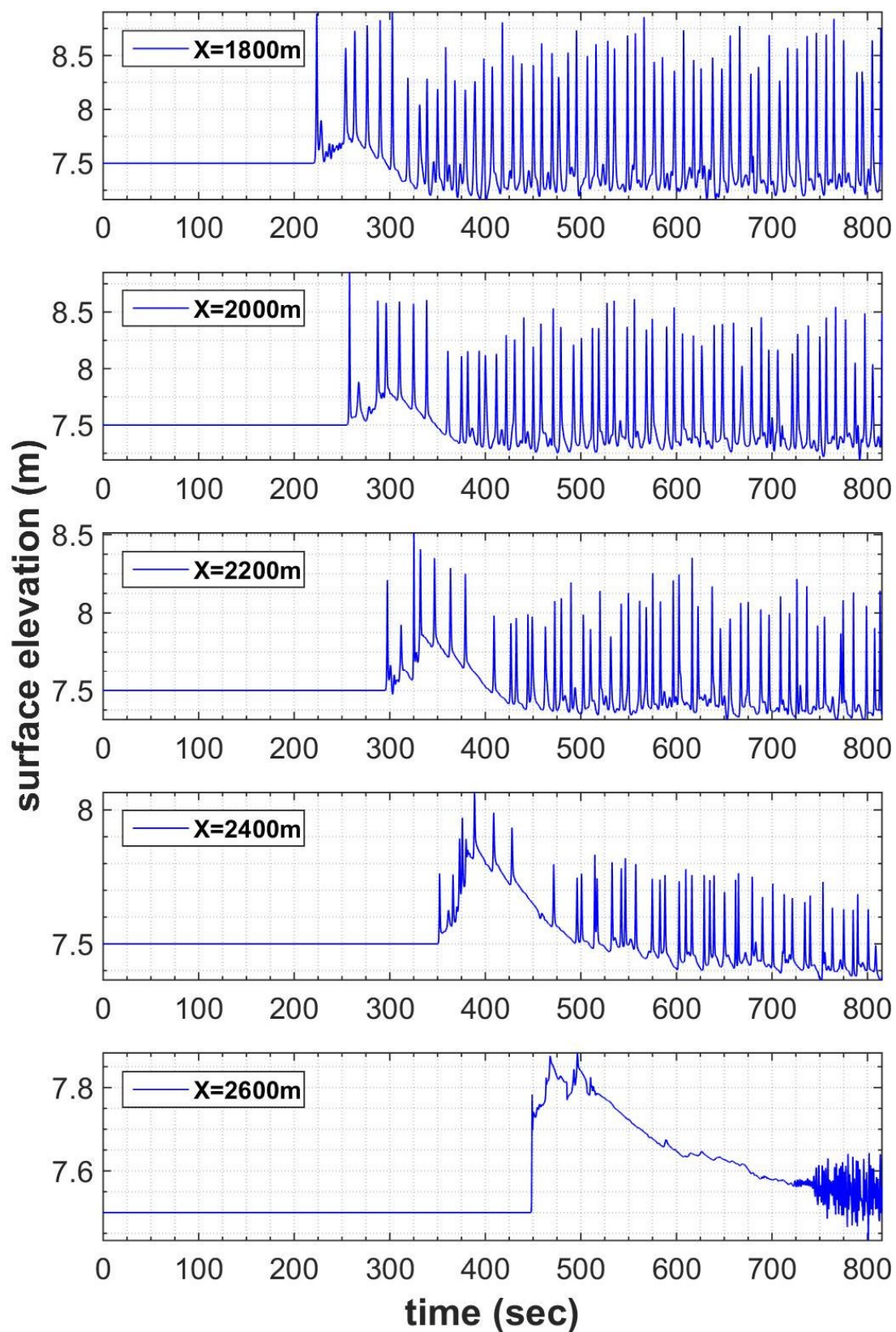


圖 4.5. $X=1800$ 、 2000 、 2200 、 2400 、 2600 m 的水位時序列。
(右邊界無流量)

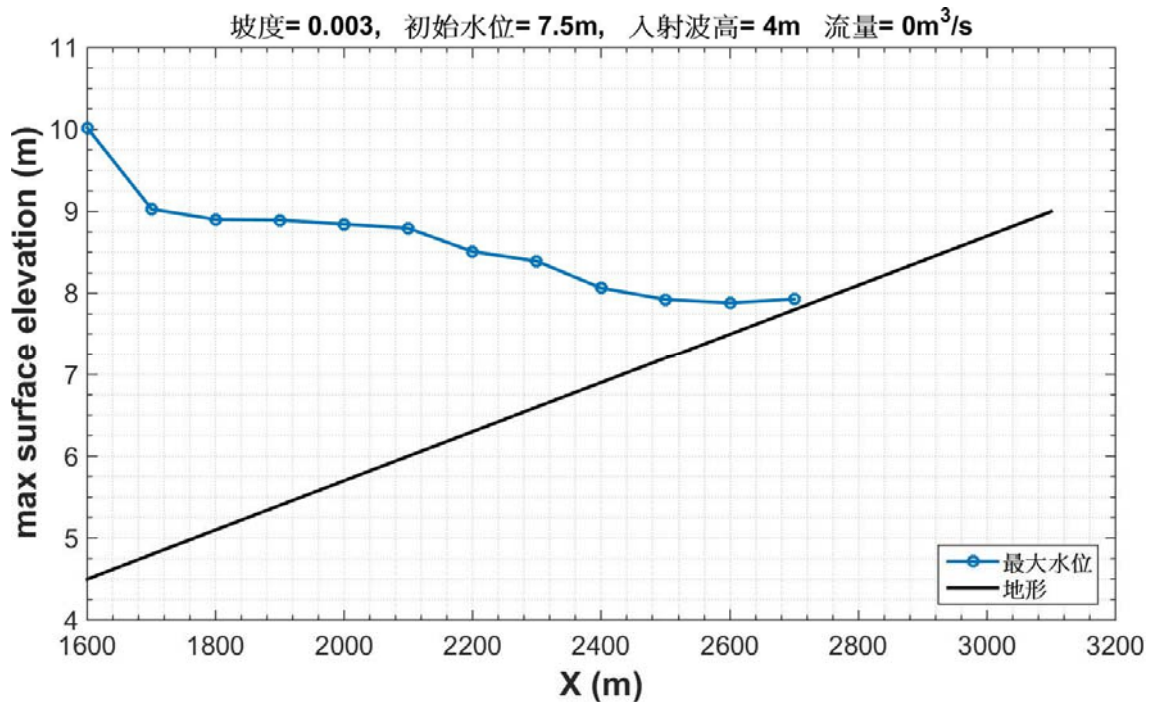


圖 4.6. 16 個 X 位置所對應的水位時序列最大值。(右邊界無流量)

在有流量的情況下，則分為 2 次模擬。第 1 次模擬由左邊界持續入射正弦波，且右邊界同時加入一個穩定的-X 方向流量輸入，模擬直到流量的前端水位鋒面接近左邊界為止。由於流量鋒面到達左邊界後，目前無法讓左邊界在逆流量的情況下正確造波，故當流量接近左邊界時，將左邊界由造波條件改為和右邊界同樣的-X 方向等流量輸出，進行第二次的模擬。待第二次模擬結束後，與無流量的情況一樣，從相同的 16 個位置水位時序列中，各別取出最大水位值。

在此以左邊界波高 4 m，坡度 0.003，初始水位 7.5 m 且右邊界流量 -4 立方米每秒的模擬條件為例。第一次模擬的時間長度為 630 秒，模擬時間第 60、150、360、510 和 630 秒的空間水位分布和水平流量分布如圖 4.7 和圖 4.8。而第二次的模擬以第一次模擬結束時間第 630 秒時的流速和水位作為初始條件，同時將左邊界條件更改為流量 -4 立方米每秒後，繼續模擬 750 秒。模擬時間第 60、150、210、360 和 480 秒的空間水位分布和水平流量分布如圖 4.9 和圖 4.10。圖 4.11 為 X 座標在 1800、2000、2200、2400、2600 m 的 5 個位置的水位時序列。另外模擬期間 16 個 X 位置的水位時序列最大值及最大值發生時間如圖 4.12。

水位時序列最大值扣除當地水位平均值後(圖 4.13)顯示波浪的影響趨勢與無流的情境一致,僅在 X 座標 1600 到 2700 m 之間造成水位變化。而 X 座標 2800 到 3100 m 之間約 1.3 m 的水深主要由-4 立方米每秒的流量所造成。

另外圖 4.9 顯示當左邊界的條件轉換後,在空間最左側形成一組干擾波群接在模式原有波群的末端往右傳播(例如圖 4.9 在時間第 150 秒且 X 座標介於 500 到 1000m 區間的波群)。從水位時序列的資料(圖 4.11)來看,在 X=1800 m 位置且時間介於 300 至 450 秒之間的水位震盪主要由干擾波群所引起,但仍不足以造成比原有波群更高的水位(300 秒以前)。

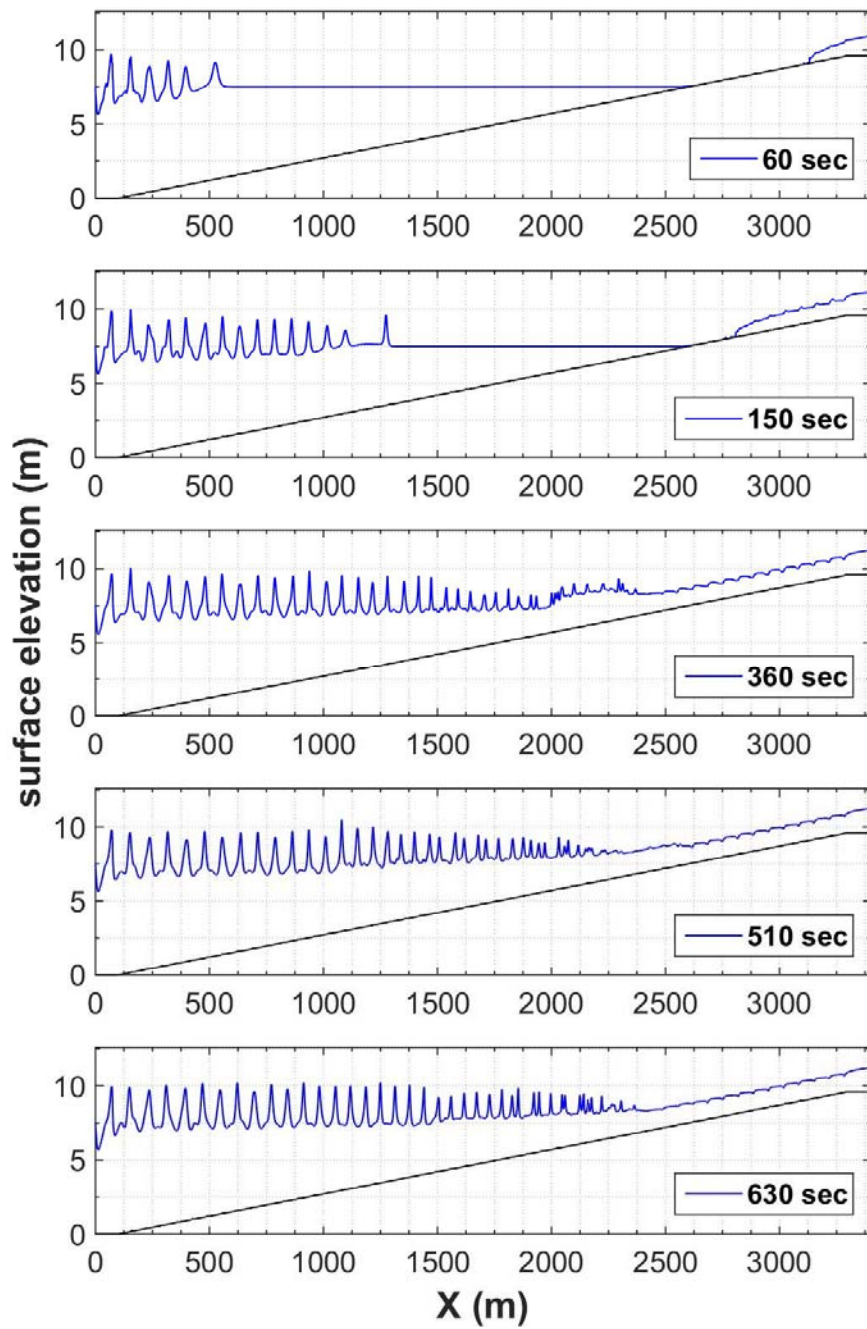


圖 4.7. 第一次模擬在時間第 60、150、360、510 和 630 秒的空間水位分布。(右邊界流量-4 立方米每秒)

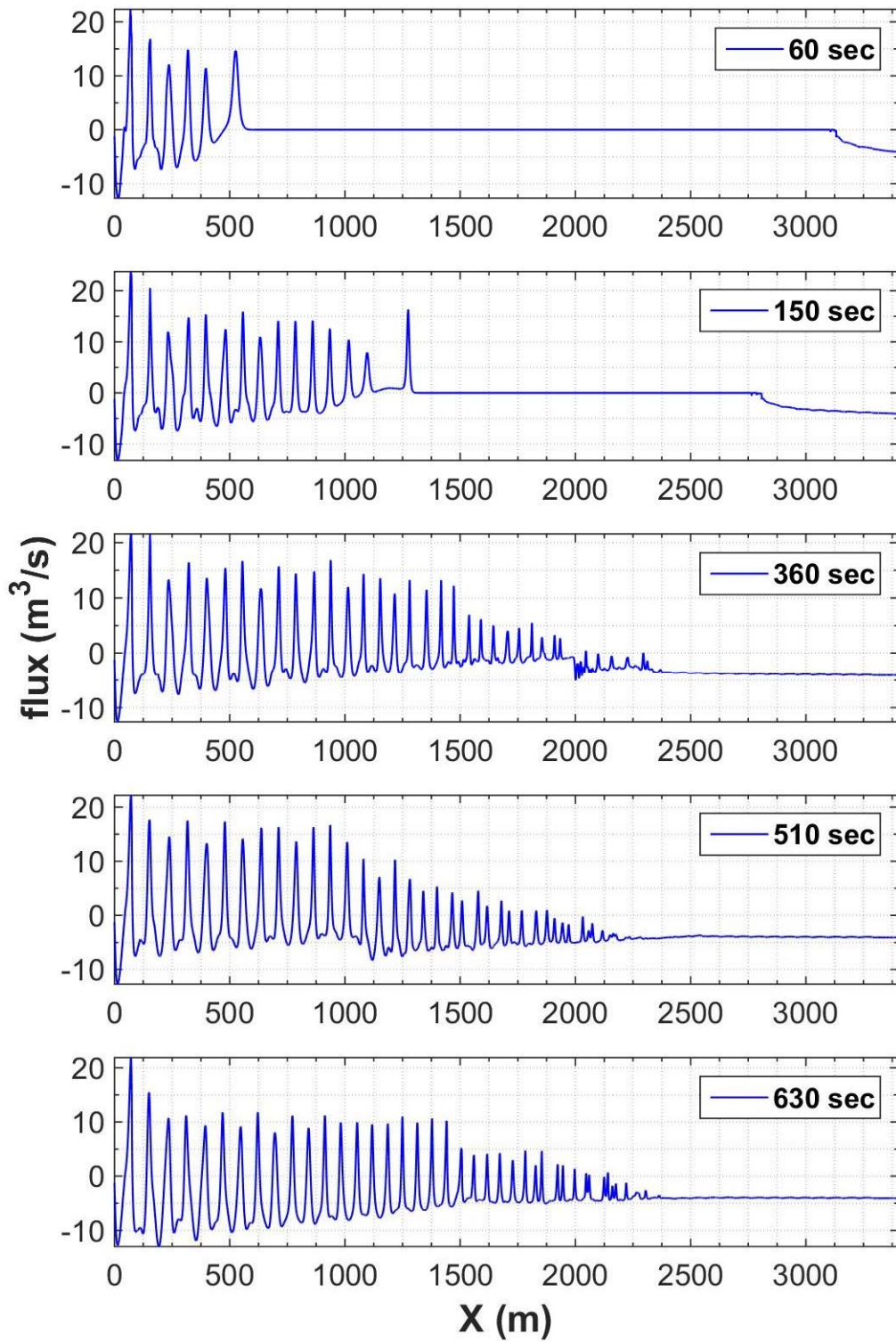


圖 4.8. 第一次模擬在時間第 60、150、360、510 和 630 秒的水平流量分布。(右邊界流量-4 立方米每秒)

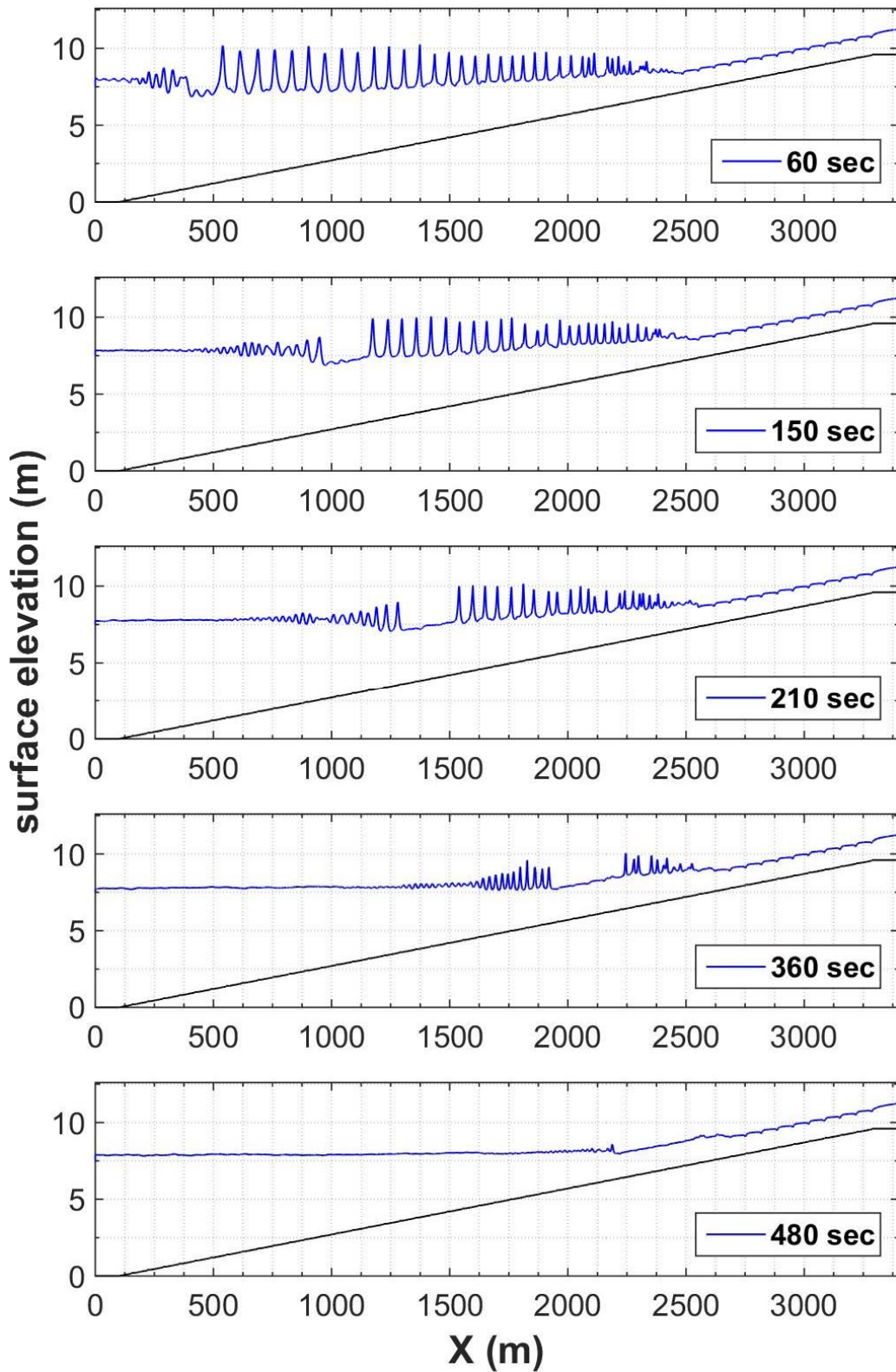


圖 4.9. 第二次模擬在時間第 60、150、210、360 和 480 秒的空間水位分布。(右邊界流量-4 立方米每秒)

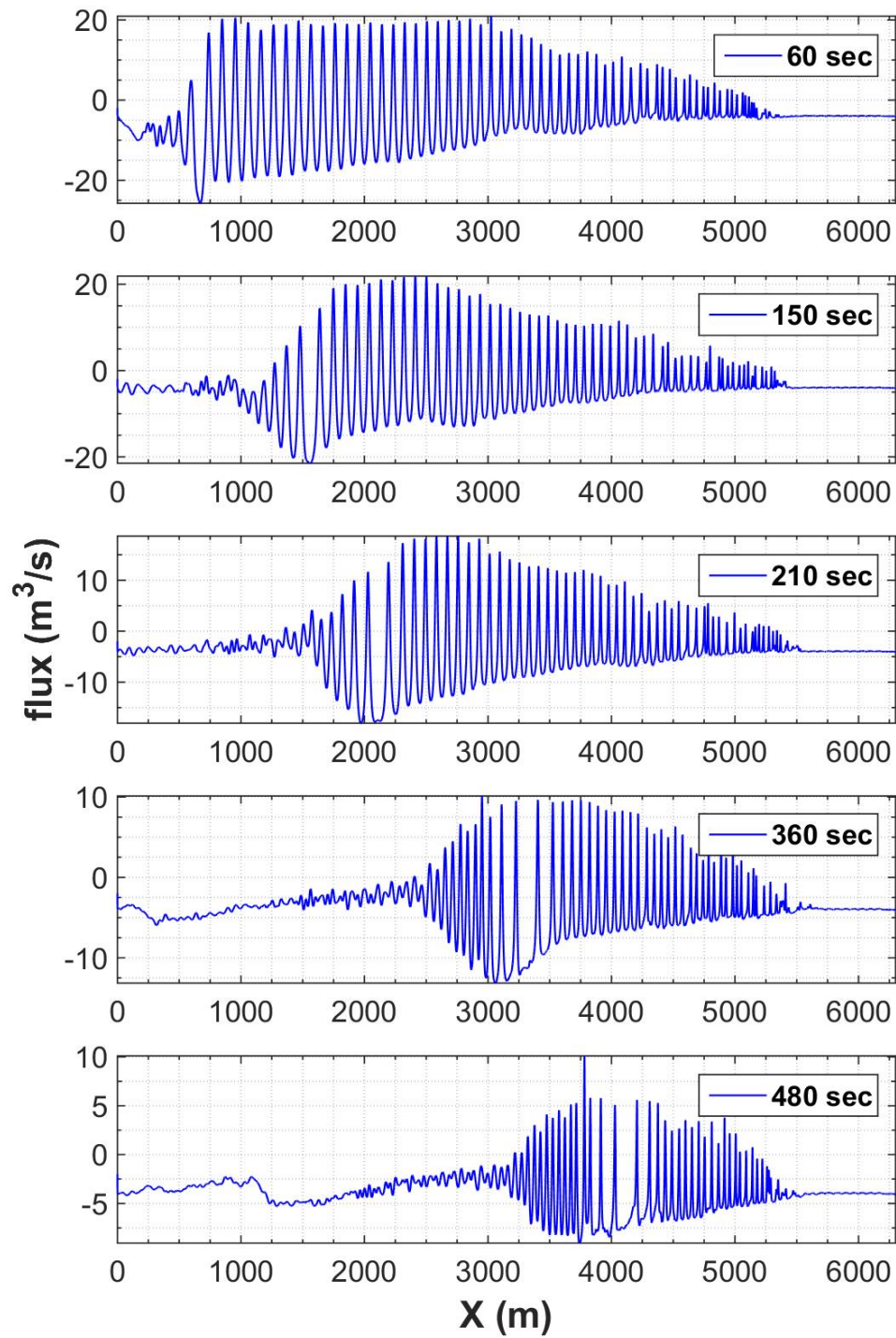


圖 4.10 第二次模擬在時間第 60、150、210、360 和 480 秒的水平流量分布。(右邊界流量-4 立方米每秒)

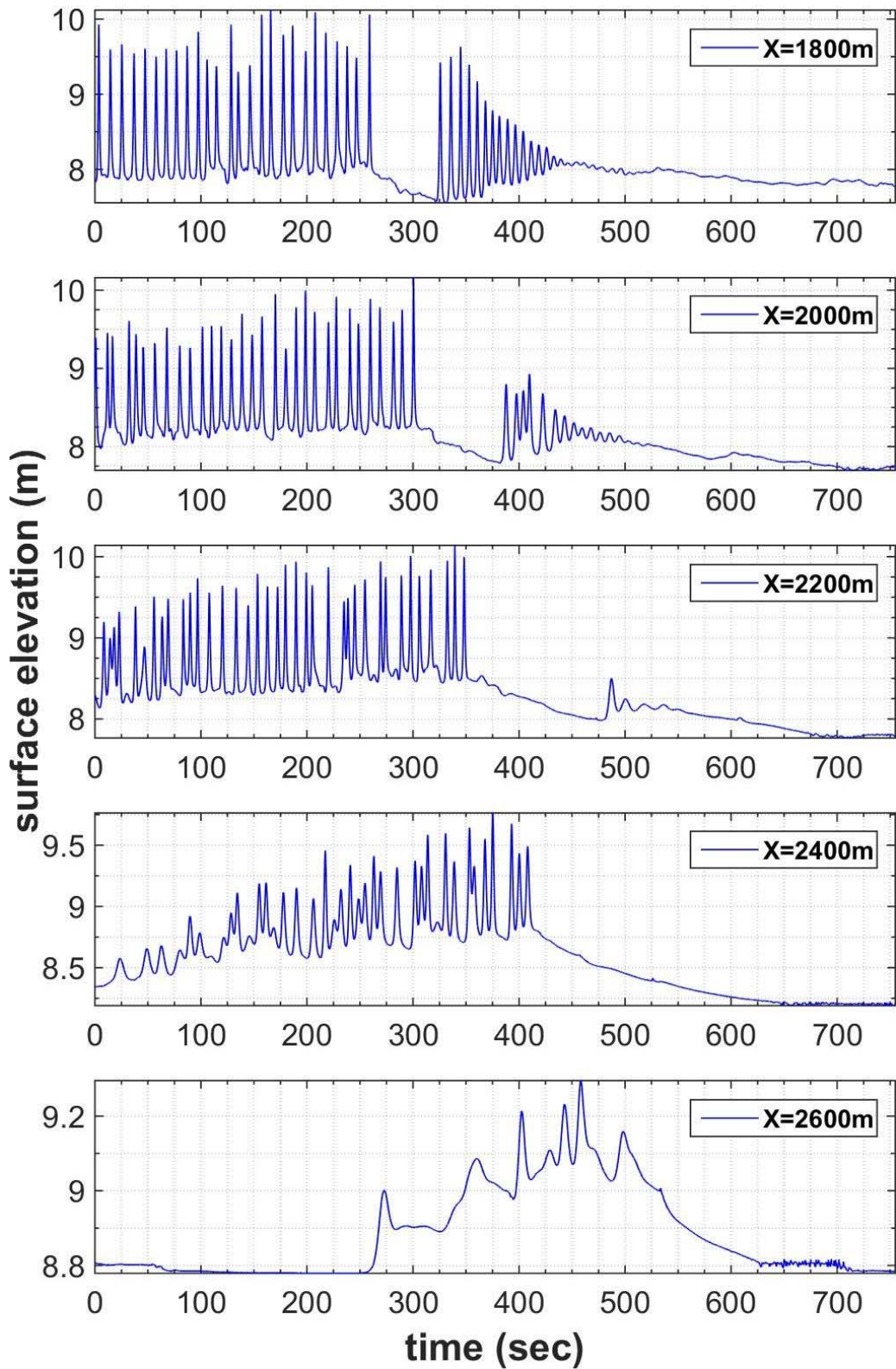


圖 4.11 第二次模擬 $X=1800$ 、 2000 、 2200 、 2400 、 2600 m 的水位時序列。(右邊界流量-4 立方米每秒)

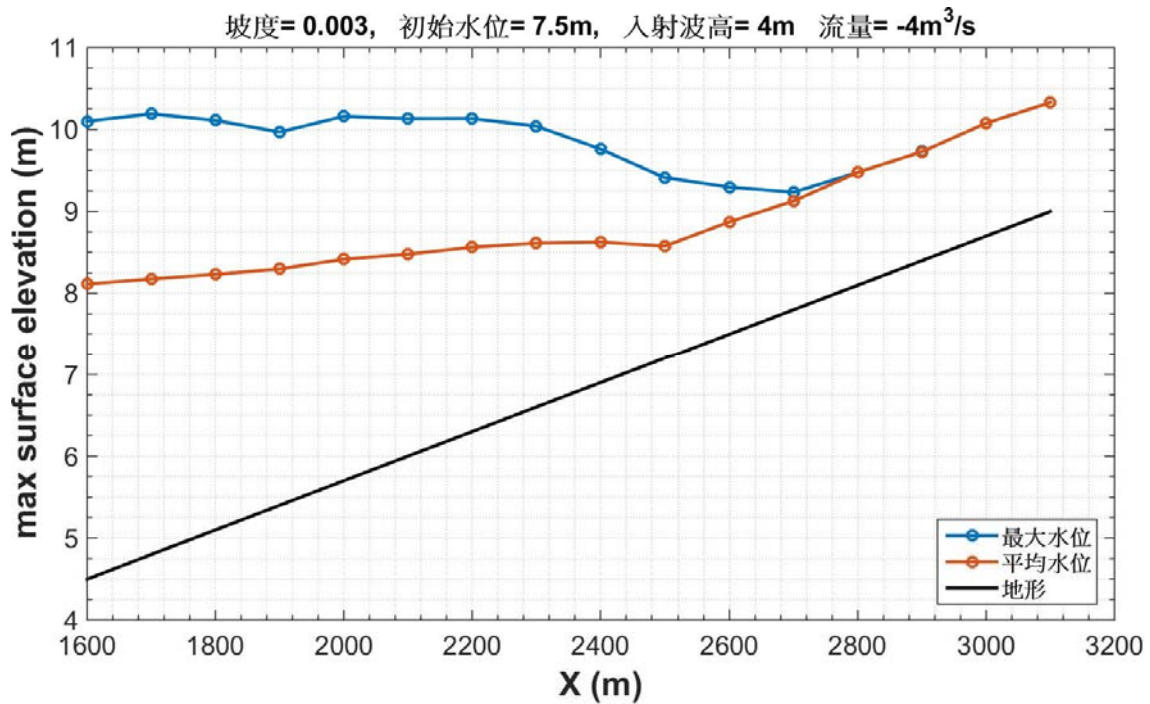


圖 4.12 16 個位置各別對應的水位時序列最大值和平均水位。(右邊界流量-4 立方米每秒)

4.2.3 短距離模擬結果

為了解空間上的最大水位變化，在此從 440 個模擬取幾個例子來作探討。圖 4.13 為坡度 0.003，入射波高 4m，流量-4 立方米每秒在 4 種不同初始水位的模擬結果中，16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值。該圖顯示流量為各點提供了約 1.4 米的水深。圖 4.14 為將最大值扣除各自的平均水位後，非零值的部分可視為由波浪造成水位影響。由圖可知每種初始水位條件皆呈現越往上坡，水位值皆呈現下降的趨勢。而隨著初始水位的增加，波浪往上坡方向的影響距離亦從初始水位 4.5 m 的 1600 m 增加到初始水位 9 m 的 3100 m。對每個座標點而言，只要該點在波浪影響距離之內，其水位值皆隨著初始水位增加而增加。故初始水位的提升能增加波浪所影響的水位值以及影響距離。

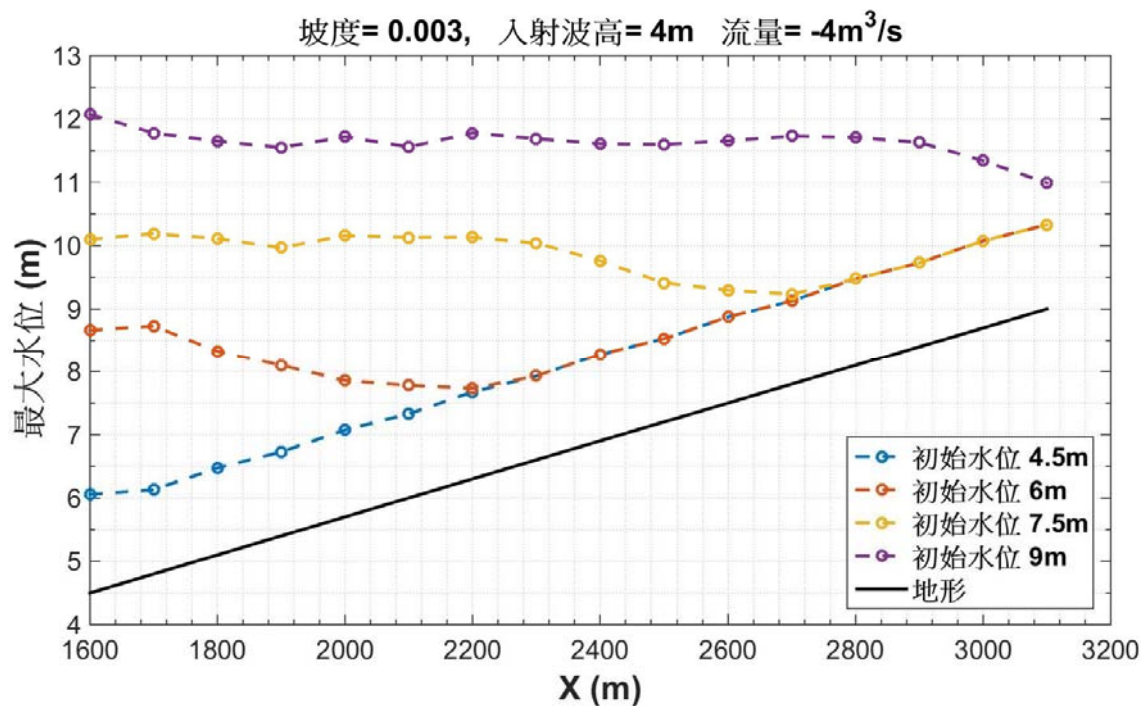


圖 4.13 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量 -4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點水位時序列最大值。

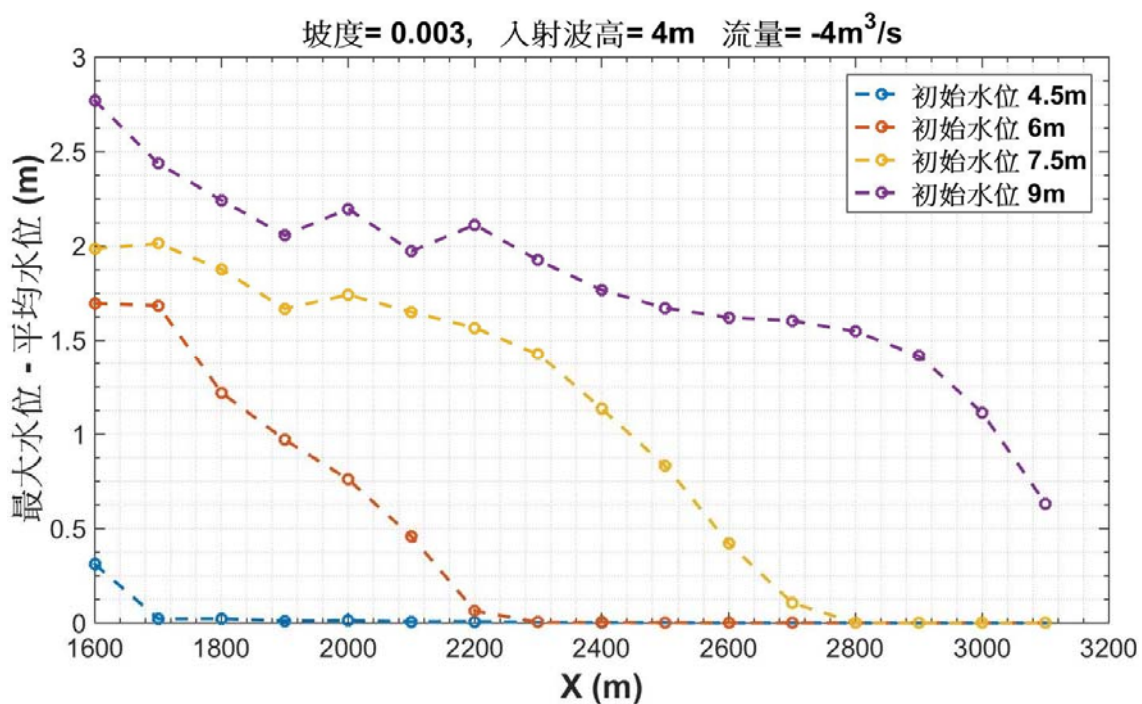


圖 4.14 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量 -4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點最大水位減平均水位值。

為了解不同入射波高的影響，在此從坡度 0.003，初始水位 7.5 m，流量 -4 立方米每秒對 5 種入射波高的模擬結果中，取 16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值作比較。如圖 4.15 所示，在 X=2300 到 2600m 之間，入射波高 2 m 與 6 m 水位影響差距約在 0.5 到 0.7 m 之間，而在 X=1600 到 2200 m 區間的差別則不足 0.5 m，表示不同入射波高的影響可能僅在某些特定區間才有較大的差別性。圖 4.16 為將圖 4.15 的最大值扣除各自的平均水位後的波浪影響值，X 於 2800 m 之後皆為零值，表示在入射波高 6 m 以下的情況所造成的水位的影響距離僅在這之前。另外在 X=2200 到 2700 m 區間大致呈現水位隨入射波高增加而增加，但在 X=2200 到 2700 m 區間則趨勢較無規律性。

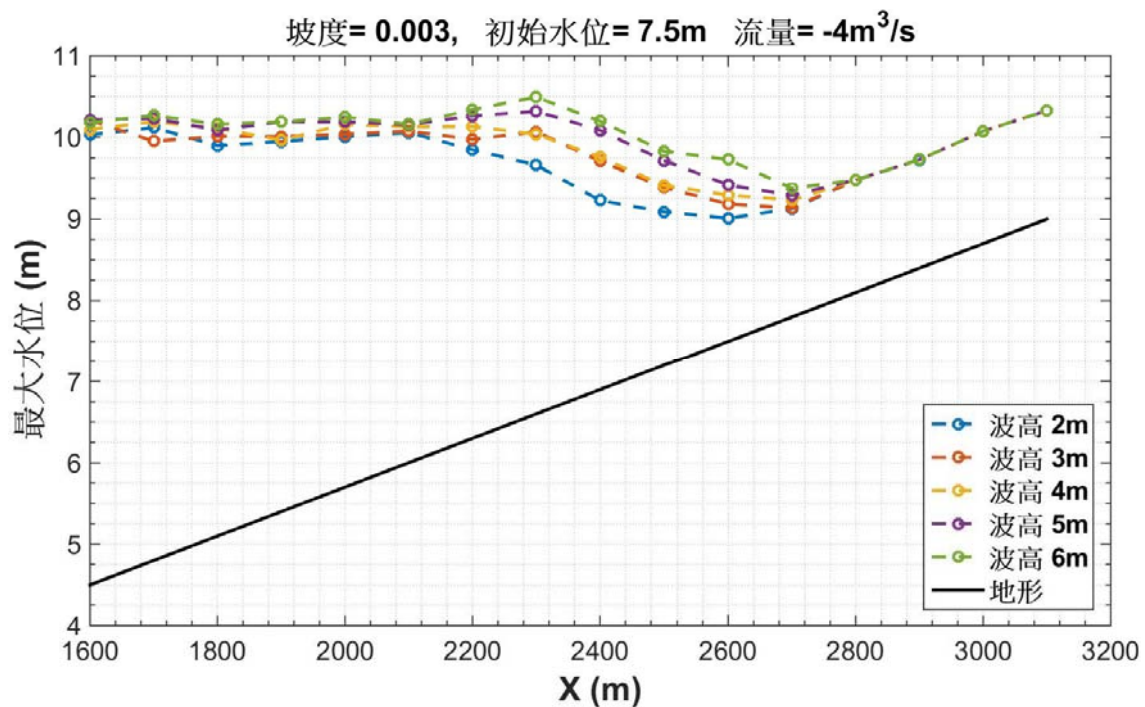


圖 4.15 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，流量 -4 立方米每秒在不同波高的 16 個定點水位時序列最大值。

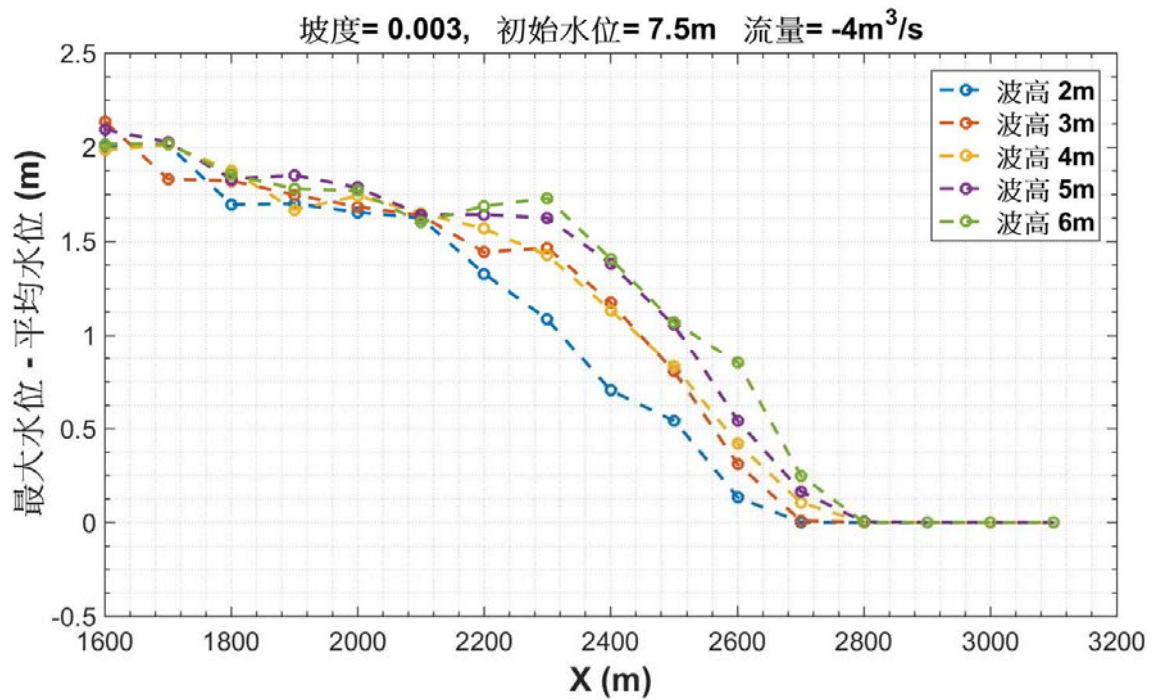


圖 4.16 坡度 0.003，入射波高 4 m，流量 -4 立方米每秒在不同初始水位的 16 個定點最大水位減平均水位值。

本文從坡度 0.003，初始水位 7.5 m 且入射波高 4m 對 5 種流量的模擬結果中，取 16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值作比較，藉以了解流量帶來的可能影響。如圖 4.17 所示，除了 $X=1600\text{ m}$ 且流量 0 的情況之外，其他的值皆是流量越大，水位越高。圖 4.18 為將圖 4.17 的最大值扣除各自的平均水位後的波浪影響值，變化趨勢大致呈現當流量越大，水位受波浪的影響越大，且影響距離越長。圖 4.18 在 $X=1600\text{ m}$ 且無流量出現 2.5 米較大的水位值，該值可從圖 4.19 的水位時序列得知由入射波群的第一個波受地形影響而快速淺化所造成，但當波群傳播到 $X=1700\text{ m}$ 時，第一波因波高過大而破碎，其波高僅剩原來的一半。

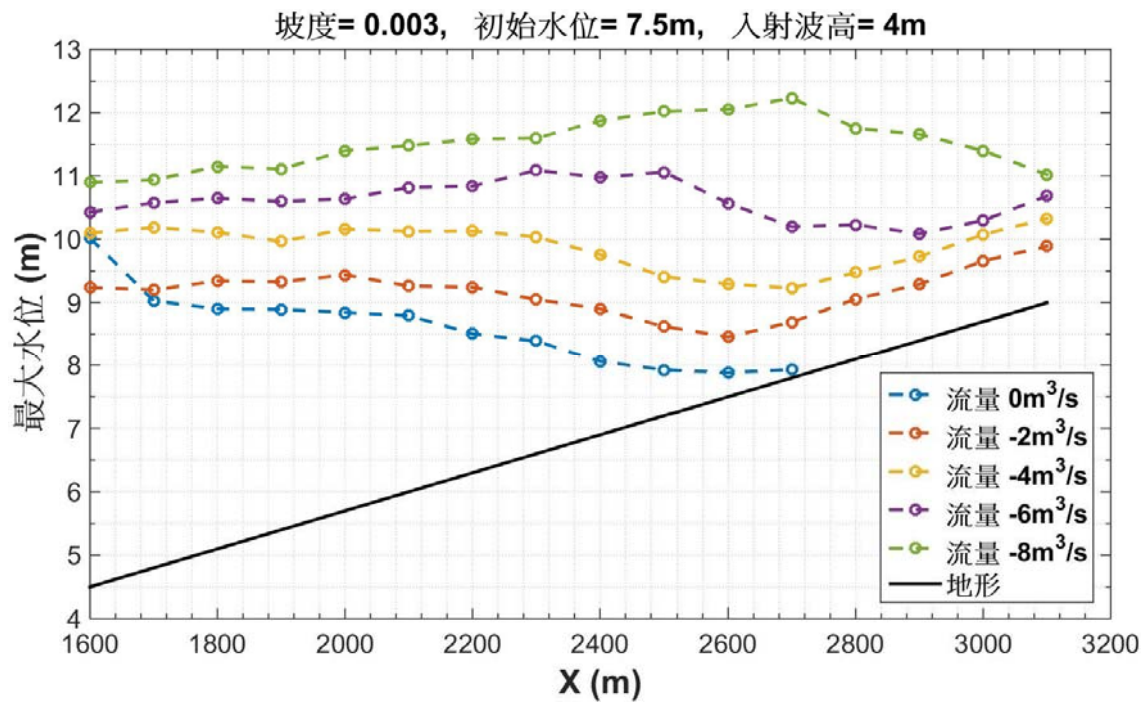


圖 4.17. 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 在不同流量的 16 個定點水位時序列最大值。

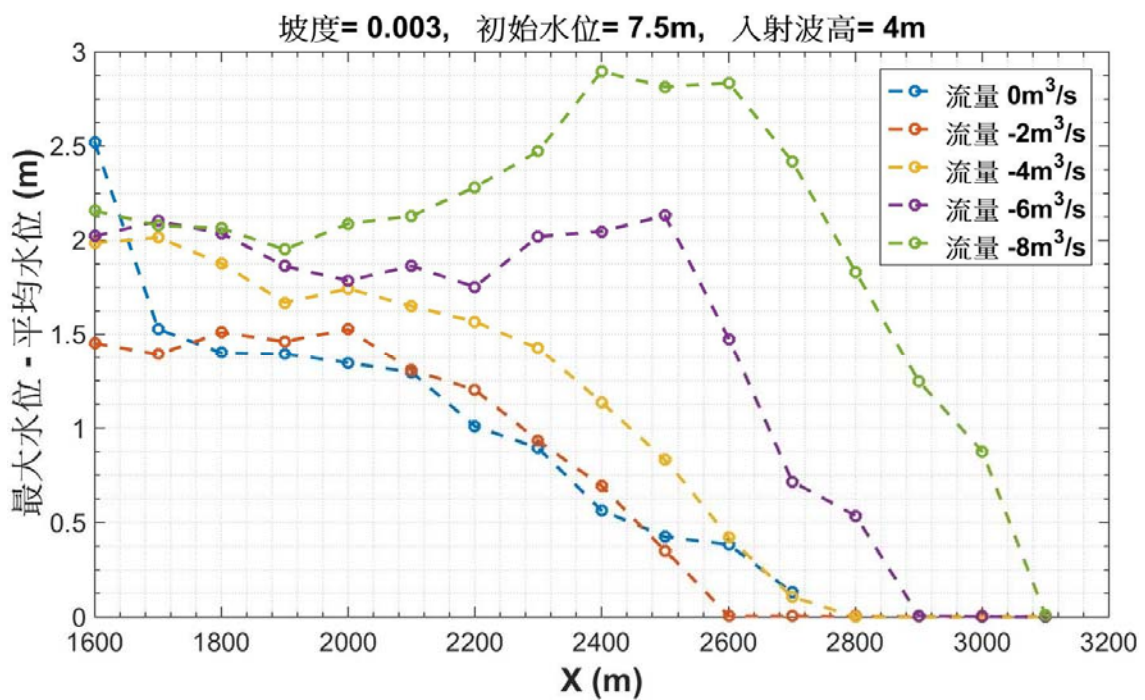


圖 4.18. 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 在不同流量的 16 個定點最大水位減平均水位值。

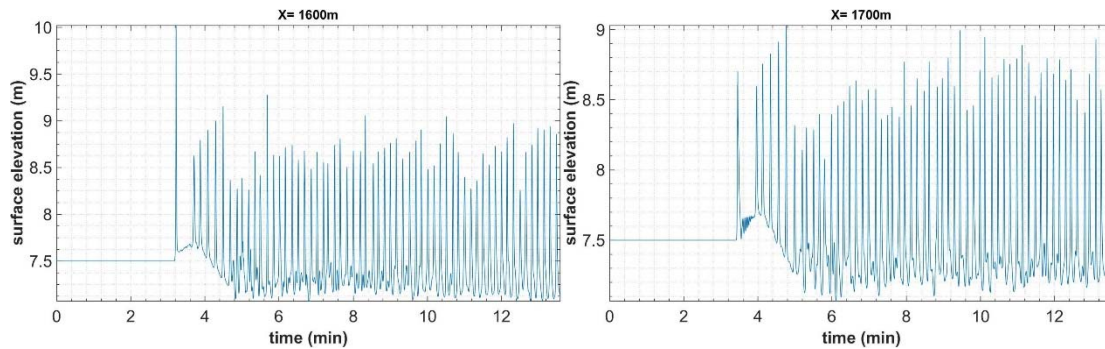


圖 4.19. 坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m，無流量在 X=1600 m(左)和 1700 m(右)的水位時序列。S3w3a3

在此以對 5 種坡度，4 種初始水位，5 種波高，以及 5 種流量在位置 X=2000 m 所造成的最大水位為例作探討。所有情境模擬在 X=2000 m 的最大水位表如表 4.2 和表 4.3。該表顯示當坡度為 0.002 且初始水位為 3m 時，絕大部分的情況即使入射波高不同，最大水位值也不會改變，代表在這些情況下不會受到波浪影響。同樣的情況也出現在坡度 0.003 且初始水位 4.5m 的所有情境。另外最大水位會隨條件設定的流量和初始水位增加而提升。但入射波高的增加，並非皆使最大水位增加，原因在於同一坡度下，因初始水位、流量以及入射波高的條件差異，讓入射波經快速淺化而使波高急速增加後破碎的空間區段也不同。在 440 個模擬中，將 16 個 X 座標水位時序列扣除平均水位後得到波浪造成的水位差，再從 16 點中取出最大值的發生位置列於表 4.4 和表 4.5。在間隔 100m 取 16 點的粗造空間解析度之下，仍可看出受波浪影響較大的水位變化區段有些差異性，這些差異性受到不同情境下的快速淺化區所影響。

由於對跨河橋梁的通行安全而言，水位距梁底的距離較為重要，故在此分別將 16 個 X 點的最大水位扣除地形高程所得的最大水深值製作成表格列於附錄(附錄三)以供參考。之後可利用梁底距河床高度扣除最大水深值取得水位距梁底淨空以作為封橋標準的參考。

表 4.2. 坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在座標 X=2000 m 的最
大水位(單位：m)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	2.02	3.30	4.71	0.00	4.14	5.70	7.47	0.00	6.41	8.83	11.16
	-2	3.13	3.09	3.70	4.92	4.75	4.88	6.81	7.97	6.66	6.91	9.26	10.98
	-4	3.68	3.65	4.05	5.16	5.22	5.27	7.58	8.61	7.07	7.58	10.01	11.21
	-6	4.12	4.07	4.42	5.25	5.58	5.62	8.46	8.97	7.30	8.75	10.49	11.57
	-8	4.52	4.45	4.78	5.58	5.93	5.94	9.05	9.53	7.53	9.93	11.26	12.12
3	0		2.05	3.31	4.85	0.00	4.15	5.77	7.34	0.00	6.31	9.14	11.20
	-2		3.12	3.74	5.07	4.75	4.89	6.66	8.01	6.66	7.13	9.23	11.30
	-4		3.67	4.11	5.21	5.22	5.29	6.40	8.42	7.07	7.65	10.04	11.73
	-6		4.10	4.50	5.38	5.58	5.64	6.72	8.98	7.30	9.03	10.60	11.99
	-8		4.48	4.84	5.61	5.93	5.94	6.93	9.58	7.53	9.87	11.27	12.48
4	0			3.36	5.02	0.00	4.18	5.62	7.10	0.00	6.32	8.85	11.32
	-2			3.85	5.11	4.75	5.01	6.93	7.64	6.65	7.20	9.44	11.29
	-4			4.19	5.23	5.22	5.37	6.54	8.43	7.07	7.86	10.16	11.72
	-6			4.57	5.38	5.58	5.67	7.24	8.99	7.30	9.24	10.64	12.14
	-8			4.90	5.64	5.94	5.95	6.99	9.48	7.53	10.00	11.40	12.48
5	0				4.86		4.25	5.65	7.25	0.00	6.36	8.99	11.55
	-2				5.20		5.11	6.61	7.77	6.65	7.39	9.52	11.32
	-4				5.39		5.51	6.67	8.60	7.07	8.23	10.19	11.69
	-6				5.53		5.72	6.87	9.06	7.30	9.42	10.57	12.12
	-8				5.73		6.02	6.96	9.72	7.53	10.21	11.30	12.51
6	0						4.34	5.73	7.58	0.00	6.39	8.93	10.96
	-2						5.21	6.64	7.72	6.65	7.86	9.43	10.79
	-4						5.56	6.81	8.27	7.07	8.24	10.25	11.68
	-6						5.82	7.13	9.00	7.31	9.52	10.73	12.03
	-8						6.07	7.29	9.71	7.52	10.29	11.37	12.43

附註：斜線表示無模擬該條件，而 0 值代表未出現水位。

表 4.3 坡度 0.004 到 0.005 的短距離情境模擬在座標 X=2000 m 的最大
水位(單位：m)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	8.56	11.56	14.14	0.00	10.68	14.50	16.76
	-2	8.54	9.02	11.80	13.97	10.45	11.32	14.32	16.92
	-4	8.89	9.67	12.37	14.18	10.62	11.84	14.81	17.21
	-6	9.06	10.48	12.95	14.50	10.91	12.13	15.20	17.20
	-8	9.27	11.97	13.35	14.67	11.15	13.61	15.73	17.62
3	0	0.00	8.68	12.11	14.87	0.00	10.93	14.83	18.03
	-2	8.55	9.01	12.02	14.56	10.46	11.38	14.41	17.47
	-4	8.89	9.72	12.75	14.91	10.62	11.81	15.12	17.74
	-6	9.06	11.02	13.04	15.32	10.91	12.78	15.39	18.29
	-8	9.27	12.24	13.52	15.22	11.15	13.90	15.84	18.21
4	0	0.00	8.72	12.22	14.94	0.00	10.76	15.44	18.54
	-2	8.55	9.49	11.78	14.79	10.44	11.13	14.35	17.98
	-4	8.89	9.96	12.55	14.83	10.62	11.49	15.31	18.02
	-6	9.06	11.25	13.13	15.02	10.91	12.89	15.45	18.43
	-8	9.27	12.13	13.59	15.40	11.15	14.01	16.12	18.68
5	0	0.00	8.56	12.39	14.67	0.00	11.02	15.13	18.22
	-2	8.55	9.45	12.08	14.39	10.45	11.54	14.49	18.49
	-4	8.89	9.85	12.59	14.61	10.62	11.82	14.89	18.43
	-6	9.07	11.41	13.16	14.96	10.91	12.90	15.44	18.32
	-8	9.27	12.23	13.58	15.30	11.15	13.79	16.02	18.61
6	0	0.00	8.64	12.05	15.09	0.00	11.11	15.62	18.51
	-2	8.55	9.44	12.06	14.52	10.44	11.55	14.32	18.10
	-4	8.89	9.81	12.60	14.71	10.62	12.15	15.09	17.98
	-6	9.06	10.80	13.05	15.10	10.91	13.02	15.48	18.18
	-8	9.27	12.40	13.79	15.37	11.15	13.97	16.00	18.35

附註：0 值代表未出現水位。

表 4.4 坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序

列扣除平均水位後，發生最大差值的 X 座標(單位：m)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	1600	1600	1600	1600	NaN	1600	1600	1700	1600	1600	1700	1700
	-2	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1800	1600	1600	1600	2200
	-4	1600	1700	1600	1600	1600	1600	2100	1900	1600	1600	1700	2100
	-6	1600	1600	1600	1600	1600	1600	2300	2900	1600	1800	2400	3000
	-8	1600	1600	1900	1600	1600	1600	2200	2900	1600	1800	2400	3000
3	0		1600	1600	1600	NaN	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
	-2		1600	1600	1700	1600	1600	1800	1600	1600	1600	1600	1900
	-4		1600	1600	1600	1600	1600	1600	2700	1600	1600	1600	1900
	-6		1600	1900	1700	1600	1600	1600	2700	1600	1900	2400	1700
	-8		1900	2000	1800	1600	1600	1600	2900	2700	1900	2400	3000
4	0			1600	1600	NaN	1600	1600	1800	1600	1600	1600	1600
	-2			1600	1600	1600	1600	2000	1600	1600	1600	2000	1800
	-4			1600	1600	1600	1600	1600	2000	1600	1600	1700	1600
	-6			1600	1600	1600	1600	1700	2700	1600	1900	2500	1600
	-8			1700	1600	1600	1600	1600	2500	2700	2000	2400	3000
5	0				1600		1600	1600	1700	1600	1600	1600	1900
	-2				1700		1600	1700	1600	1600	1600	1600	1700
	-4				1600		1600	1600	2000	1600	1600	1600	1700
	-6				1600		1800	1600	3000	1600	2000	2500	1600
	-8				1600		1600	1600	3100	2700	2000	2600	3000
6	0						1600	1600	1600	1800	1600	1600	1600
	-2						1600	1700	1600	1600	1700	1700	1800
	-4						1600	1600	2300	1600	1600	1700	1600
	-6						1600	1600	2600	1600	2000	2500	1800
	-8						1600	1600	2900	2700	2000	2600	3000

附註：斜線表示無模擬該條件，NaN 代表所有位置受波浪影響小於 1 公分。

表 4.5 坡度 0.001 到 0.003 的短距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序列扣除平均水位後，發生最大差值的 X 座標。(單位：m)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	1600	1600	1600	2100	1600	1600	1700	2300
	-2	1800	1600	1800	2300	1600	1600	1900	2400
	-4	1600	1600	1800	2300	1600	1600	1900	2400
	-6	1600	1600	1800	2100	2000	1600	1900	2300
	-8	1600	2000	2500	2900	3100	2000	2500	2900
3	0	1600	1600	1700	1700	1800	1700	1800	1900
	-2	1600	1700	1600	1600	1600	1600	1600	2200
	-4	1600	1600	1600	2000	1600	1600	1700	2100
	-6	1600	1900	1600	1700	1600	1600	1700	2000
	-8	1600	2000	2500	1600	1600	2000	1700	3000
4	0	1600	1600	1600	1800	1800	1600	1600	1600
	-2	1600	1600	1700	2000	1600	1700	1700	1600
	-4	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
	-6	1600	1600	1600	1800	1600	1600	1600	1600
	-8	1600	2100	2600	1600	1600	2000	1600	1800
5	0	1600	1600	1700	1600	1800	1600	1900	1800
	-2	1600	1600	1600	1900	1600	1600	1600	2000
	-4	1600	1700	1600	1700	1600	1600	1600	1900
	-6	1600	2000	1700	1700	1600	1600	1600	1800
	-8	1600	2000	2500	1600	1600	2000	2500	1700
6	0	1600	1600	1600	2100	1600	1600	1800	1700
	-2	1600	1600	1600	1900	1600	1600	1600	2000
	-4	1600	1800	1600	1800	1600	1700	1600	1800
	-6	1600	1600	1600	1700	1600	1700	1600	1800
	-8	1600	2000	2600	1600	1600	2100	1600	1700

4.2.4 長距離模擬設定

為了瞭解當同樣條件的入射波較長距離入射時所產生的不同影響，在此將模式區域設定的水平長度由原本的 3.4km 增加為 6.3km，高度 Y 方向則對應不同的入射波高、坡度、初始水位和流量等不同條件而有不同的高度設定，主要確保水位震盪不會超出模式高度。模式地形在 $X=0$ 到 6200 m 處為單一坡度的斜坡區，靠近右邊界 $X=6200$ 到 6300 m 處的放流區為均一高程的平台。另外為了減少模式可能會出現的不穩定擾動，在此進行一些地形微調。若模式網格的固體部分所占比例超過網格體積的 80% 時，直接將該網格設定為不含水的 100% 固體。

模式的網格解析度在 X 方向為 0.5 m，Y 方向解解析度為 0.2 m。時間解析為調整式的時間步長。模擬時間同樣依不同情境而有不同。在無流量的條件下，主要以第一個波到達陸地後再模擬 2 分鐘以上。而有流量的條件下，則至少模擬到最後一個波破碎或離開模式區域。

本研究模擬 3 種入射波高分別在 3 種坡度地形(圖 4.20)、4 種初始水位以及 5 流量條件下的傳播情況(圖 4.21)。由於當入射波高大於初始水深時，會導致入射波高從邊界入射後直接破碎，所以本研究在扣除這些情況後所作的情境模擬共有 180 個。

模式的初始條件為流速皆 0 的無擾動單一水位的水平面，對應 5 種坡度各有 4 個不同的初始水位條件(表 4.6)。在邊界條件方面，每次模擬於左邊界從週期 10 秒且波高為 2、3 和 4 公尺等 3 種不同正弦波擇一持續的入射。而右邊界使用固定流量的條件，各有 0、-2、-4、-6 以及 -8 立方米每秒等 5 種不同條件。

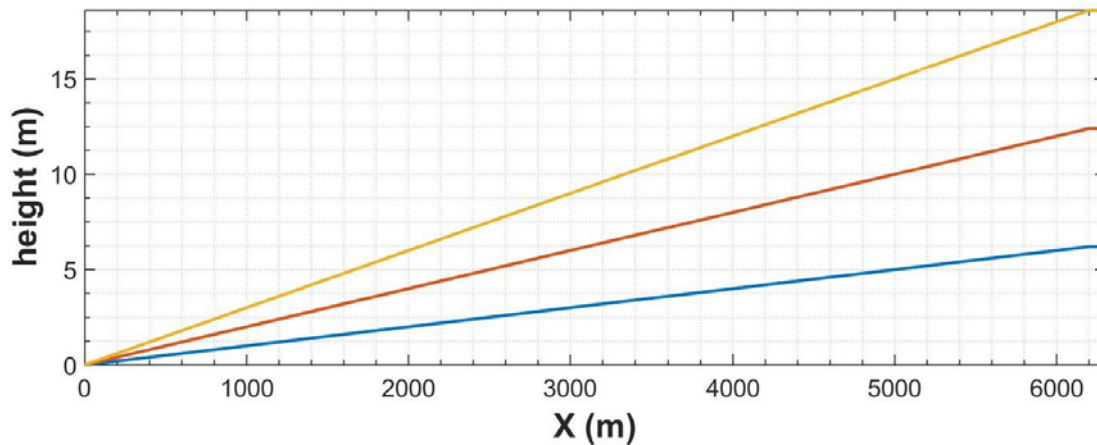


圖 4.20 長距離模擬的 3 種坡度地形(坡度 0.001 到 0.003)

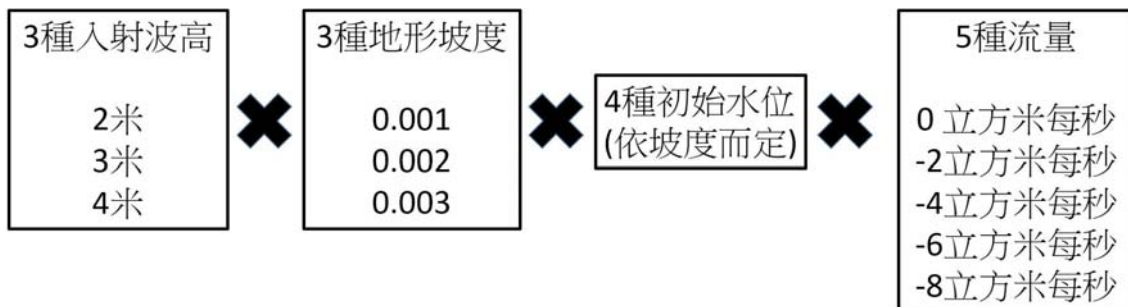


圖 4.21 模式模擬條件

表 4.6 3 種坡度所使用的 4 種初始水位

坡度	初始水位(m)			
	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4
0.001	4.5	5	6	7
0.002	9	10	11	12
0.003	13.5	15	16.5	18

長距離模擬與短距離模擬的流程相同(圖 4.3)，根據右邊界有、無流量而分成兩種流程。在無流量的情況下，由左邊界持續入射 10 秒週期的正弦波直到模擬結束後，從 $X=4500$ 到 6000 m 每間隔 100 m 取一個點，共取 16 個位置。最後從每個位置記錄的水位時序列中，分別取出最大水位值。以左邊界波高 4 m，坡度 0.003，初始水位 16.5 m 且右邊界無流量的模擬條件為例，全程模擬 1080 秒。圖 4.22 為模擬時間第 200、400、600、800 和 1000 秒的空間水位分布，而圖 4.23 為 X 座標

在 4600、4800、5000、5200、5400 m 的 5 個位置的水位時序列。模擬期間 16 個 X 位置所對應的水位時序列最大值如圖 4.24，其中 X 座標超過 5700 m 之後的值沒有標示，代表不受波浪的影響，且越往陸地方向的最大水位高程越低。

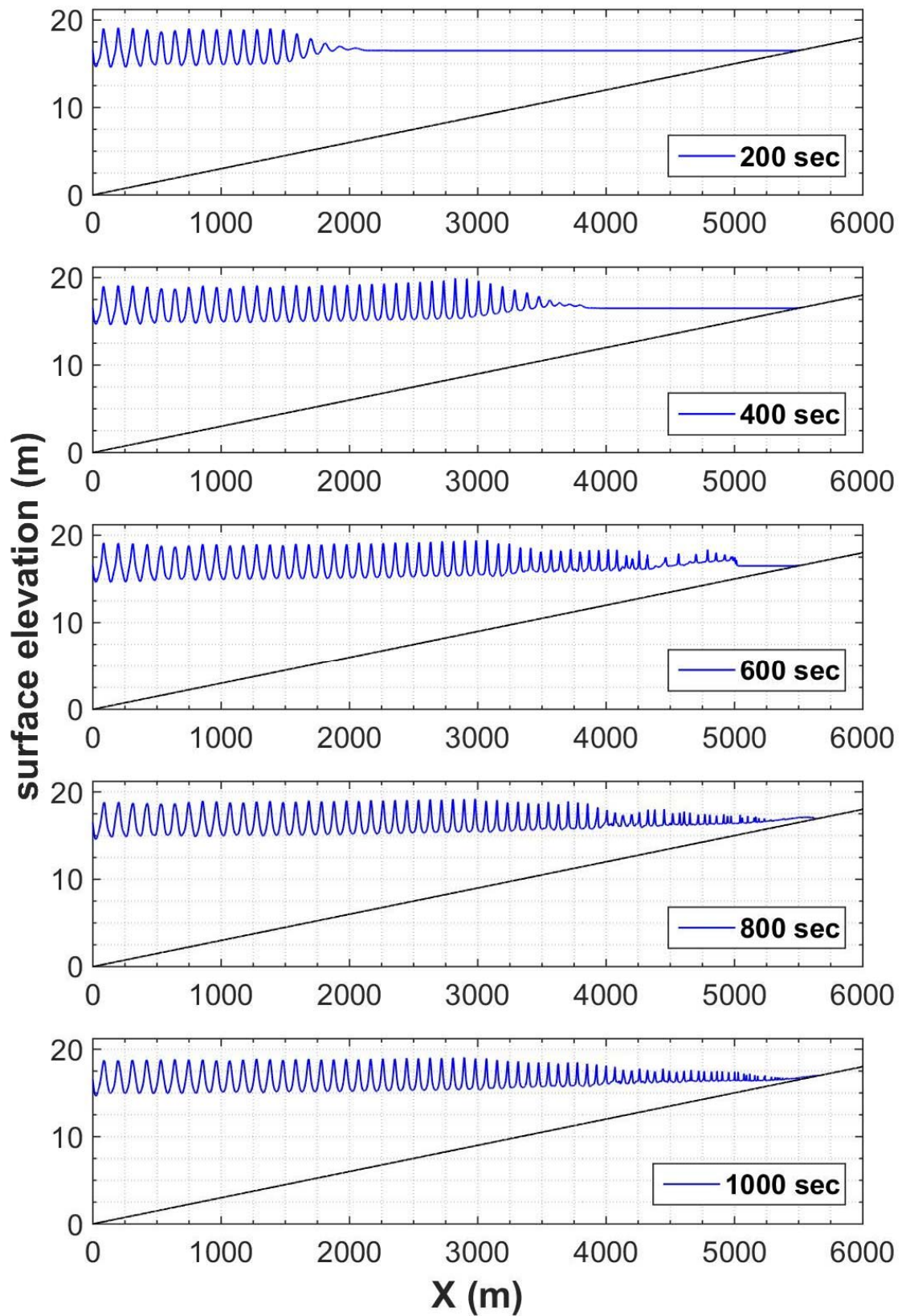


圖 4.22 時間第 200、400、600、800 和 1000 秒的空間水位分布。

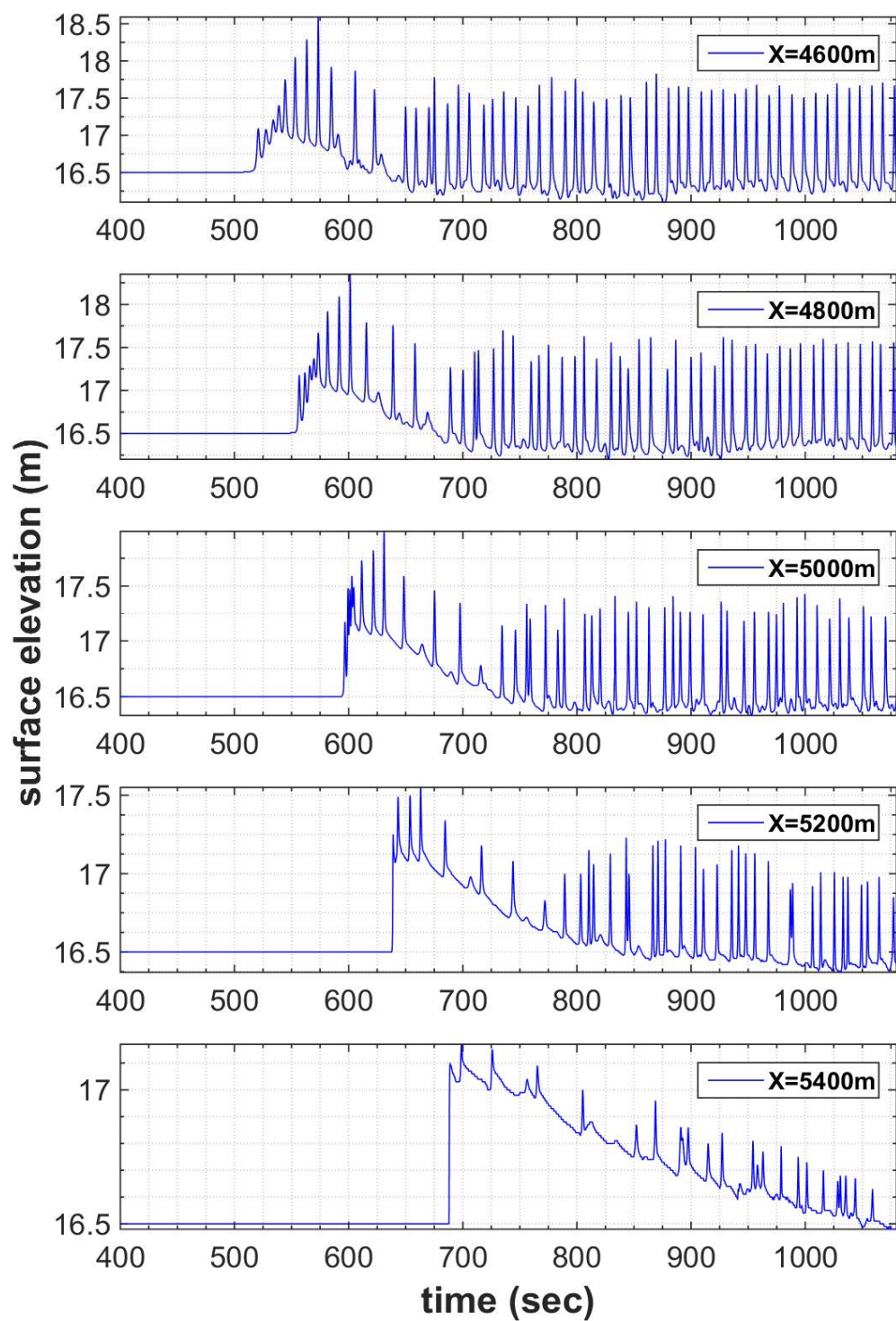


圖 4.23 $X=4600$ 、 4800 、 5000 、 5200 、 5400 m 的水位時序列。

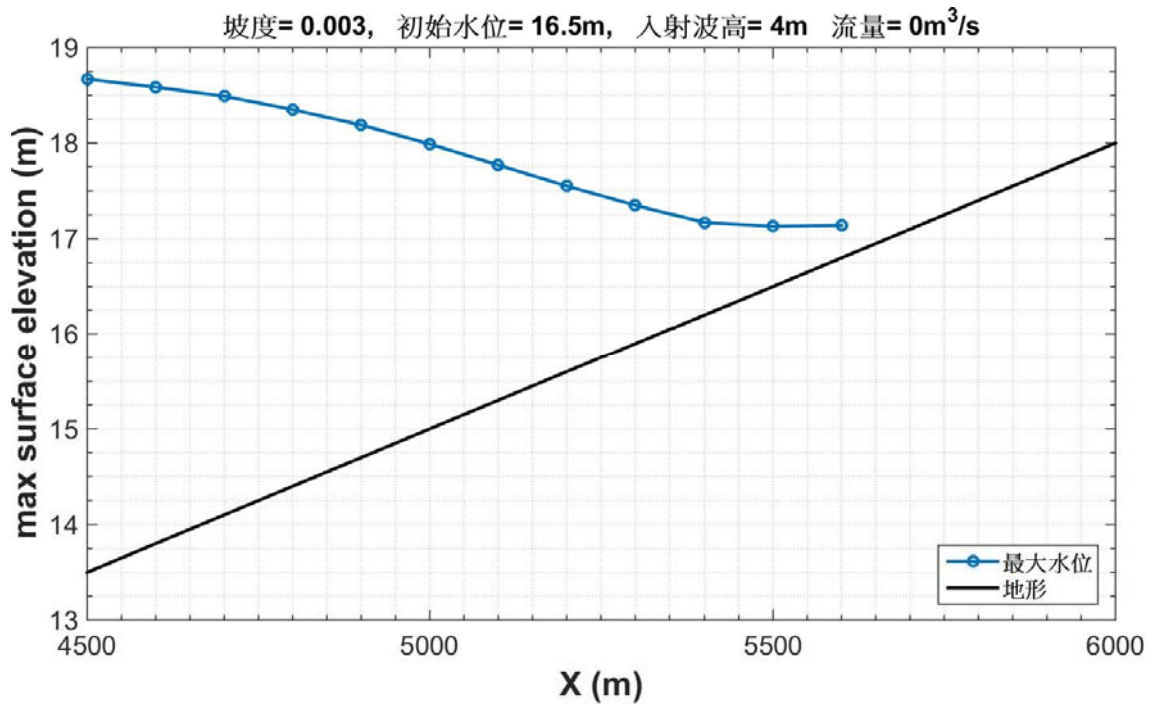


圖 4.24 16 個 X 位置所對應的水位最大值。

在有流量的情況下，則分為 2 次模擬。第 1 次模擬由左邊界持續入射正弦波，且右邊界同時加入一個穩定的-X 方向流量輸入，模擬直到流量的前端水位鋒面接近左邊界為止。由於流量鋒面到達左邊界後，模式無法依邊界流速和水位的變化正確造波，故當流量接近左邊界時，將左邊界由造波條件改為和右邊界同樣的-X 方向等流量輸出，進行第二次的模擬。待第二次模擬結束後，與無流量的情況一樣，從相同的 16 個位置水位時序列中，各別取出最大水位值。

在此以左邊界波高 4 m，坡度 0.003，初始水位 16.5 m 且右邊界流量-4 立方米每秒的模擬條件為例。第一次模擬的時間長度為 840 秒，模擬時間第 300、480、600、720 和 840 秒的空間水位分布和水平流量分布如圖 4.25 和圖 4.26。而第二次的模擬以第一次模擬結束時間第 840 秒的流速和水位作為初始條件，同時將左邊界條件更改為流量-4 立方米每秒後，繼續模擬 1000 秒。模擬時間第 60、300、600、720 和 900 秒的空間水位分布和水平流量分布如圖 4.27 和圖 4.28。圖 4.29 為 X 座標在 4600、4800、5000、5200、5400 m 的 5 個位置的水位時序列。另外擬期間 16 個位置各別對應的水位時序列最大值和平均水位如圖 4.30。

圖 4.30 顯示波浪的影響在 X 座標 4500 到 5700 m 之間造成水位變化(大於平均水位)。而 X 座標 5800 到 6000 m 之間約 1.3 m 的水深由-4 立方米每秒的流量所造成。

另外圖 4.29 顯示當左邊界的條件轉換後，在空間最左側形成一組干擾波群接在模式原有波群的末端往右傳播，例如圖 4.27 在時間第 300 秒且 X 座標介於 2000 到 2800m 區間的波群。從水位時序列的資料(圖 4.29)來看，在 X=4800 m 位置且時間介於 650 至 900 秒之間的水位震盪主要由干擾波群所引起，但仍不足以造成比原有波群更高的水位(650 秒以前)。

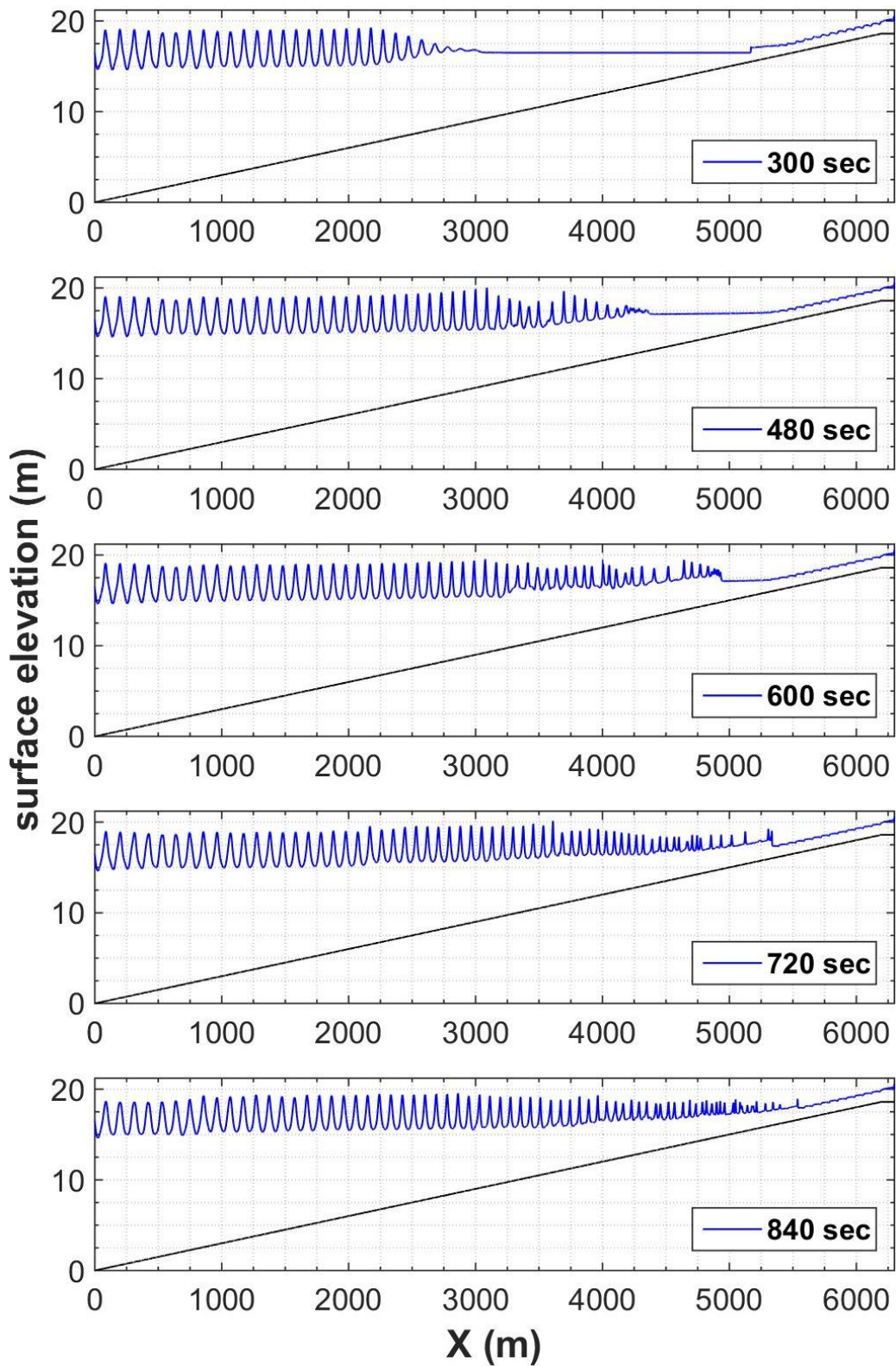


圖 4.25 第一次模擬在時間第 300、480、600、720 和 840 秒的空間水位分布。(右邊界流量-4 立方米每秒)

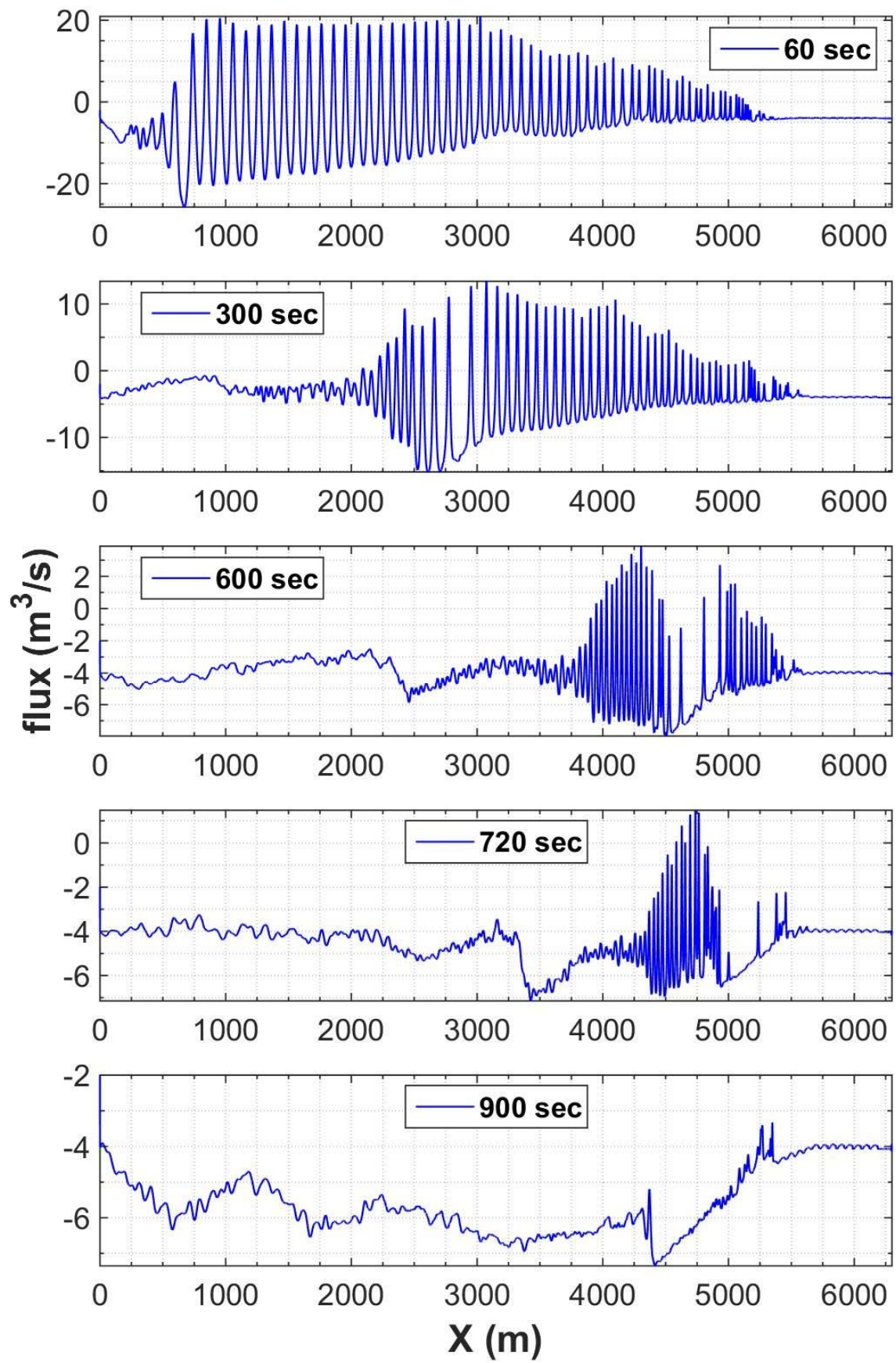


圖 4.26 第一次模擬在時間第 300、480、600、720 和 840 秒的水平流量分布。(右邊界流量-4 立方米每秒)

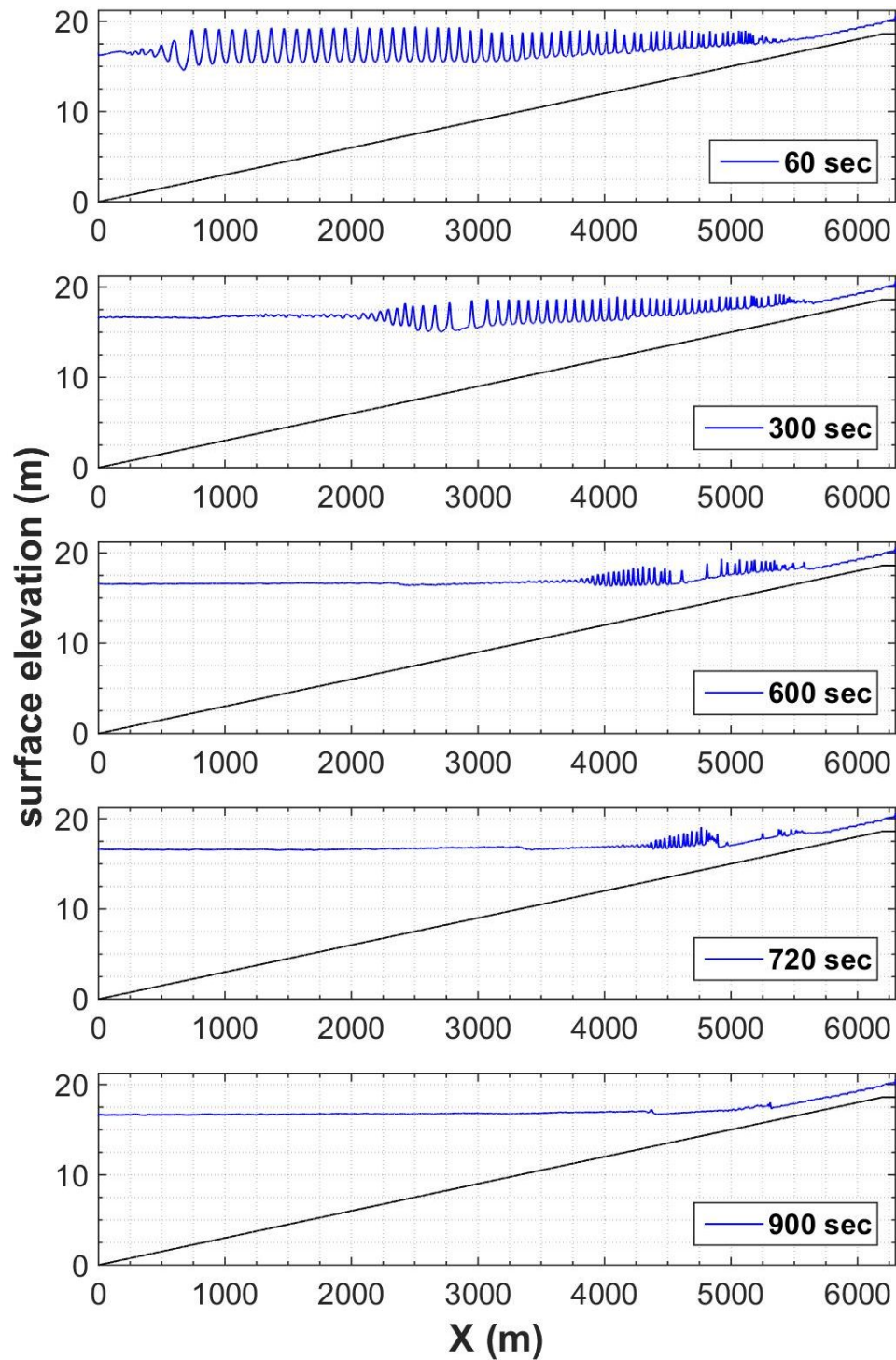


圖 4.27 第二次模擬在時間第 60、300、600、720 和 900 秒的空間水位分布。(右邊界流量-4 立方米每秒)

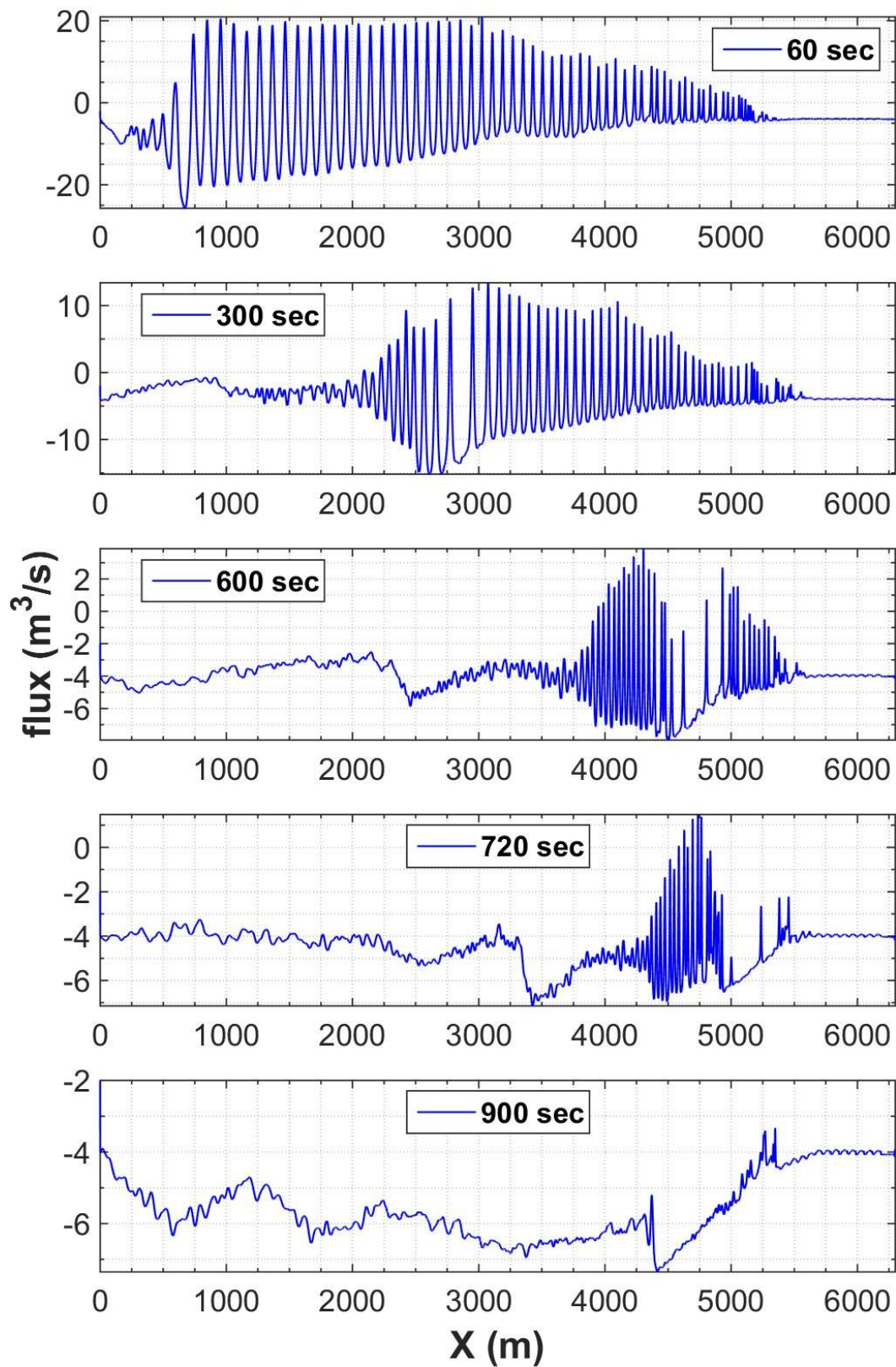


圖 4.28 第二次模擬在時間第 60、300、600、720 和 900 秒的水平流量分布。(右邊界流量-4 立方米每秒)

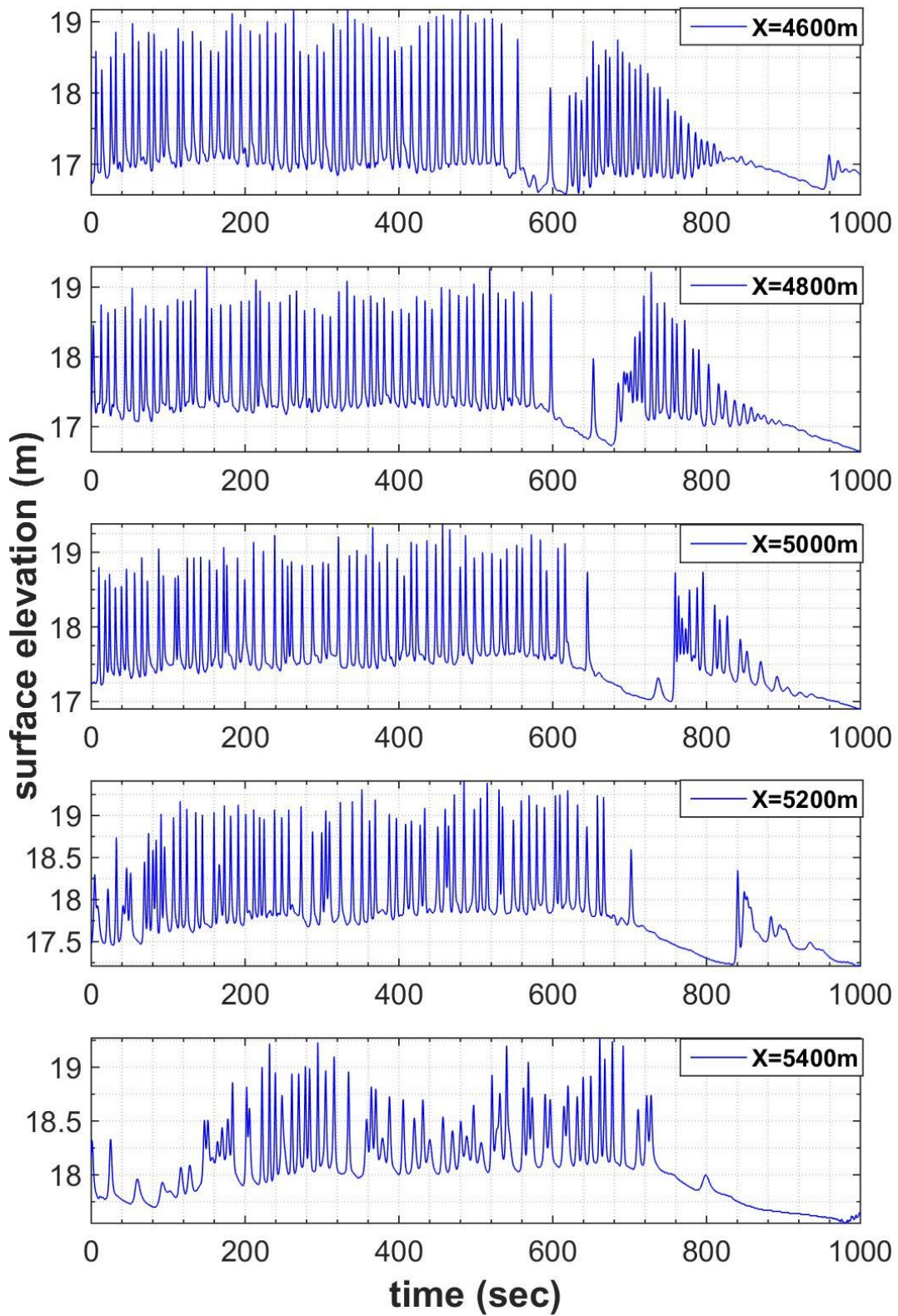


圖 4.29 第二次模擬 $X=4600$ 、 4800 、 5000 、 5200 、 5400 m 的水位時序列。(右邊界流量-4 立方米每秒)

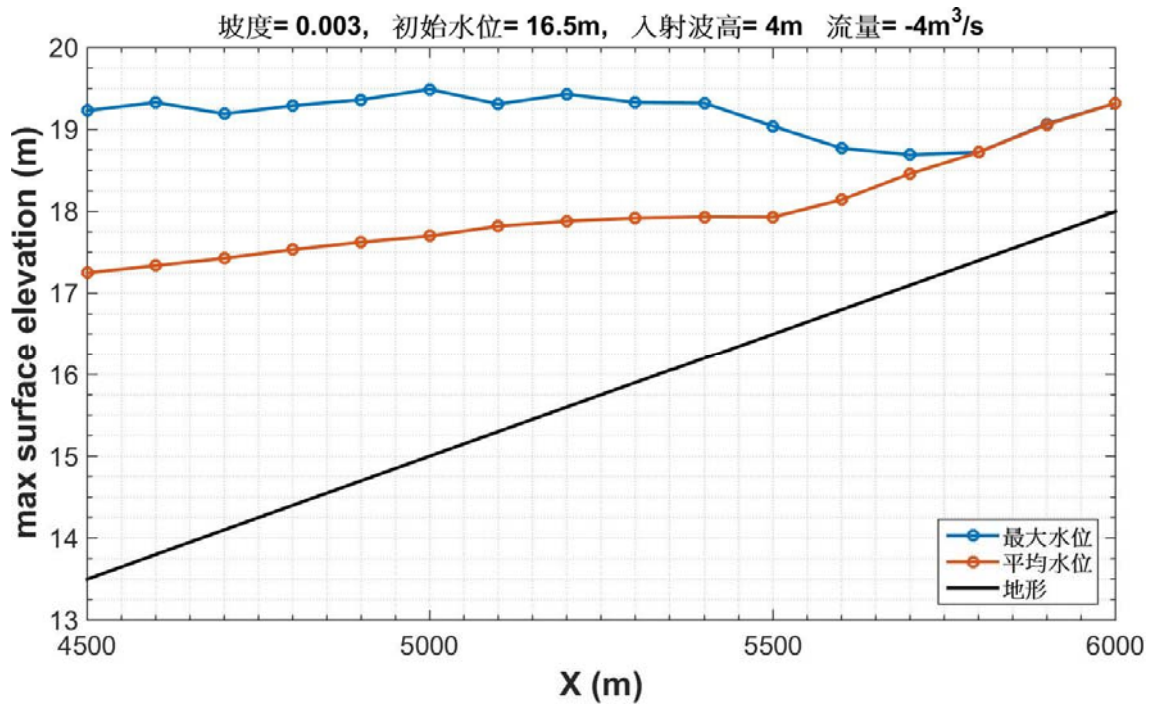


圖 4.30 16 個位置各別對應的水位最大值和平均水位。(右邊界流量-4 立方米每秒)

4.2.5 長距離模擬結果

為了解空間上的最大水位變化，在此從 180 個模擬取幾個例子來作探討。圖 4.31 為坡度 0.003，入射波高 4 m，流量-4 立方米每秒在 4 種不同初始水位的模擬結果中，16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值。該圖顯示流量為各點提供了約 1.3 米的水深。將最大值扣除各自的平均水位後如圖 4.32 所示，非零的部分可視為由波浪造成水位影響。與短距離模擬的趨勢相同，圖 4.32 可知每種初始水位條件皆呈現越往上坡，水位值皆呈現下降的趨勢。而隨著初始水位的增加，波浪往上坡方向的影響距離亦從初始水位 13.5 m 的 4700 m 增加到初始水位 18 m 的 6000 m。與短距離模擬的情況相同，初始水位的提升能增加波浪造成的水位值以及波浪影響距離。

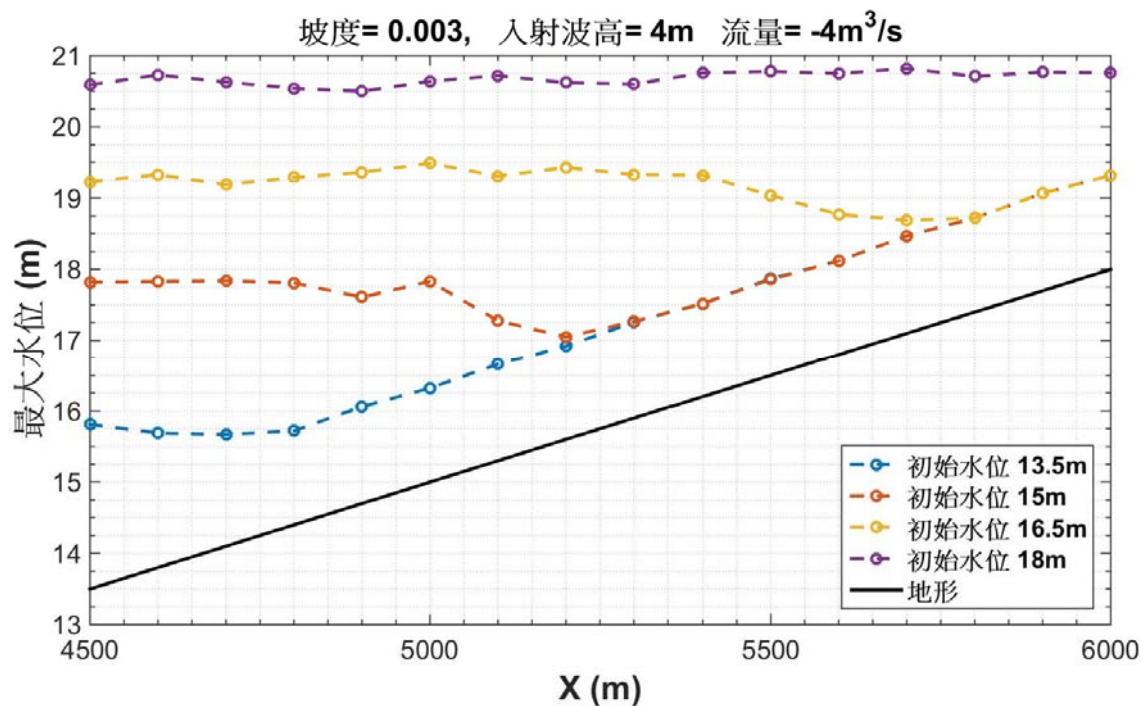


圖 4.31 長距離模擬在坡度 0.003，入射波高 4 m，流量 -4 立方米每秒條件下，不同初始水位的 16 個定點水位最大值。

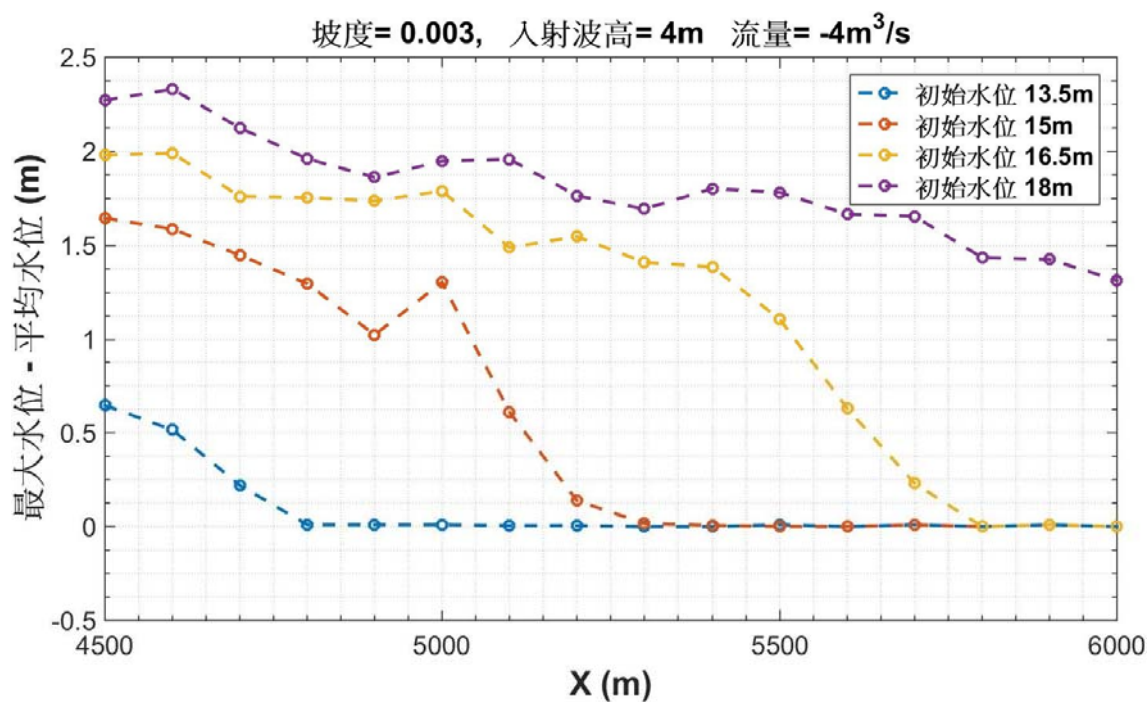


圖 4.32 長距離模擬在坡度 0.003，入射波高 4 m，流量 -4 立方米每秒條件下，不同初始水位的 16 個定點水位最大值減平均水位值。

為了解不同入射波高的影響，在此以坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量-4 立方米每秒對 3 種入射波高的模擬結果為例。取 16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值作比較。而圖 4.34 為將圖 4.33 的最大值扣除各自的平均水位後的波浪影響值，差異較大的區間主要在 X=5300 到 5600m 之間，入射波高 2m 與 4m 水位影響差距約在 0.3 到 0.7 m 之間，其他區間的差異則不足 0.3 m，表示不同入射波高的影響可能僅在特定區間才有較大的差別性，X 大致在 5800 m 之後不受波浪影響。

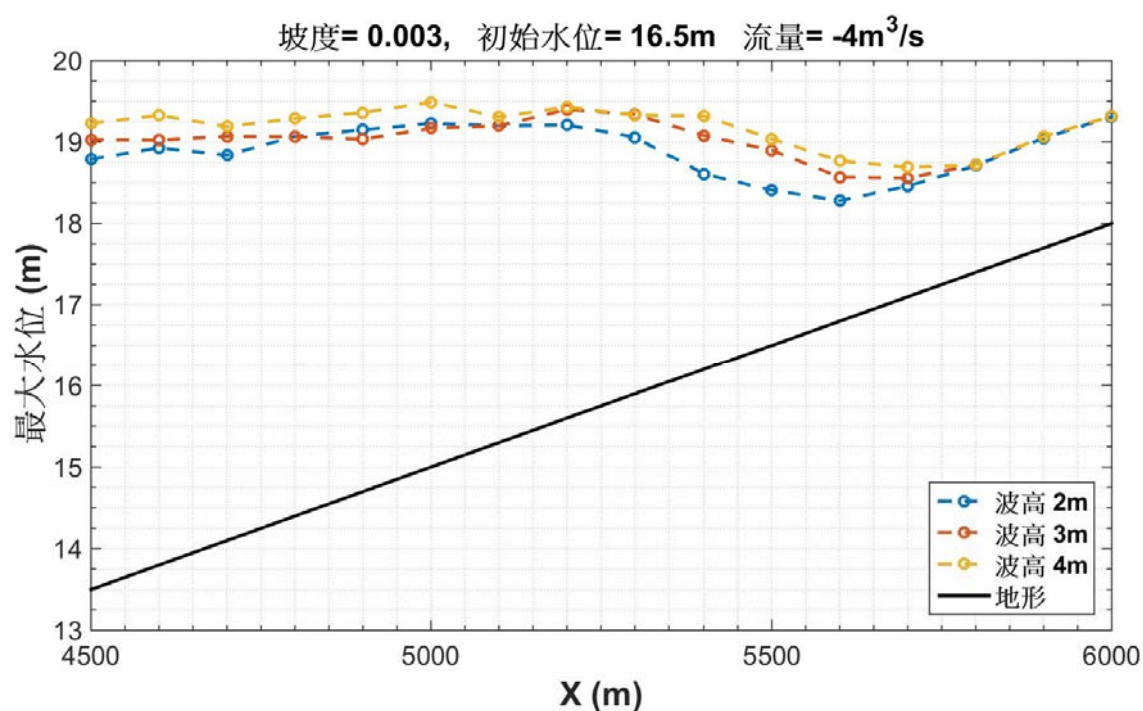


圖 4.33 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同波高的 16 個定點水位最大值。

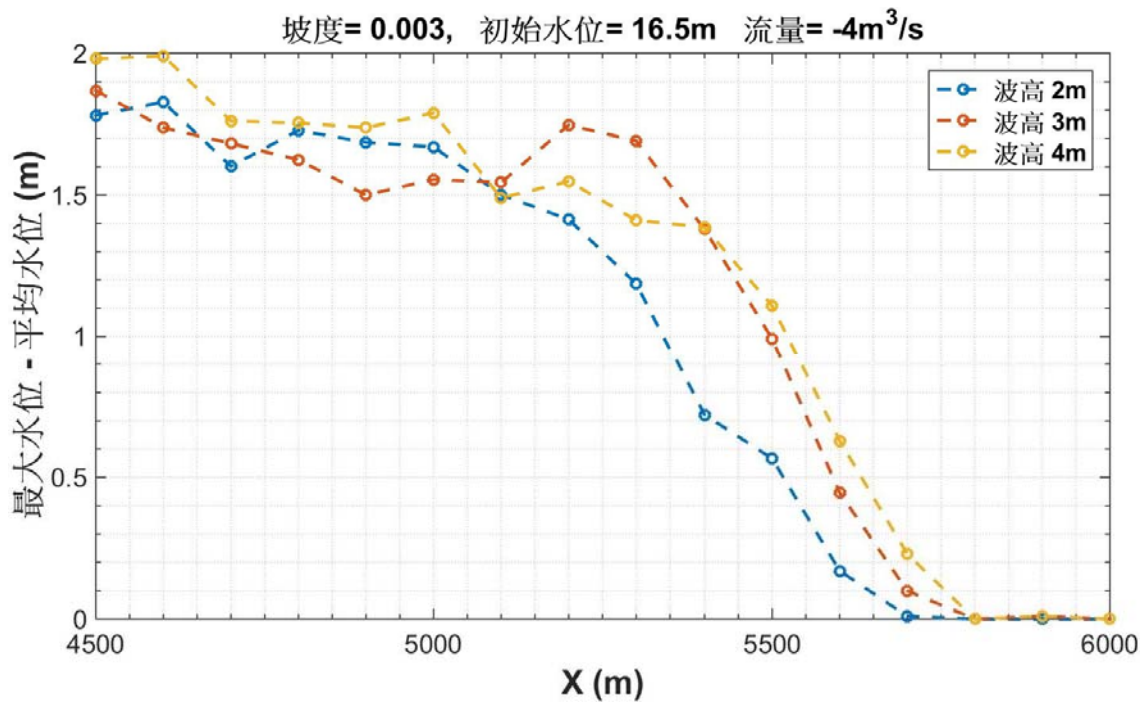


圖 4.34 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，流量-4 立方米每秒條件下，不同波高的 16 個定點水位最大值減平均水位值。

本文從坡度 0.003，初始水位 16.5 m 且入射波高 4m 對 5 種流量的模擬結果中，取 16 個 X 座標點所對應的水位時序列最大值作比較，藉以了解流量帶來的可能影響。如圖 4.35 所示，大致的趨勢皆為流量越大，水位越高。圖 4.36 為將圖 4.35 的最大值扣除各自的平均水位後的波浪影響值，該圖顯示在有流量的情況下，呈現流量越大，水位受波浪的影響越大，且影響距離越長。而在 $X=4500$ 到 5200 m 區間的無流量和流量-2 平方公尺的情況相比，無流量的情況較高，其理由和短距離模擬的情形相同，皆為波浪快速淺化的區域不同所致。

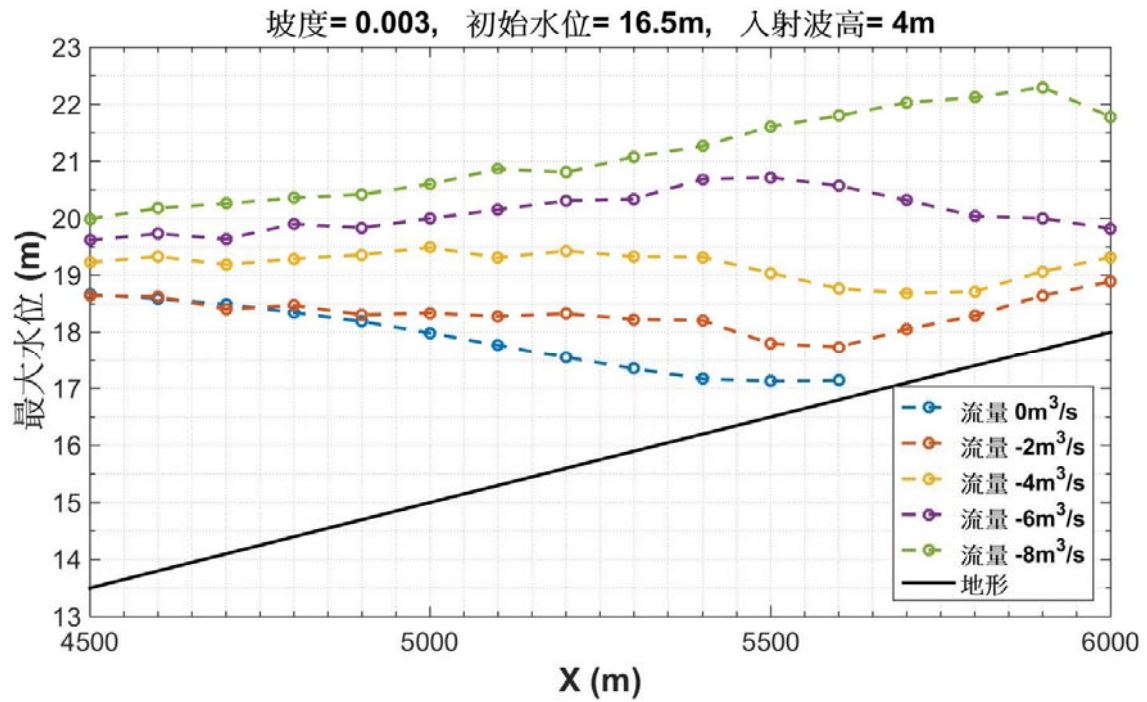


圖 4.35 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 16.5 m，入射波高 4 m 條件下，不同流量的 16 個定點水位最大值。

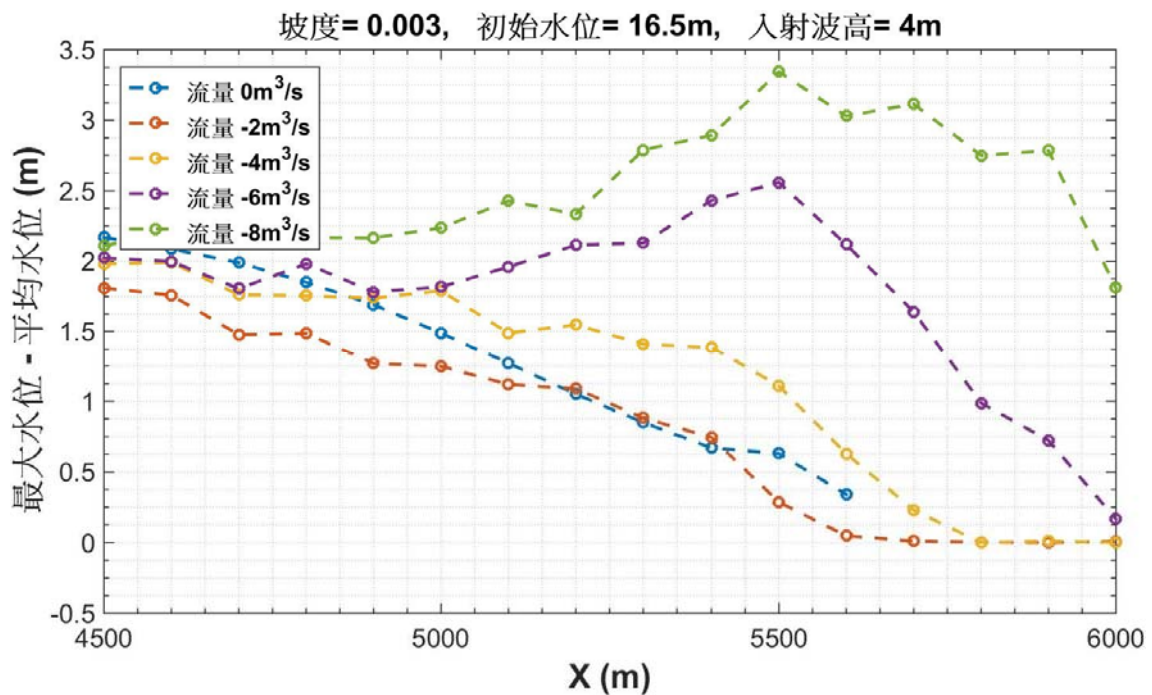


圖 4.36 長距離模擬在坡度 0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m 條件下，不同流量的 16 個定點水位最大值減平均水位值。

在此以對 3 種坡度，4 種初始水位，3 種波高，以及 5 種流量在位

置 $X=5000\text{ m}$ 所造成的最大水位為例作探討。所有情境模擬在 $X=5000\text{ m}$ 的最大水位表如表 4.7。該表顯示最大水位會隨條件設定的流量和初始水位增加而提升。但入射波高的增加，並非皆使最大水位增加，原因在於同一坡度下，因初始水位、流量以及入射波高的條件差異，讓入射波經快速淺化而使波高急速增加後破碎的空間區段也不同。在 180 個模擬中，將 16 個 X 座標水位時序列扣除平均水位後得到波浪造成的水位差，再從 16 點中取出最大值的發生位置列於表 4.8。在間隔 100m 取 16 點的粗造空間解析度之下，仍可看出受波浪影響較大的水位變化區段有些差異性，該差異性受到不同條件下的快速淺化區所影響。

由於對跨河橋梁的通行安全而言，水位距梁底的距離較為重要，故在此分別將 16 個 X 點的最大水位扣除地形高程所得的最大水深值製作成表格列於附錄(附錄四)以供參考。之後可利用梁底距河床高度扣除最大水深值取得水位距梁底淨空以作為封橋標準的參考。

表 4.7 長距離情境模擬在座標 $X=5000\text{ m}$ 的最大水位(單位：m)

入射波高 (m)	流量 (m^3/s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	6.40	8.02	0.00	10.23	11.81	13.46	0.00	15.26	17.77	19.84
	-2	6.14	6.21	7.10	8.64	10.95	11.22	12.82	13.76	15.89	16.17	18.28	20.00
	-4	6.72	6.79	7.36	8.92	11.45	12.07	14.02	14.43	16.31	16.90	19.23	20.24
	-6	7.20	7.30	7.83	8.81	12.63	14.44	14.65	14.88	16.67	19.11	19.82	20.81
	-8	7.57	7.70	9.41	10.21	15.00	15.05	15.07	15.80	19.28	19.91	20.27	21.22
3	0	0.00	0.00	6.29	7.58	0.00	10.30	11.81	13.79	0.00	15.47	17.83	20.10
	-2	6.14	6.20	6.81	8.15	10.95	11.20	12.82	13.79	15.89	16.07	18.54	20.04
	-4	6.72	6.78	7.24	8.85	11.47	12.52	13.99	14.69	16.32	17.16	19.17	20.56
	-6	7.20	7.27	7.83	9.48	12.47	14.38	14.88	15.32	16.68	19.20	20.13	20.99
	-8	7.55	7.62	8.22	10.88	14.73	15.40	15.60	15.88	18.28	20.10	20.58	21.40
4	0	0.00	0.00	6.27	7.55	0.00	10.36	11.83	13.36	0.00	15.58	17.99	20.11
	-2	6.14	6.22	6.84	8.11	10.95	11.48	12.90	13.94	15.89	16.33	18.37	20.14
	-4	6.73	6.82	7.27	8.55	11.46	12.27	14.22	14.76	16.32	17.83	19.37	20.64
	-6	7.22	7.30	7.87	9.00	12.71	14.71	14.98	15.42	16.69	19.19	20.00	21.16
	-8	7.57	7.66	9.41	11.15	14.97	15.19	15.70	16.17	19.05	20.03	20.60	21.70

附註：0 值代表未出現水位。

表 4.8 長距離情境模擬在 16 個 X 座標水位時序列扣除平均水位後，
發生最大差值的 X 座標(單位：m)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	NaN	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4600	4700
	-2	4500	4500	4500	5000	4500	4500	4600	4600	4500	4500	4500	4900
	-4	4500	4500	4500	4900	4500	4500	5000	5400	4500	4500	4600	4800
	-6	4500	4500	4600	4500	4500	4800	5200	4600	4500	5100	5300	4500
	-8	4600	4500	4500	4700	4700	4800	4800	5400	4700	5100	5300	5600
3	0	NaN	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4600	4500
	-2	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4700	4500	4500	4500	4500	4500
	-4	4500	4500	4500	4600	4500	4700	5200	4500	4500	4500	4500	4500
	-6	4500	4500	4500	4800	4500	4900	5400	5800	4500	5000	5500	5800
	-8	4500	4500	4500	4700	4700	5100	5400	5600	4500	5100	5700	5700
4	0	NaN	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
	-2	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4700	4700	4500	4500	4500	4500
	-4	4500	4500	4500	4500	4500	4500	5300	4600	4500	4500	4500	4600
	-6	4500	4500	4500	4500	4500	5000	5300	5800	4500	5000	5500	4500
	-8	4500	4500	4500	5200	4500	4700	5200	5200	4700	5100	5500	5700

附註： NaN 代表所有位置受波浪影響小於 1 公分。

4.2.6 跨河橋梁預警系統

本文所建立的跨河橋梁預警系統介面如圖 4.37，由上而下介面所需輸入的參數共有 7 項包括：

1. 梁底距河床高度：梁底到乾河床的垂直距離。
2. 橋梁至波浪觀測點的距離：提供 1600 到 3100 公尺以及 4500 到 6000 公尺兩種區間範圍可選擇，區間間距皆為 100 公尺。
3. 橋梁到波浪觀測點的平均坡度：當第 2 項的區間為 1600 到 3100 公尺時，坡度可輸入範圍為 0.001 到 0.005。區間為 4500 到 6000 公尺時，坡度可輸入範圍為 0.001 到 0.003。

4. 波浪觀測點的示性波高：當第 2 項的區間為 1600 到 3100 公尺時，波高可輸入範圍為 2 到 6 公尺。區間為 4500 到 6000 公尺時，坡度可輸入範圍為 2 到 4 公尺。
5. 橋梁附近流量：流速對深度的積分，可輸入範圍為 0 到 8 平方公尺每秒。
6. 橋梁位置的河床高程。
7. 潮位加暴潮位

跨河橋梁預警系統

梁底距河床高度 公尺

橋梁至波浪觀測點的距離 公尺

橋梁到波浪觀測點的平均坡度 (0.001 ~ 0.005)

波浪觀測點的示性波高 公尺 (2 ~ 6)

橋梁附近流量 立方公尺每秒 (0 ~ 8)

橋梁位置的河床高程 公尺

潮位加暴潮位 公尺

橋梁位置的平均水深= 公尺

橋梁位置的最大水深= 公尺

水位距梁底淨空= 公尺

圖 4.37 跨河橋梁預警系統的使用介面

當上述的 6 個參數輸入後，可由系統介面輸出 3 項數值如下：

1. 橋梁位置的平均水深。
2. 橋梁位置的最大水深。
3. 水位距梁底淨空。

其中第 1 項為水位高程扣除地形高程的值，根據 440 個情境模擬計算的最大水深(如表 4.9 和表 4.10)進行線性內插而得。而第 2 項為梁底距河床高度扣除橋梁最大水深的結果。在此可利用第 2 項的水位距梁底淨空橋梁作為是否影響橋梁通行安全的考量。例如參考民國 100 年

的交通部公路總局封橋封路標準作業程序，在非重點監控的橋樑部分，將警戒水位設定為距梁底淨空 1.5 公尺，而封橋水位設定為距梁底淨空 1.0 公尺。而重點監控的橋樑雖需考量上游雨量以及現場狀況來制定警戒和封橋水位，第 2 項的值仍可作為一個參考。

在此以苗栗的後龍觀海大橋作為本程式的應用範例。圖 4.38 為利用內政部解析度 5 公尺的 DEM 陸域資料以及海科中心解析度 500 公尺的海域資料作內插所得到的後龍溪口附近的地形高程。從該地形中取出橋樑沿河道方向的地形截面(截面位置為圖 38 紅線)，切線地形如圖 4.39。在圖 4.39 的座標 $X=0$ 處為觀海大橋所在地，並選擇 $X=-2000$ 處為波浪觀測點(即圖 4.38 紅色切線左端)，故橋梁至波浪觀測點的距離為 2000 公尺(第 2 項輸入值)。將圖 4.39 的 X 座標 -2 到 0 公里之間的平均坡度 0.003 作為橋梁到波浪觀測點的平均坡度(第 3 項輸入值)。此切線在 $X=0$ 處較接近觀海大橋的公路局編號第 11 號梁柱位置，其梁底距河床高度約 4.5 公尺(第 1 項輸入值)。假設當時波浪觀測點的示性波高為 3 公尺(第 4 項輸入值)，橋梁附近流量為 4 立方米每秒(第 5 項輸入值)且橋梁位置之河床高程為 2 公尺(第 6 項輸入值)，最後可由表 8 的數值經輸入坡度、波高、流量和水深內插後得到橋梁位置之最大水深為 3.07 公尺，亦即水位距梁底淨空為 1.43 公尺如圖 4.40 所示。其水位距梁底淨空小於 1.5 公尺，已達公路總局封橋封路標準的非重點監控橋梁的警戒水位。

表 4.9 坡度 0.001 到 0.003 的情境模擬在座標 X=2000 m 的最大水深
(單位：m)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.12	1.40	2.81	0.00	0.34	1.90	3.67	0.00	0.71	3.13	5.46
	-2	1.24	1.19	1.80	3.02	0.95	1.08	3.01	4.17	0.96	1.21	3.56	5.28
	-4	1.78	1.75	2.15	3.26	1.42	1.47	3.78	4.81	1.37	1.88	4.31	5.51
	-6	2.22	2.17	2.52	3.35	1.78	1.82	4.66	5.17	1.60	3.05	4.80	5.87
	-8	2.62	2.55	2.88	3.68	2.13	2.14	5.25	5.73	1.83	4.23	5.56	6.42
3	0		0.15	1.41	2.95	0.00	0.35	1.97	3.54	0.00	0.61	3.44	5.50
	-2		1.22	1.84	3.17	0.95	1.09	2.86	4.21	0.96	1.43	3.53	5.60
	-4		1.77	2.21	3.31	1.42	1.49	2.60	4.62	1.37	1.95	4.34	6.03
	-6		2.20	2.60	3.48	1.78	1.84	2.92	5.18	1.60	3.33	4.90	6.29
	-8		2.58	2.94	3.71	2.13	2.14	3.13	5.78	1.83	4.17	5.57	6.78
4	0			1.46	3.12	0.00	0.38	1.82	3.30	0.00	0.62	3.15	5.62
	-2			1.95	3.21	0.95	1.21	3.13	3.84	0.95	1.50	3.74	5.59
	-4			2.29	3.33	1.42	1.57	2.74	4.63	1.37	2.16	4.46	6.02
	-6			2.67	3.48	1.78	1.87	3.44	5.19	1.60	3.54	4.94	6.44
	-8			3.00	3.74	2.14	2.15	3.19	5.68	1.83	4.30	5.70	6.78
5	0				2.96		0.45	1.85	3.45	0.00	0.66	3.29	5.85
	-2				3.30		1.31	2.81	3.97	0.95	1.69	3.82	5.62
	-4				3.49		1.71	2.87	4.80	1.37	2.54	4.49	5.99
	-6				3.63		1.92	3.07	5.26	1.60	3.72	4.87	6.42
	-8				3.83		2.22	3.16	5.92	1.83	4.51	5.60	6.81
6	0						0.54	1.93	3.78	0.00	0.69	3.23	5.26
	-2						1.41	2.84	3.92	0.95	2.16	3.73	5.09
	-4						1.76	3.01	4.47	1.37	2.54	4.55	5.98
	-6						2.02	3.33	5.20	1.61	3.82	5.03	6.33
	-8						2.27	3.49	5.91	1.83	4.59	5.67	6.73

表 4.10 坡度 0.004 到 0.005 的情境模擬在座標 X=2000 m 的最大水深
(單位：m)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.96	3.96	6.54	0.00	1.18	5.00	7.26
	-2	0.94	1.42	4.20	6.37	0.95	1.82	4.82	7.42
	-4	1.29	2.07	4.77	6.58	1.12	2.34	5.31	7.71
	-6	1.46	2.88	5.35	6.90	1.42	2.63	5.70	7.70
	-8	1.67	4.37	5.75	7.07	1.65	4.11	6.23	8.12
3	0	0.00	1.08	4.51	7.27	0.00	1.43	5.33	8.53
	-2	0.95	1.41	4.42	6.96	0.96	1.88	4.91	7.97
	-4	1.29	2.12	5.15	7.31	1.12	2.31	5.62	8.24
	-6	1.46	3.42	5.44	7.72	1.41	3.28	5.89	8.79
	-8	1.67	4.64	5.92	7.62	1.65	4.40	6.34	8.71
4	0	0.00	1.12	4.62	7.34	0.00	1.26	5.94	9.04
	-2	0.95	1.89	4.18	7.19	0.95	1.63	4.85	8.48
	-4	1.29	2.36	4.95	7.23	1.12	1.99	5.81	8.52
	-6	1.46	3.65	5.53	7.42	1.42	3.39	5.95	8.93
	-8	1.67	4.53	5.99	7.80	1.65	4.51	6.62	9.18
5	0	0.00	0.96	4.79	7.07	0.00	1.52	5.63	8.72
	-2	0.95	1.85	4.48	6.79	0.95	2.04	4.99	8.99
	-4	1.29	2.25	4.99	7.01	1.12	2.32	5.39	8.93
	-6	1.47	3.81	5.56	7.36	1.41	3.40	5.94	8.82
	-8	1.67	4.63	5.98	7.70	1.65	4.29	6.52	9.11
6	0	0.00	1.04	4.45	7.49	0.00	1.61	6.12	9.01
	-2	0.95	1.84	4.46	6.92	0.94	2.05	4.82	8.60
	-4	1.29	2.21	5.00	7.11	1.12	2.65	5.59	8.48
	-6	1.46	3.20	5.45	7.50	1.41	3.52	5.98	8.68
	-8	1.67	4.80	6.19	7.77	1.65	4.47	6.50	8.85

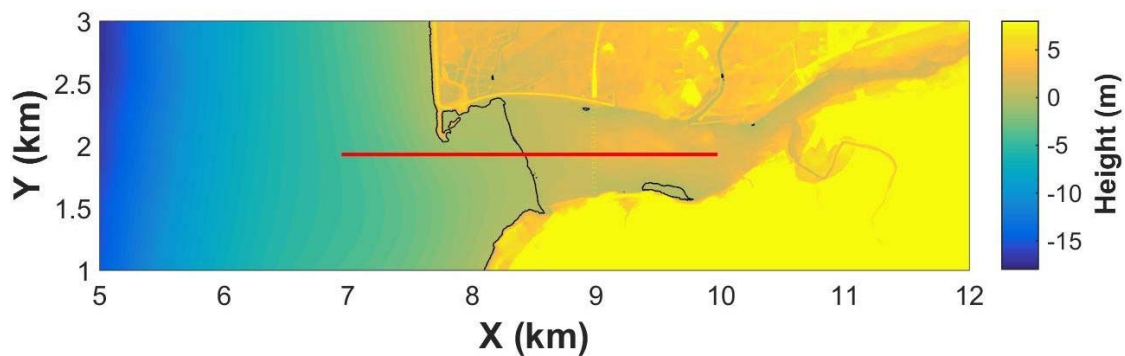


圖 4.38 後龍溪口附近的地形高程(紅線為地形截面的切線)

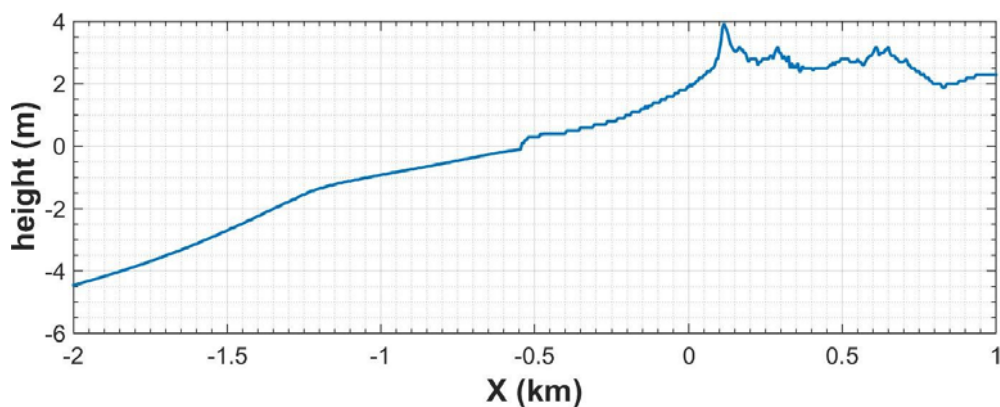


圖 4.39 取自圖 2 紅色切線的地形高程

跨河橋梁預警系統

梁底距河床高度	4.5	公尺
橋梁至波浪觀測點的距離	2000	公尺
橋梁到波浪觀測點的平均坡度	0.003	(0.001 ~ 0.005)
波浪觀測點的示性波高	3	公尺 (2 ~ 6)
橋梁附近流量	4	立方公尺每秒 (0 ~ 8)
橋梁位置的河床高程	2	公尺
潮位加暴潮位	3.00	公尺
確定		
橋梁位置的平均水深=	1.98	公尺
橋梁位置的最大水深=	3.07	公尺
水位距梁底淨空=	1.43	公尺 (警戒水位)

圖 4.40 後龍溪觀海大橋計算範例

第五章 結論與建議

本研究以數值模擬技術為主軸，整合相關研究計畫之成果，以數值溢淹模擬並整合地理資訊系統之圖資以展現溢淹模擬結果，分別評估臺北、基隆、花蓮、蘇澳等主要商港。並使用 COBRAS(CORnell BRaking wave And Structure) 2 維垂直的水動力模式進行風浪在一個極端的暴潮位與河川產生波流交互作用的情況下之情境模擬，模擬 5 種入射波高分別在 5 種坡度地形、4 種初始水位以及 5 種流量條件下的傳播情況，來評估橋梁附近的最大水位和距梁底淨高的距離來了解對跨河橋梁通行安全之可能影響，並建構跨河橋梁預警系統主要介面。

5.1 結論

- (1) 相關的研究工作所建構之預報系統只提供外海波高，未能提供港內可能的受災狀況，故各港務分公司不知如何應變。本研究結合視覺化之防災溢淹潛勢圖(Inundation Map) 並整合地理資訊系統之圖資一起展現，以建立 Google Earth 地理資訊系統圖資之視窗化操作介面，本研究已完成臺北、基隆、花蓮及蘇澳港區受不同高度地震海嘯的溢淹圖資，並可透過原有的海嘯速報系統介面輸出 Google Earth 地理資訊系統之 kml 檔；並且考量 DSM 數值地形資料，於港區的貨櫃容易被誤判成建築，另以陸域地形資料是由內政部地政司所提供之 5m×5m 之 DEM 數值地形資料，DEM 地形對海嘯而言，由於無建物的阻攔，所以往內陸的溢淹距離長，亦即考慮溢淹範圍較嚴重的情況；故不論一般民眾或是主管機關都能快速掌握港內受災狀況，大幅降低災害之威脅，也作為海嘯警報發布時各港務分公司之應變參考。
- (2) 本研究利用 COBRAS 流體模式，模擬 5 種入射波高分別在 5 種坡度地形、4 種初始水位以及 5 種流量條件下之情境模擬來模擬風浪在不同暴潮位，以及與河川產生波流交互作用的情況，共計 620 種

不同的情境模擬，並建構出跨河橋梁預警系統之介面，以後龍溪觀海大橋為應用範例，藉由模擬各條件下波浪從邊界入射到抵達橋墩時的波高變化，本研究以最大水位距梁底淨空橋梁作為是否影響橋梁通行安全的考量，從而了解其威脅性，以提供橋梁安全性的參考。

5.2 建議與後續研究方向

- (1) 本研究以 2 維垂直的水動力模式來評估橋樑附近的最大水位和距樑底淨空的距離來了解對跨河橋樑通行安全之可能影響，以供運輸單位作為警戒或封橋的參考，未來如能結合水利署所提供在跨河橋樑的水位與流量 24 小時預報資料，再搭配港灣研究中心在橋樑附近的港灣地區暴潮及波浪預報資料，則可對跨河橋樑提供距樑底淨空值的短期預報。
- (2) 颱風來臨造成颱風暴潮與異常波浪，海岸公路又受暴潮及長波衝擊，可能對海岸公路通行安全或遊憩區災害形成威脅，未來可針對海岸地區的公路與遊憩區進行進一步的研究，蒐集發掘海岸公路或遊憩區中異常波浪容易致災之區段資訊，分析鄰近之海岸異常波浪的特性，以建立異常波浪容易致災之區段，據以評估其對海岸公路通行安全之可能影響。

參考文獻

1. 許明光、李起彤(1996) , 「台灣及其臨近地區之海嘯」, 台灣海洋學刊, 第 35 期, 第 1 號, pp.1-16。
2. 張國棟、許明光、Philip. L. F. Liu、S. B. Woo (1999), 「東台灣海嘯溢淹模擬」, 第 21 屆海洋工程研討會論文集。
3. 邱永芳、王慶福、富田孝史(2005) , 「海嘯發生與傳播特性之研究」, 港灣報導, 72 期, pp.13-22。
4. 李昭興、許明光、鄭文彬、蕭士俊、林欽隆、郭鎧紋、陳致宏(2006), 「我國東北角海嘯警報系統建立之初始研究」, 中央氣象局研究報告。
5. 「後龍溪治理規劃檢討報告」, 經濟部水利署規劃試驗所(2006)。
6. 陳陽益、陳冠宇、陳文山、蘇青和、單誠基(2007), 「臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(1/4)」, 交通部運輸研究所。
7. 劉俊志、陳冠宇(2008) , 「以格林函數快速預報高雄港外海嘯高度」, 中華民國第 30 屆海洋工程研討會。
8. 交通部(2009), 公路橋梁設計規範。
9. 交通部(2011), 公路總局封橋封路標準作業程序。
10. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和、單誠基(2011) , 「臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(4/4)」, 交通部運輸研究所。
11. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎(2012) , 「提昇海岸及港灣海嘯模擬技術之研究(1/4)」, 交通部運輸研究所。
12. 陳冠宇、陳陽益(2012), 東北海岸海嘯溢淹潛勢圖製作之研究, 經濟部水利署合作研究計畫期末報告。
13. 林呈(2012), 「橋梁水力災害學」, 科技圖書出版。

14. 柯永彥、邱俊翔、蔡煜青、陳正興(2012)，「受沖刷橋梁耐洪能力評估方法」，國家地震工程研究中心報告(NCREE-12-020)。
15. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎(2013)，提昇海岸及港灣海嘯模擬技術之研究(2/4)，交通部運輸研究所。
16. 陳冠宇(2013)「海嘯預警與溢淹潛勢圖數值模擬之回顧與探討」，海洋工程學刊，第 13 卷，第 1 期，第 69-91 頁。
17. 「後龍河流域河川情勢調查(2/2)」，經濟部水利署第二河川局(2014)。
18. 全球地震矩網頁 Global CMT <http://www.globalcmt.org/>.
19. 日本防災科學技術研究所 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention(NIED) <http://www.bosai.go.jp/>
20. 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>.
21. 美國 NGDC 資料庫 <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/hazards.shtml>.
22. 美國地調所 USGS 資料庫 <http://www.usgs.gov/>.
23. 美國地調所 USGS 國家地震訊息中心 NEIC 資料庫 <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>.
24. 台灣港務股份有限公司/高雄港務分公司 <http://www.khb.gov.tw/>
25. 台灣港務股份有限公司 / 台中港務分公司 <http://www.tchb.gov.tw/ch/Index.aspx>
26. Applied Modelling and Computation Group, Fluidity Manual, Version 4.1.11, Imperial College London.
27. Chen, G. Y. and C. C. Liu (2009), "Evaluating the Location of Tsunami Sensors: Methodology and Application to the Northeast Coast of Taiwan", Terr. Atmos. Ocean. Sci., 20(4), pp.563-571, doi: 10.3319/TAO.2008.08.04.01(T).
28. Chen, G. Y., C. C. Liu and C. H. Lin (2011), "Probabilistic Forecast of Tsunami Inundation (PFTI) and Earthquake-induced Tsunami

- Inundation Probability (ETIP)—Algorithm and Application to the Southwest Coast of Taiwan”, Tsunami Simulation for Impact Assessment, pp.74-83.
29. Chen, G. Y., C. H. Lin and C. C. Liu (2012), “Quick Evaluation of Run-up Height and Inundation Area for Early Warning of Tsunami”, *Journal of Earthquake and Tsunami*, 6(1), 1250005, pp. 1-23.
 30. Chen, G. Y., Y. F. Chiu, J. H. Lin, C. C. Lin, Y. W. Chang and C. J. Lien (2014), “Combining Tsunami Hazard and Vulnerability on the Assessment of Tsunami Inundation Probability in Taiwan”, *Journal of Earthquake and Tsunami*, 8(3), 1440003 DOI: 10.1142/S179343111440003X.
 31. Chen G. Y., C. C. Liu, and C. C. Yao, (2015), A Forecast System for Offshore Water Surface Elevation With Inundation Map Integrated for Tsunami Early Warning, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 40(1), 37-47, doi: 10.1109/JOE.2013.2295948.
 32. Chock, G., Robertson, I., Kriebel, D., Francis, M., and Nistor, I. (2013) “Bridge Performance. Tohoku, Japan, Earthquake and Tsunami of 2011”, *American Society of Civil Engineers*, pp. 163-178.
 33. COBRAS user’s manual version 1.01(2002).
 34. Fritz, H. M., J. V. Hillaire, E. Molière, Y. Wei and F. Mohammed (2012), “Twin tsunamis triggered by the 12 January 2010 Haiti earthquake”, *Journal of Pure Applied Geophysics*, pp. 1-12, doi:10.1007/s00024-012- 0479-3
 35. Garcia, M. and Parker, G. (1991) “Entrainment of bed sediment into suspension”, *Journal of Hydraulic Engineering*, *American Society of Civil Engineers*, 117(4), 414-435.
 36. Gusiakov, V. K. (2005), “Tsunami generation potential of different tsunamigenic regions in the Pacific”, *Marine Geology*, 215, pp.3-9.

37. Gutenberg, B. and C. F. Richter (1944), "Frequency of earthquake in California", Bulletin of the Seismological Society of America, 34, pp.185-188.
38. Hanks, C. T. and H. Kanamori (1979), "A Moment Magnitude Scale", Journal of Geophysical Research, 84(85), pp.2348-2350.
39. Harlow, F. H. and Welch, J. E., 1965, "Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with a free surface", Phys. Fluids, Vol. 8, pp. 2182-2189, 1965.
40. Hirt, C. W., Nichols, B. D. and Romero, N. C., "SOLA-a numerical solution algorithm for transient fluid flows", Los Alamos Scientific Laboratory, LA-582, pp. 1-50, 1975.
41. Kirby, S., E. Geist, William H. K. Lee, David Scholl and Richard Blakely (2005), "Tsunami Source Characterization for Western Pacific Subduction Zones: A Preliminary Report", USGS Tsunami Subduction Source Working Group, pp.21.
42. Kothe, D.b., Mjolsness, R.C., Torrey, M.D.,(1991). RIPPLE: a new model for incompressible flows with free surface. Rep. LA-12007-MS, Los Alamos National Laboratory.
43. Liu, C. S., I. L. Huang and L. S. Teng (1997), "Structural features off Southwestern Taiwan", Marine Geology, 137, 305-319.
44. Liu, P. L. F., Y. S. Cho, S. B. Yoon and S. N. Seo (1994), "Numerical Simulations of the 1960 Chilean tsunami propagation and inundation at Hilo, Hawaii", In Recent development in tsunami research, edited by M.I. El-Sabh, Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, pp.99-115.
45. Liu, P. L. F., S. B. Woo and Y. S. Cho (1998), "Computer programs for tsunami propagation and inundation", Cornell University.
46. Lin P., P.L.-F. Liu (1998). A numerical study of breaking waves in the surf zone. Journal of Fluid Mechanics 359, 239-264

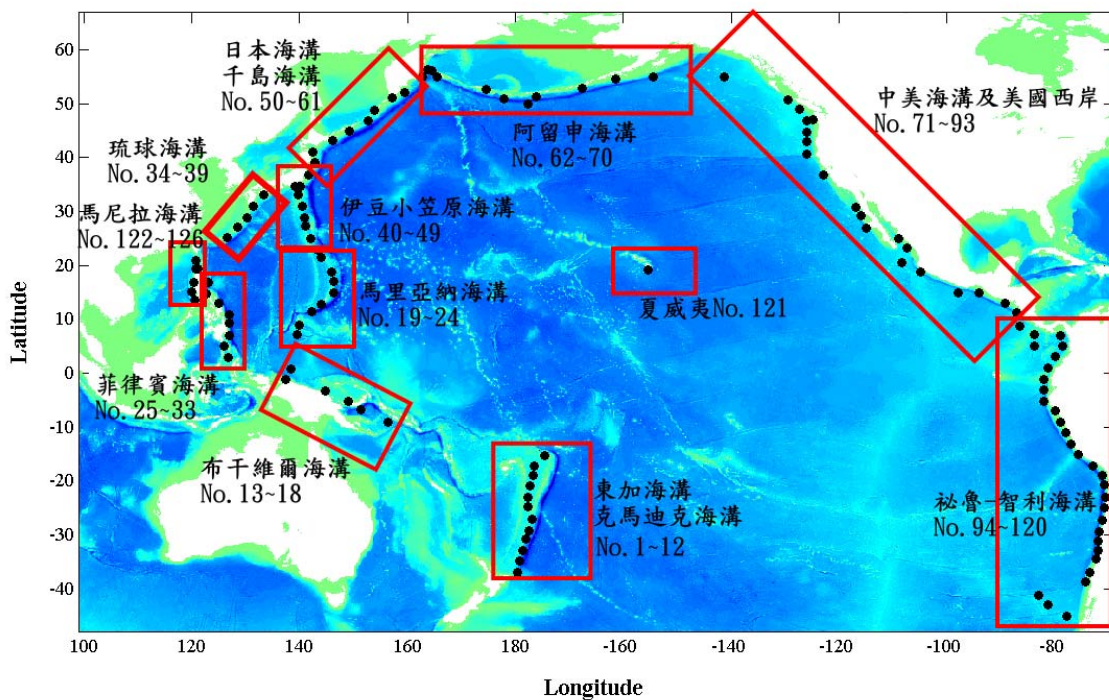
47. Lin P., P.L.-F. Liu (1998). A numerical study of breaking waves in the surf zone. *Journal of Fluid Mechanics* 359, 239-264
48. Liu, P.L.-F., P. Lin, K.A. Chang and T. Sakakiyama (1999). Numerical modeling of wave interaction with porous structures. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE 125 (6), 322-330
49. Loomis, H. G. (1979), "Tsunami prediction using the reciprocal property of Green's functions", *Marine Geology*, 2(1), pp.27-39.
50. Mansinha, L. and D. E. Smylie (1971), "The displacement fields of inclined faults", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61(5), pp.1433-1440.
51. Murty, T. S. (1979), "Seismic Sea Waves-Tsunamis", *Fishery Research Board of Canada*.
52. National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS): Global Historical Tsunami Database. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5PN93H7
53. Nakamura, M. (2006), "Source Fault Model of the 1771 Yaeyama Tsunami, Southern Ryukyu Islands, Japan, Inferred from Numerical Simulation", *Pureappl. geophys.*, 163, 41-54
54. Rance, P.C. (1980) , "The potential for scour around large objects. Scour Prevention In : Techniques Around Offshore Structures", *Society for Underwater Technology*, London, pp.41-53.
55. Richardson J., Dillon, A., & McKnight, C. (1993) , "Space - The Final Chapter Why Physical Representations are not Semantic Intentions", *A Psychological Perspective*, pp.169-191.
56. Ribberink, J.S. (1998), "Bed-load transport for steady flows and unsteady oscillatory flows", *Journal of Coastal Engineering*, Vol. 34, pp. 59-82.

57. 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
58. Sa'nchez, A. and K. F. Cheung (2007), "Tsunami forecast using an adaptive inverse algorithm for the Peru-Chile source region", *Geophysical Research Letters*, Vol. 34, pp. 15, L13605, doi:10.1029/2007GL030158.
59. Scordilis, E. M. (2006), "Empirical global relations converting MS and mb to moment magnitude", *Journal of Seismology*, 10(2), pp.225-236.
60. Shuto, N. (1991), "Numerical Simulation of Tsunamis—Its Present and Near Future", *Natural Hazards* 4, pp.171-191.
61. Synolakis, C. E. and E. J. Skjelbreia (1993), "The four zones in the evolution of solitary waves on plane beaches", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 118(3), pp. 252-266.
62. Wang, X. M. and P. L. F. Liu (2007), "Cornell Multigrid Coupled Tsunami model (COMCOT) User Manual", Cornell University.
63. Wei, Y., K. F. Cheung, G. D. Curtis and C. S. McCreery (2003), "Inverse algorithm for tsunami forecast", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 129(2), pp. 60-69.
64. Wells, D. L. and K. J. Coppersmith (1994), "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84(4), pp. 974-1002.

65. Wu, Z. and N. E. Huang (2008), “Ensemble empirical mode decomposition: anoise assisted data analysis method”, *Advances in Adaptive Data Analysis*, Vol. 1(1), pp. 1-41.

■ 製作方式：

本手冊模擬之範圍及假設之震央是環太平洋地震帶 13 個主要海溝，各個海溝以緯度兩度再細分為 126 個區間作為假設之震源；各震源之位置及對應之經緯座標請見圖一及表一；計算方式是以海嘯數值模式(COMCOT)作為主要模擬工具，假設斷層參數及震源深度 15 公里，模擬地震矩規模 7、7.5、8、8.5 及 9 所引起之海嘯，海嘯波在高雄港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港、基隆港、蘇澳港以及花蓮港外海所造成的最大波高及第一波到達時間。預測地點為 8 個港外海，其各預報點位之經緯度座標及水深如表二所示。



圖一 環太平洋地震帶海溝及假設震源之分佈位址
(黑點即是假設之震源位址)

表一 126 個假設震央之編號及對應座標位址

經度	緯度	編號	地點	經度	緯度	編號	地點	經度	緯度	編號	地點	經度	緯度	編號	地點
-174.54	-15.32	1		126.83	2.92	33	菲律賓海溝	177.90	51.00	65	阿留申海溝	-81.36	1.02	97	
-176.51	-17.24	2		139.07	34.62	34		-154.41	55.00	66		-82.00	-1.20	98	
-176.64	-18.92	3		133.40	33.13	35		-161.39	54.68	67		-82.00	-3.08	99	
-177.26	-20.88	4		131.46	31.03	36		-167.66	52.91	68		-82.00	-5.23	100	
-177.64	-23.04	5	東加海溝及克馬迪克海溝	130.35	28.93	37	琉球海溝	-176.10	51.37	69		-80.00	-6.95	101	
-177.72	-24.80	6		128.52	27.13	38		-177.68	49.88	70		-79.00	-9.07	102	
-177.00	-27.00	7		126.61	25.13	39		-141.36	55.00	71		-78.00	-10.95	103	
-177.43	-29.14	8		139.95	34.71	40		-127.41	49.00	72		-77.00	-13.14	104	
-178.14	-30.84	9		139.77	33.20	41	伊豆小笠原海溝	-129.39	50.67	73		-75.76	-15.09	105	秘魯-智利海溝
-178.67	-32.93	10		140.44	30.95	42		-124.91	47.00	74		-73.03	-17.12	106	
-179.15	-34.78	11		140.92	28.82	43		-126.00	46.94	75		-71.21	-18.95	107	
-179.55	-36.87	12		141.10	27.30	44		-126.00	44.73	76		-70.76	-20.75	108	
138.36	0.70	13	布干維爾海溝	142.11	25.00	45		-126.00	43.01	77	美國西岸及中美海溝	-70.73	-23.08	109	
137.49	-1.18	14		143.33	22.77	46		-126.00	40.72	78		-70.90	-24.92	110	
144.76	-3.20	15		144.00	21.42	47		-123.00	36.81	79		-71.31	-27.20	111	
148.95	-5.16	16		145.88	18.82	48		-117.00	30.87	80		-71.80	-29.33	112	
151.29	-6.67	17	馬里亞納海溝	146.28	17.09	49		-116.00	29.29	81		-71.92	-31.21	113	
156.38	-9.12	18		163.74	56.28	50		-115.00	27.00	82		-71.98	-32.88	114	
146.28	17.08	19		162.75	54.93	51		-109.06	24.96	83		-72.43	-34.48	115	
146.35	14.93	20		159.48	52.00	52		-107.33	23.29	84		-73.60	-36.89	116	
144.07	12.86	21	菲律賓海溝	157.25	51.16	53	千島海溝及日本海溝	-108.32	20.55	85		-74.34	-38.62	117	
142.27	11.35	22		153.90	48.86	54		-105.00	18.72	86		-83.01	-41.20	118	
139.85	8.92	23		152.67	46.86	55		-98.00	15.00	87		-81.27	-42.97	119	
139.53	7.20	24		149.14	44.83	56		-94.05	14.93	88		-77.75	-45.13	120	
121.23	19.28	25		146.08	43.16	57		-89.15	12.95	89		-155.50	19.16	121	夏威夷
123.00	16.80	26		142.49	41.11	58		-87.12	11.15	90		120.76	20.97	122	
122.68	14.81	27		142.88	39.06	59		-86.50	8.78	91		120.86	19.27	123	
125.00	12.96	28		141.76	36.82	60		-83.85	7.16	92		120.44	16.90	124	
127.00	10.91	29	菲律賓海溝	140.15	34.74	61	阿留申海溝	-83.90	5.08	93		120.00	15.06	125	馬尼拉海溝
127.00	9.31	30		164.46	56.20	62		-79.00	7.01	94		120.60	13.48	126	
127.00	6.90	31		165.39	55.03	63		-78.54	4.99	95		--	--	--	
125.99	5.12	32		174.49	52.68	64		-80.03	3.02	96		--	--	--	

表二 本手冊於八個主要商港之預報點位資料表

地點	經度(度)	緯度(度)	深度(m)	離岸距離 (km)
高雄港	120.233	22.567	47	5.5
安平港	120.1	22.933	21	7.4
布袋港	120	23.4	27	13.4
臺中港	120.433	24.3	23	7.7
臺北港	121.333	25.167	21	4.6
基隆港	121.767	25.167	23	0.4
蘇澳港	121.9	24.6	25	1.5
花蓮港	121.633	23.967	118	1

由於臺灣東北岸所面對之海嘯潛勢波源點甚多，難以準確預估其風險高低，加以東部外海地形陡峭，遠域海嘯及地震矩規模較小之海嘯對東岸影響不大。通常發生近域且地震矩規模較大之海源地震時，才會產生波高較大的海嘯。故本手冊提供離臺灣東北岸最近的琉球海溝 6 個海嘯波源(表一的編號 34 到 39)對 8 港預測點位發生的最大波高和第一波到達時間資訊。而位於臺灣西南外海之馬尼拉海溝是學界目前普遍認為對西南沿岸有較大之威脅性，因此本手冊亦提供馬尼拉海溝 5 個海嘯波源(表一的編號 122 到 126)對 8 港預測點位發生最大波高和第一波到達時間。

海嘯與地震有關，以目前電腦運算效率而言，遠域海嘯於模擬完成後仍有足夠之應變時間；近域海嘯則無法及時模擬可能之狀況。故本手冊是利用自訂之斷層參數及震源深度 15 公里計算各預報點位之最大水位值及其到達時間，供遠/近域海嘯或是通訊中斷時早期判斷之用。

■ 手冊使用方式：

- 1.當有疑似海嘯發生時，依據經驗，國內外地震監測單位會先發佈震央位址(經緯度)、地震矩規模(或是芮氏地震規模)等訊息；至於斷層參數則是可能於稍晚提供或公佈。
- 2.當得知初步震央之經緯度位置及規模後，即可依照地點查詢該震央及規模所對應之最大波高及最大波高之到達時間。
- 3.到達時間表示方式為小時，表示地震後發生後之時間；例如最大波到達時間經查詢為 3 小時，即是表示最大海嘯波在地震發生 3 小時後抵達預報點位。

範例：

若有一海嘯發生於臺北時間早上 8 點，其震央位址位於東經 120.75 度，北緯 21 度，地震矩規模為 8.0，則高雄港最大波高約 1.44 公尺，第一波高到達時間約為 17 分鐘。即代表於地震發生後 17 分鐘(臺北時間早上 8 點 17 分)，在高雄港外海經度 121.233 度，緯度 22.567 度，離岸 5.5 公里且水深 47 公尺處之預報點位所最大波高為 1.44 公尺。而對安平港而言，最大波高約 2.37 公尺，第一波高到達時間約為 29 分鐘。即表示地震發生後 29 分鐘(臺北時間早上 8 點 29 分)，在安平港外海經度 121.1 度，緯度 22.933 度，離岸 7.4 公里，水深 21 公尺處之預報點位所最大波高為 2.37 公尺。

■ 注意事項及限制條件：

- 1.本手冊提供的波高值是指「最大波高」，而不是「第一波之波高」；到達時間意指「第一波之到達時間」。
- 2.「外海」是指「水深大於 50 公尺」之區域；由於近岸有高度之非線性效應，故本手冊所指的波高均是外海模式預報點之波高值，並非近岸之波高。
- 3.本手冊之資訊是假設地震之震源深度為 15 公里，其餘參數均為自訂情況下所模擬出來之結果，供尚未取得斷層參數前之初步判斷用，與實際狀況未盡相符；正確之資料仍須得到正確之斷層之後利用系統計算而得。
- 4.本手冊是假設海嘯之成因為強烈之海底地震，其他如海底山崩、巨大撞擊或是海底火山爆發則不在設定情境之內。
- 5.海嘯成因雖與強烈之淺層海底地震有關，但兩者之間並無明顯之因果關係。

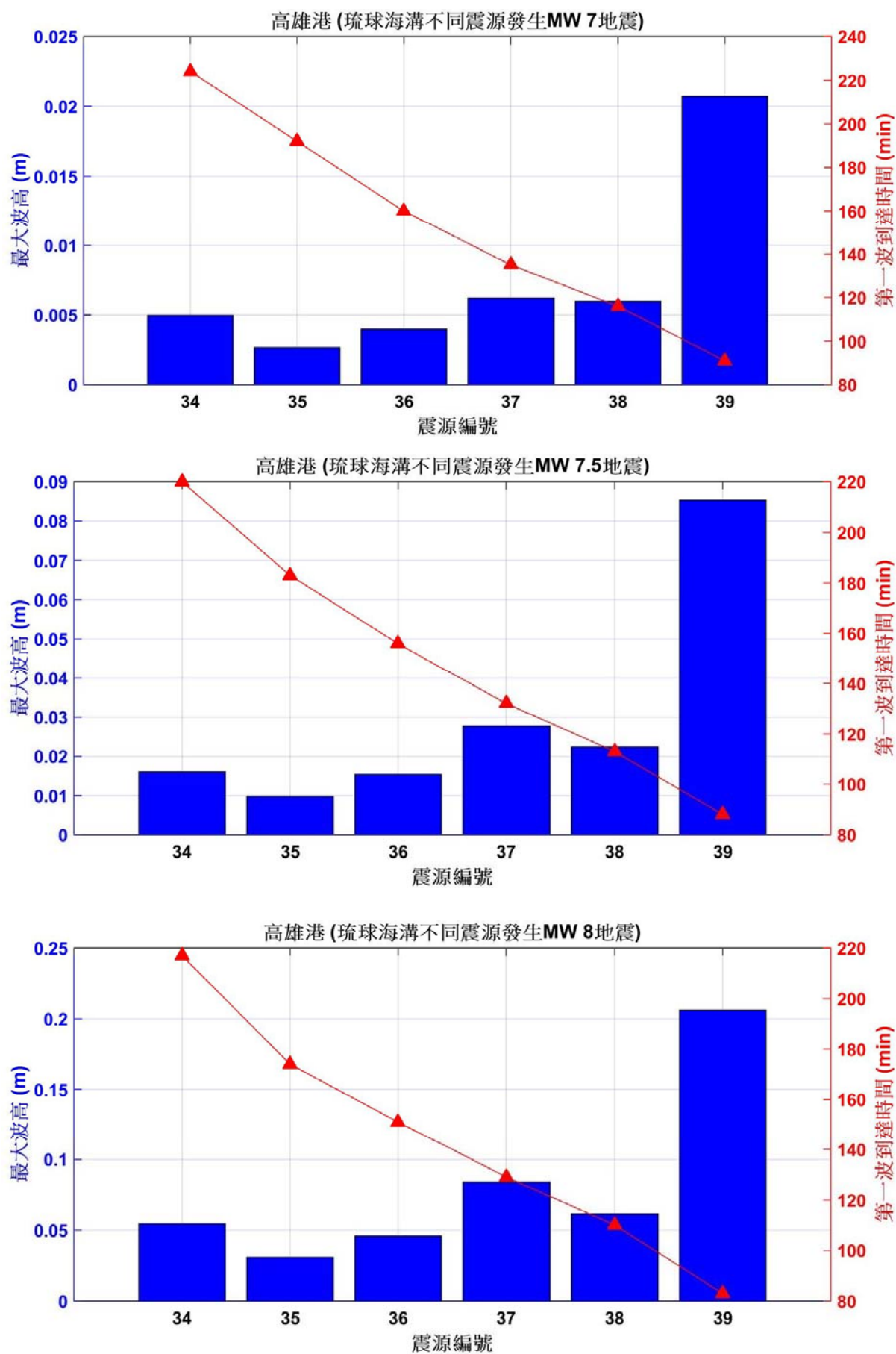
高雄港

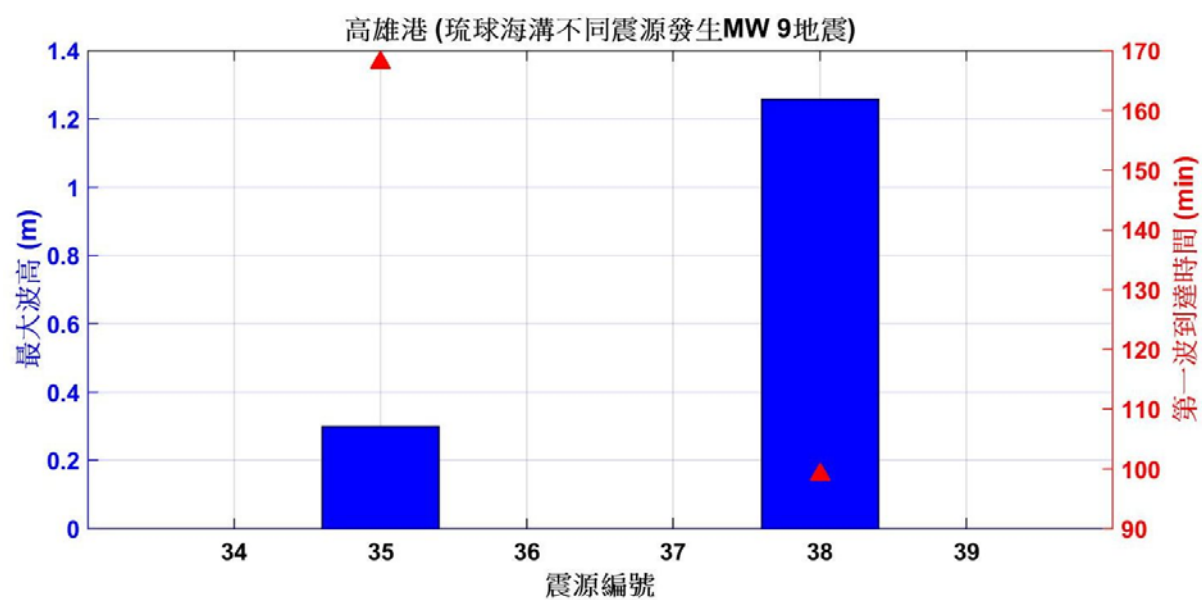
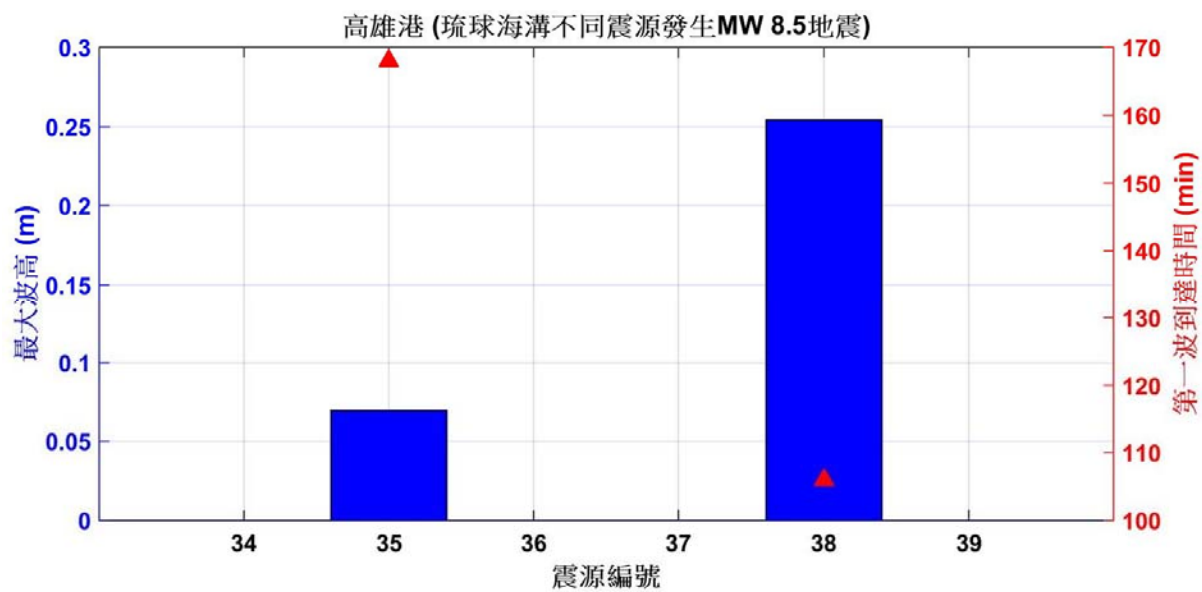
高雄港最大波高表

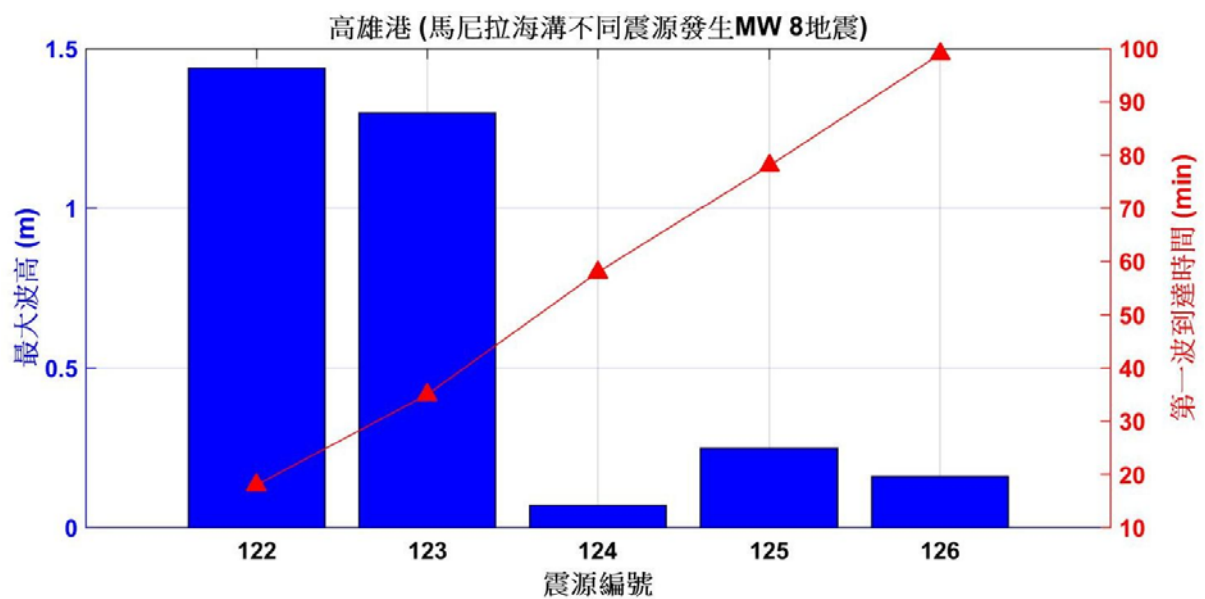
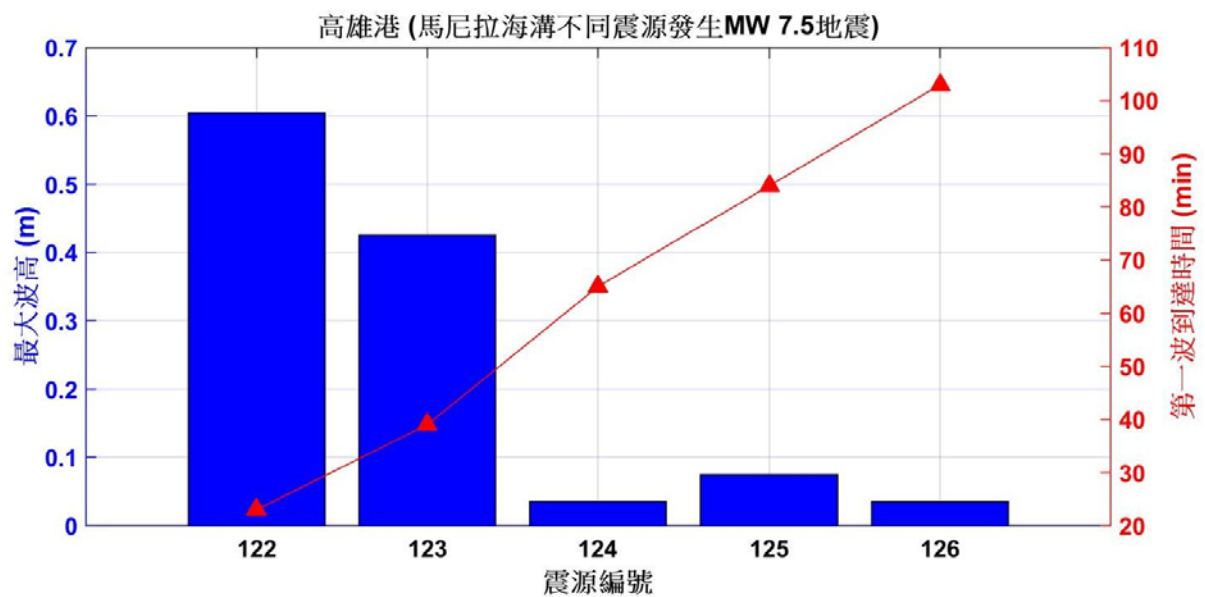
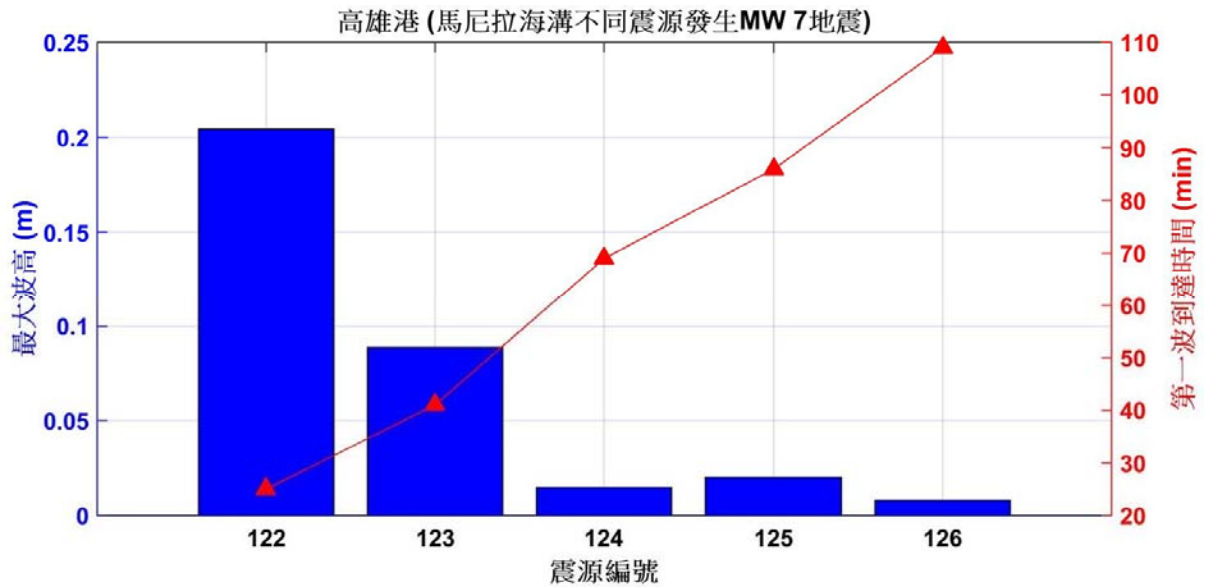
點位	地點	經度	緯度	最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.005	0.016	0.055		
35		133.40	33.13	0.003	0.010	0.031	0.070	0.299
36		131.46	31.03	0.004	0.015	0.046		
37		130.35	28.93	0.006	0.028	0.084		
38		128.52	27.13	0.006	0.022	0.062	0.254	1.258
39		126.61	25.13	0.021	0.085	0.206		
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.204	0.605	1.439		
123		120.86	19.27	0.089	0.426	1.299	3.316	11.915
124		120.43	16.89	0.015	0.035	0.070		
125		119.99	15.06	0.020	0.075	0.248	0.759	2.875
126		120.60	13.47	0.008	0.035	0.160		

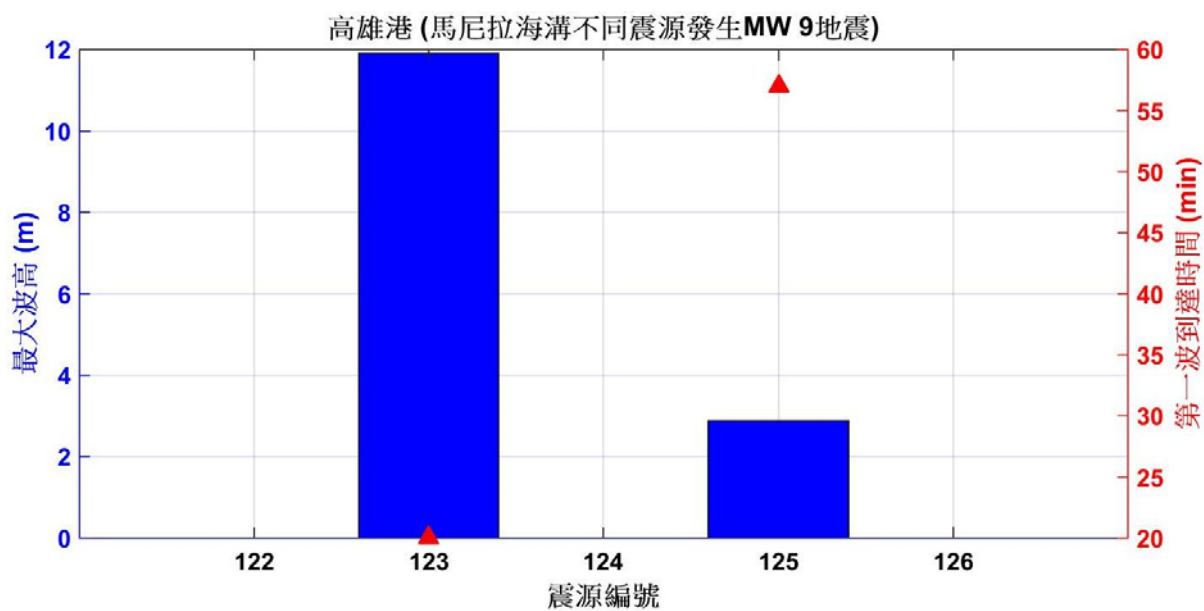
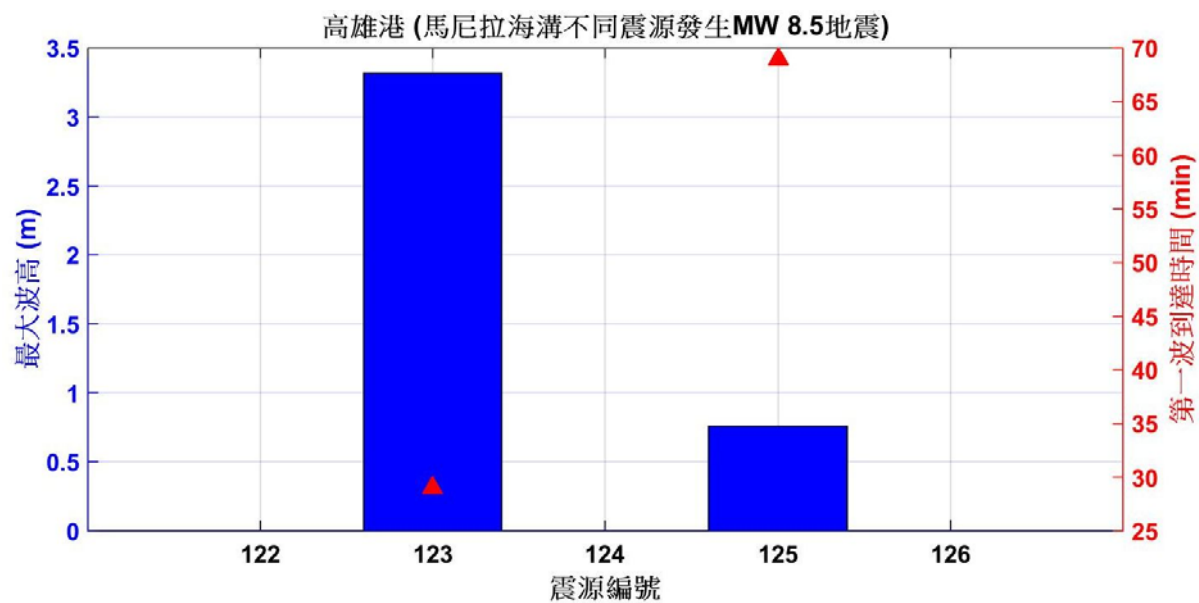
高雄港第一波到達時間表

點位	地點	經度	緯度	第一波到達時間(min)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	219	217	210		
35		133.40	33.13	185	179	172	168	168
36		131.46	31.03	156	153	149		
37		130.35	28.93	133	130	127		
38		128.52	27.13	114	111	109	105	99
39		126.61	25.13	89	86	82		
122	馬尼拉	120.75	20.96	24	22	17		
123		120.86	19.27	40	38	34	28	19
124		120.43	16.89	67	64	58		
125		119.99	15.06	85	82	77	69	57
126		120.60	13.47	107	101	97		









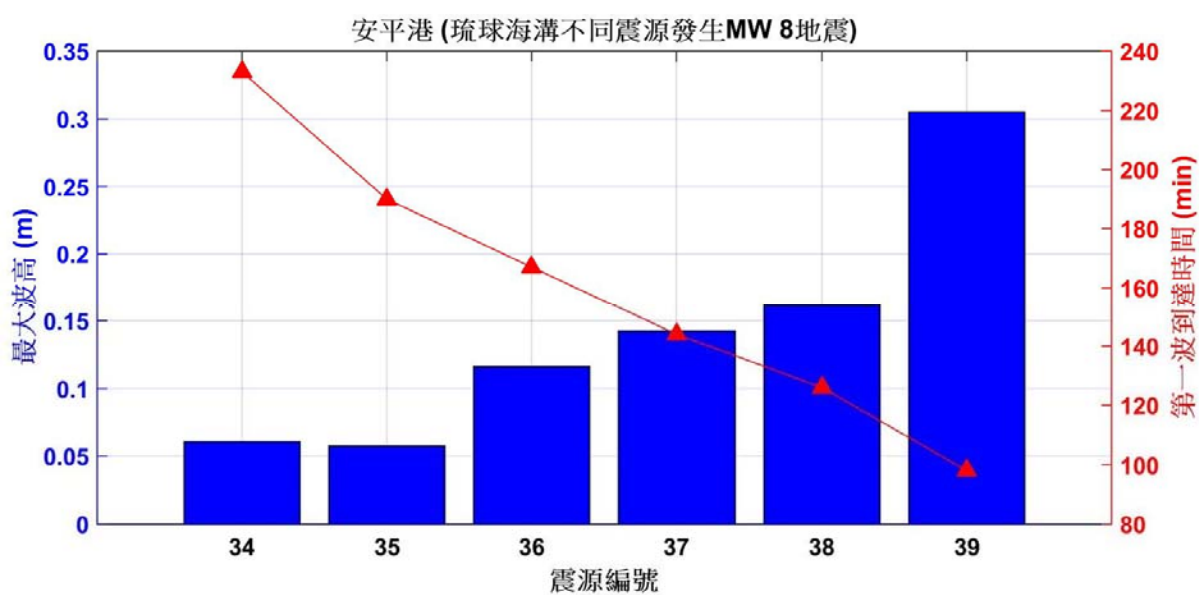
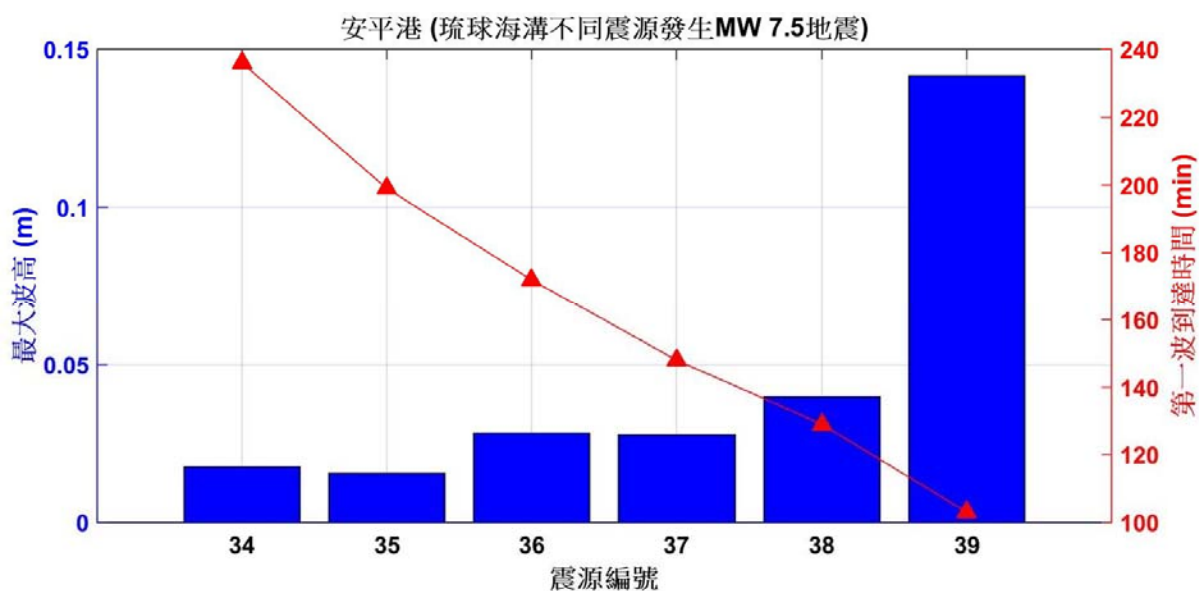
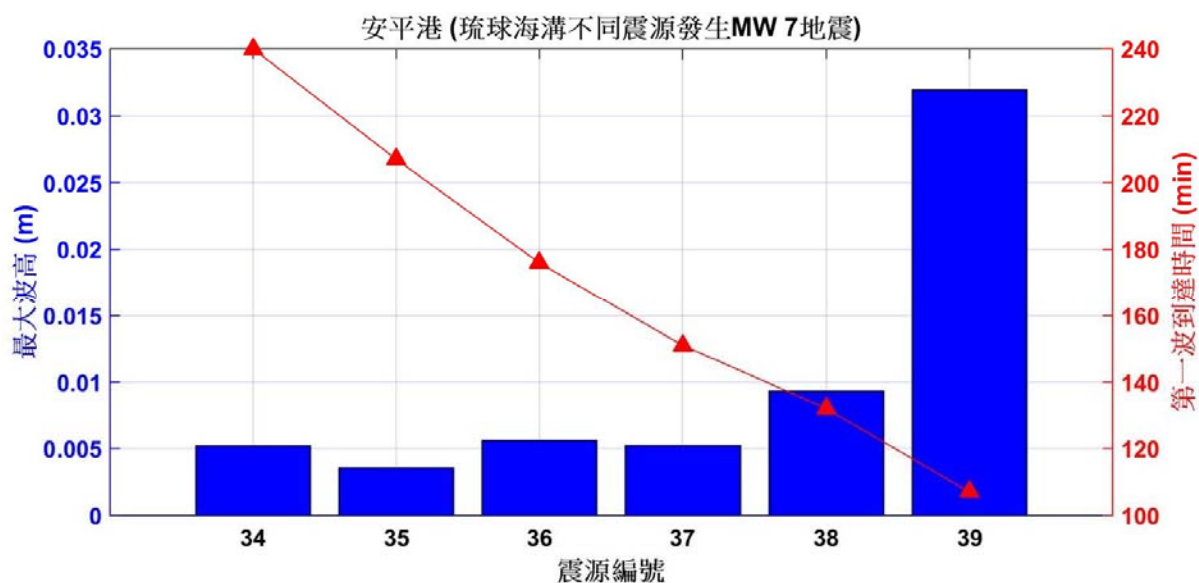
安平港

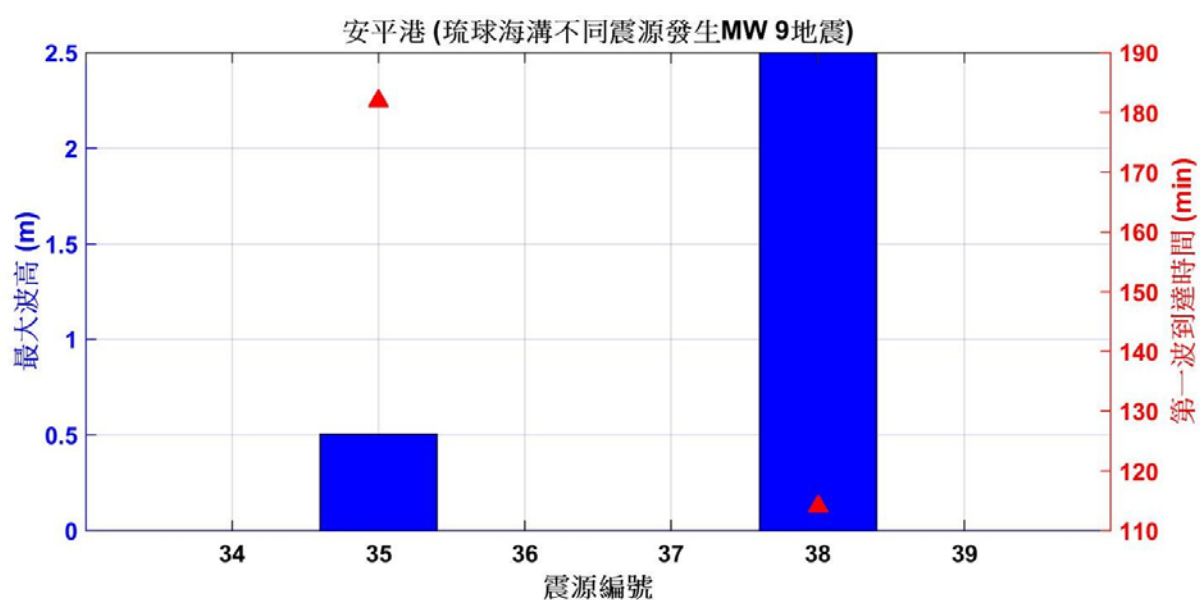
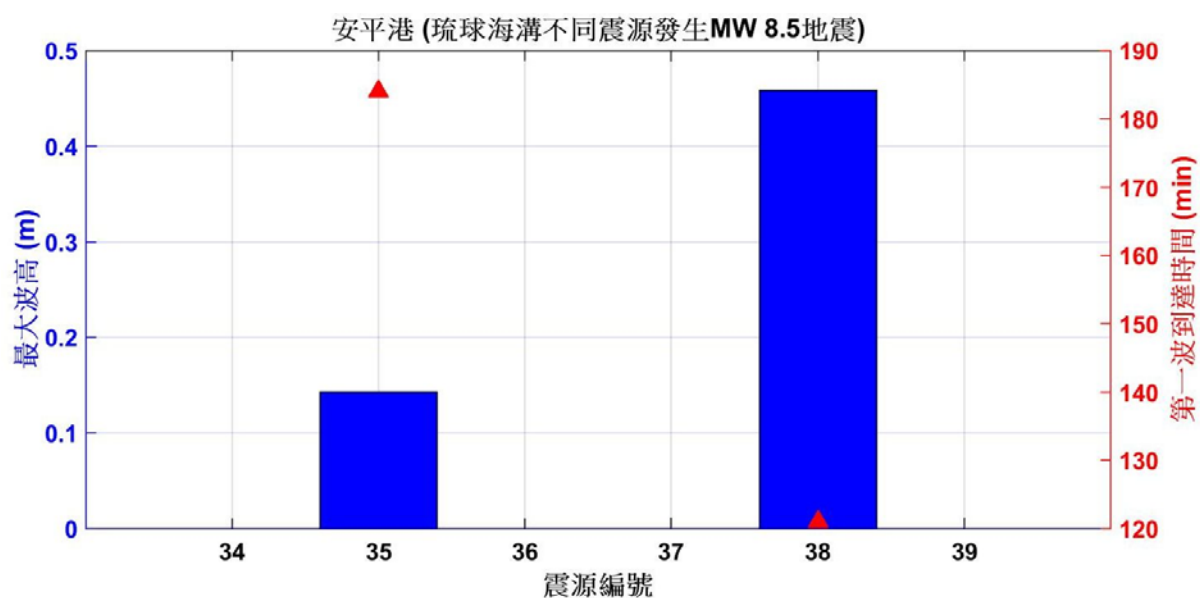
安平港最大波高表

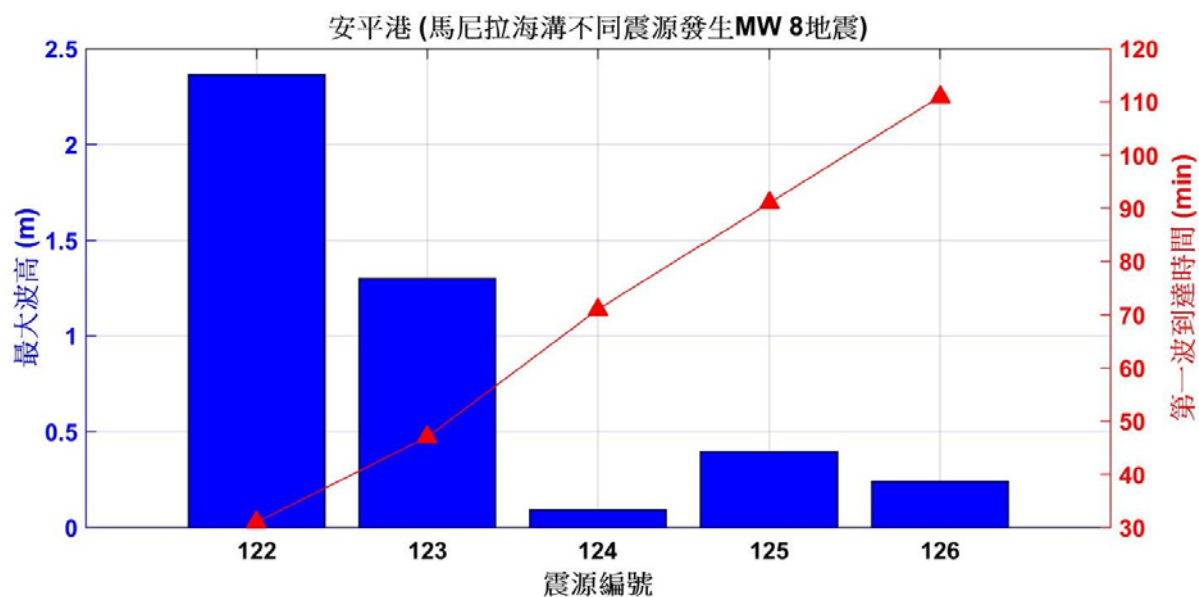
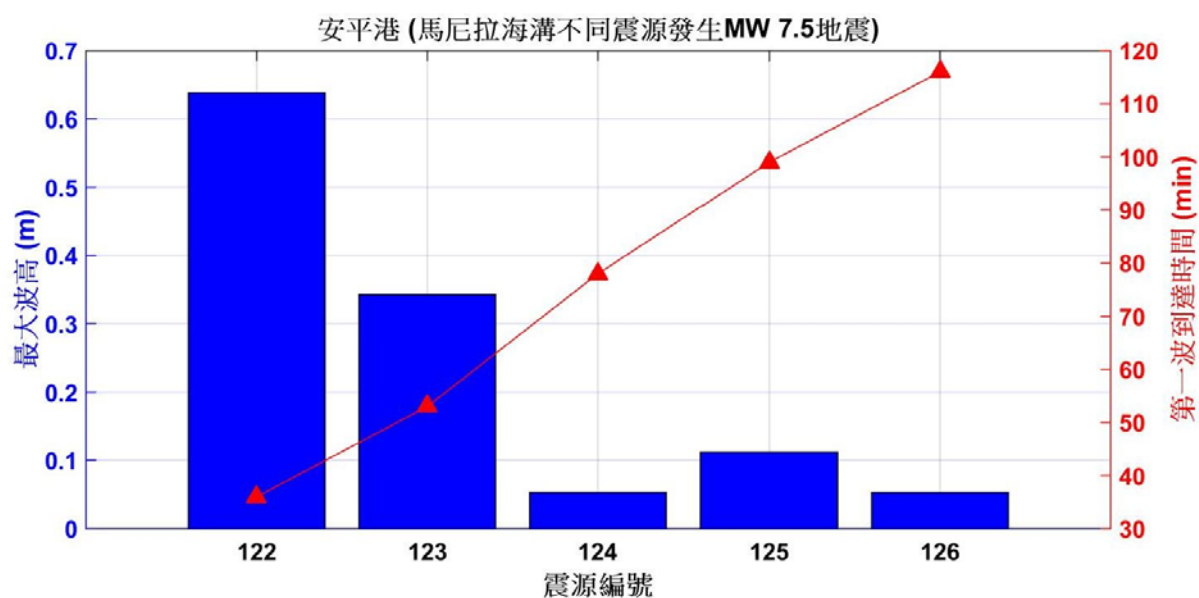
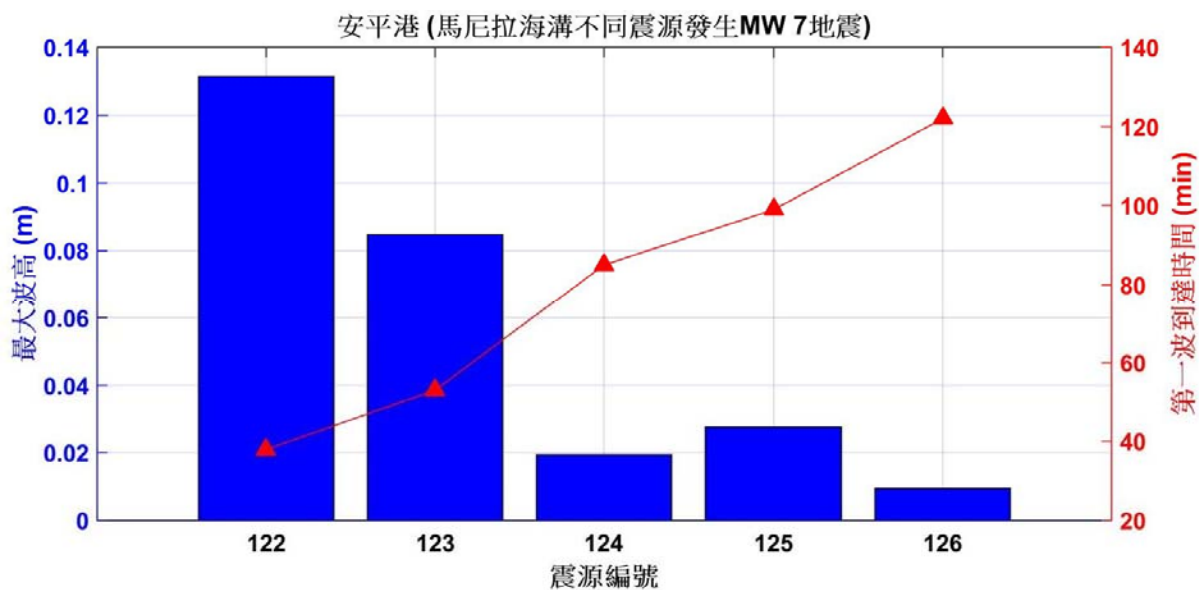
點位	地點	經度	緯度	最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.005	0.018	0.061		
35		133.40	33.13	0.004	0.016	0.057	0.143	0.506
36		131.46	31.03	0.006	0.028	0.116		
37		130.35	28.93	0.005	0.028	0.142		
38		128.52	27.13	0.009	0.040	0.161	0.458	2.500
39		126.61	25.13	0.032	0.142	0.305		
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.131	0.638	2.365		
123		120.86	19.27	0.085	0.343	1.301	4.514	15.951
124		120.43	16.89	0.019	0.053	0.091		
125		119.99	15.06	0.028	0.112	0.396	1.363	4.741
126		120.60	13.47	0.009	0.053	0.240		

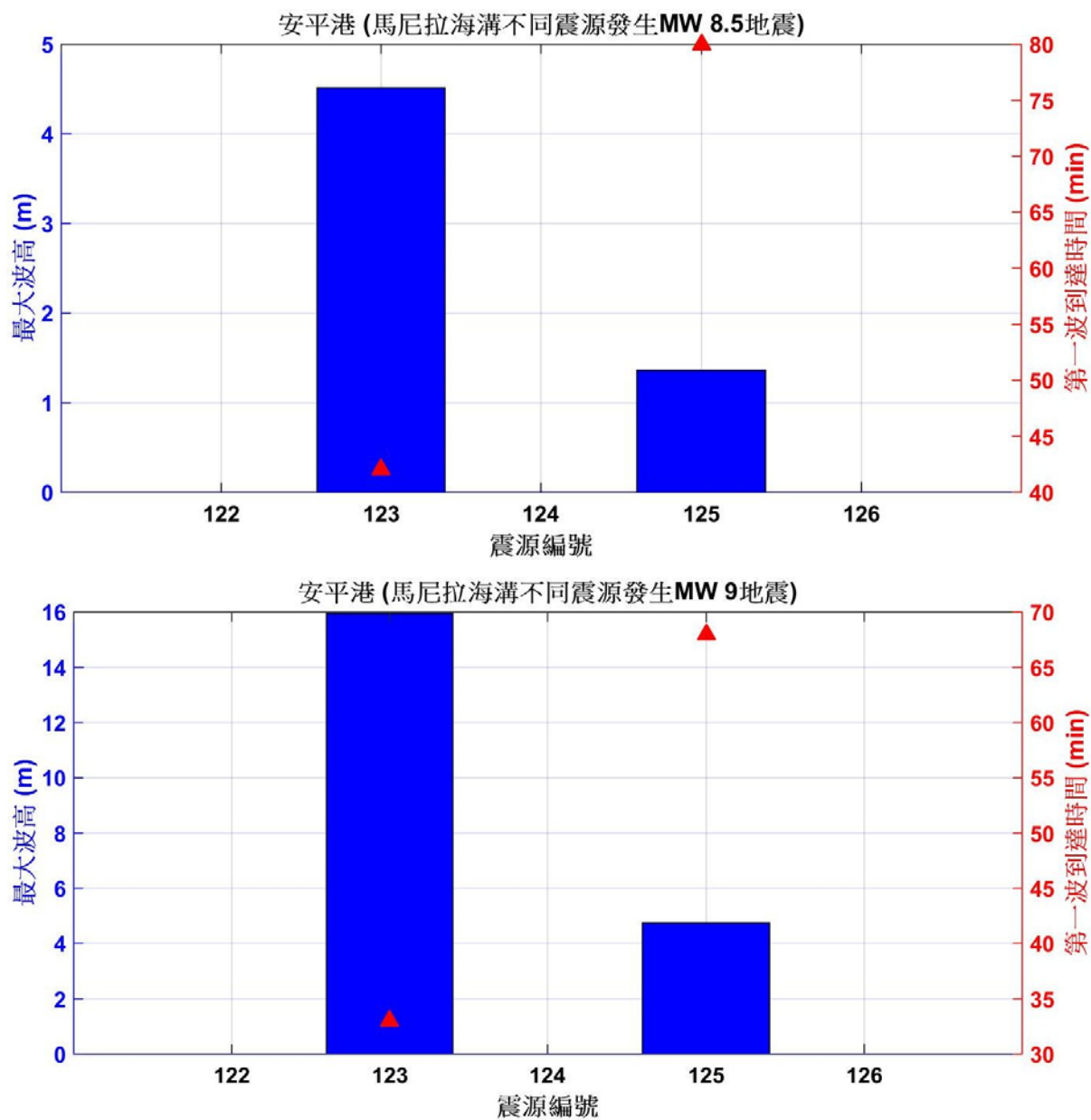
安平港第一波到達時間表

點位	地點	經度	緯度	第一波到達時間(min)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	235	233	226		
35		133.40	33.13	201	195	187	184	182
36		131.46	31.03	172	169	165		
37		130.35	28.93	148	146	142		
38		128.52	27.13	129	127	124	120	114
39		126.61	25.13	104	101	96		
122	馬尼拉	120.75	20.96	36	34	29		
123		120.86	19.27	52	50	45	40	32
124		120.43	16.89	80	76	69		
125		119.99	15.06	97	94	89	80	68
126		120.60	13.47	119	114	109		









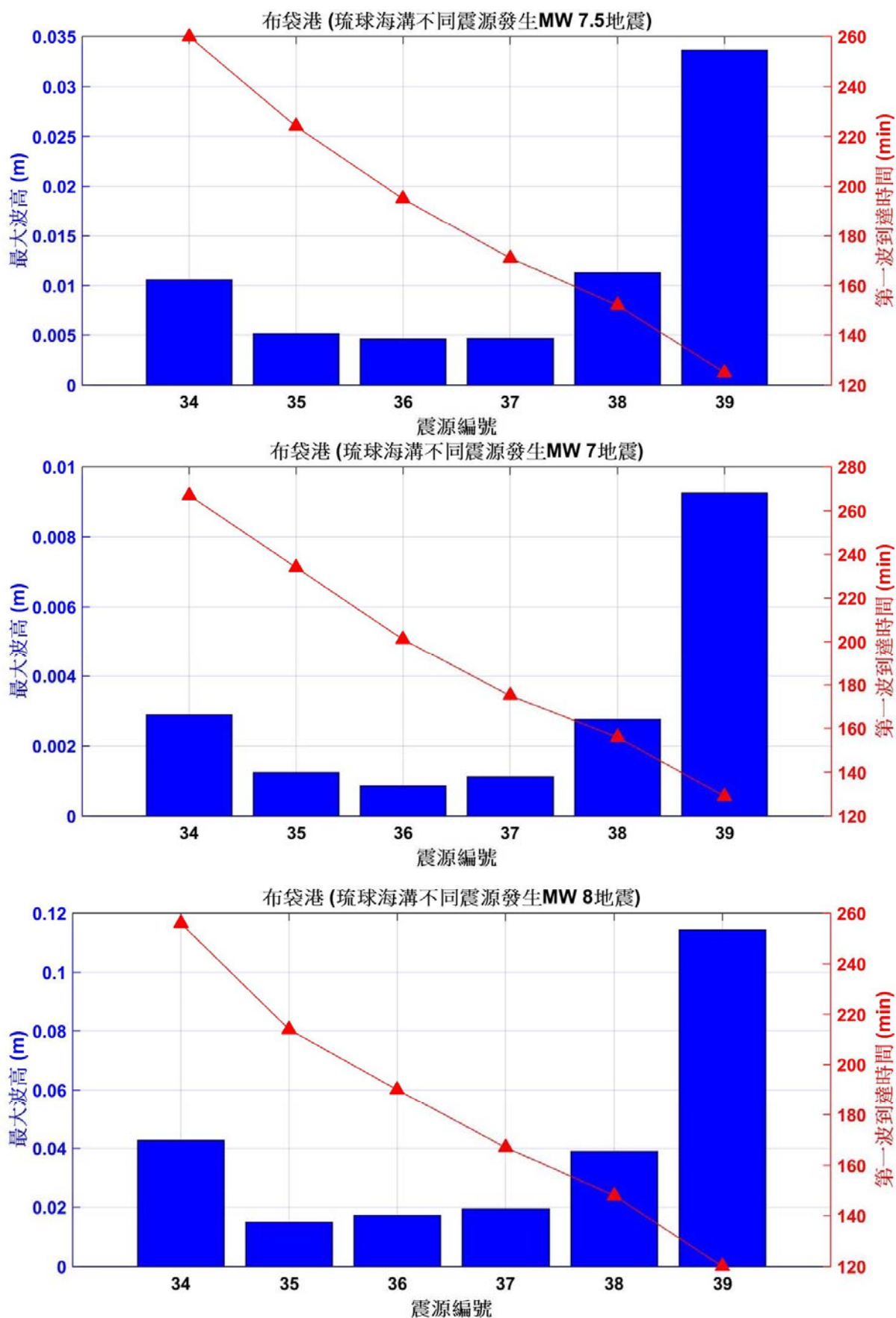
布袋港

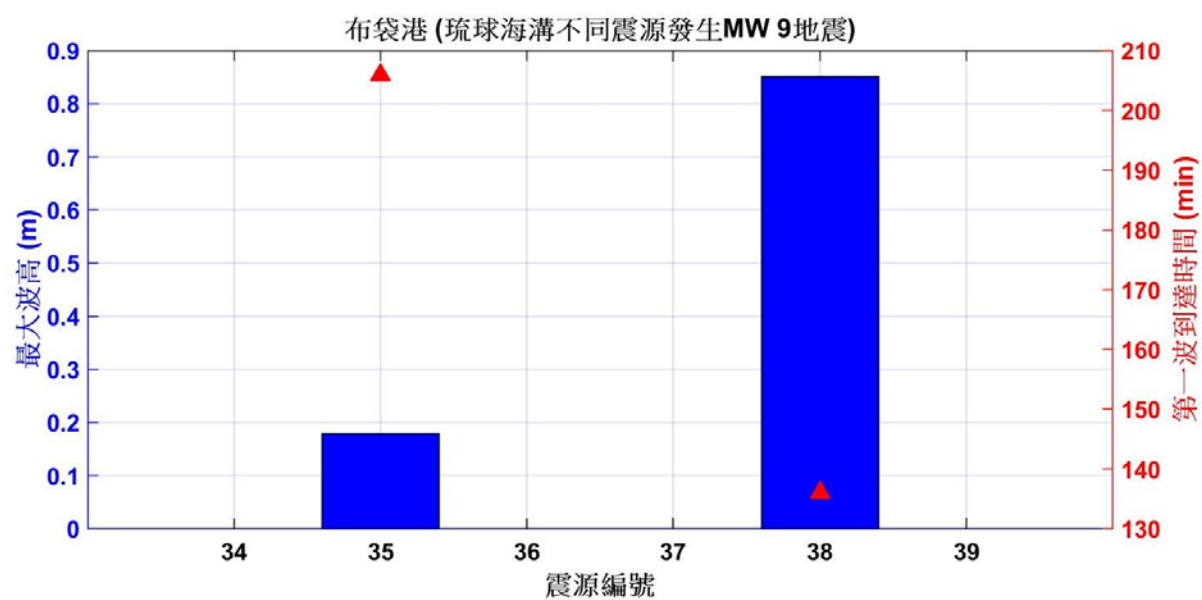
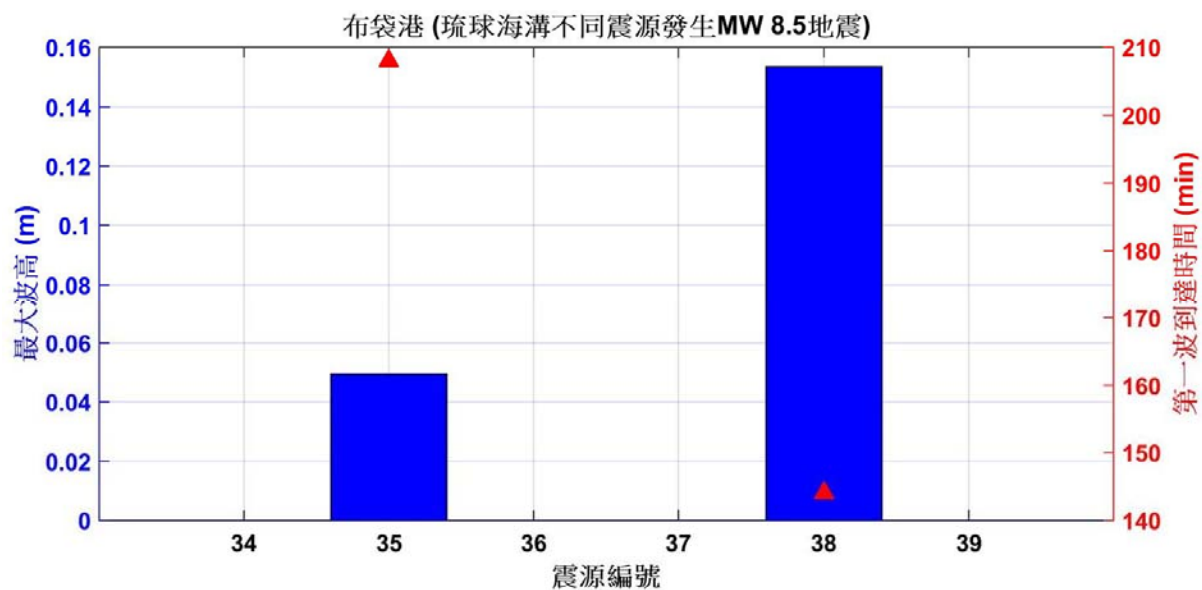
布袋港最大波高表

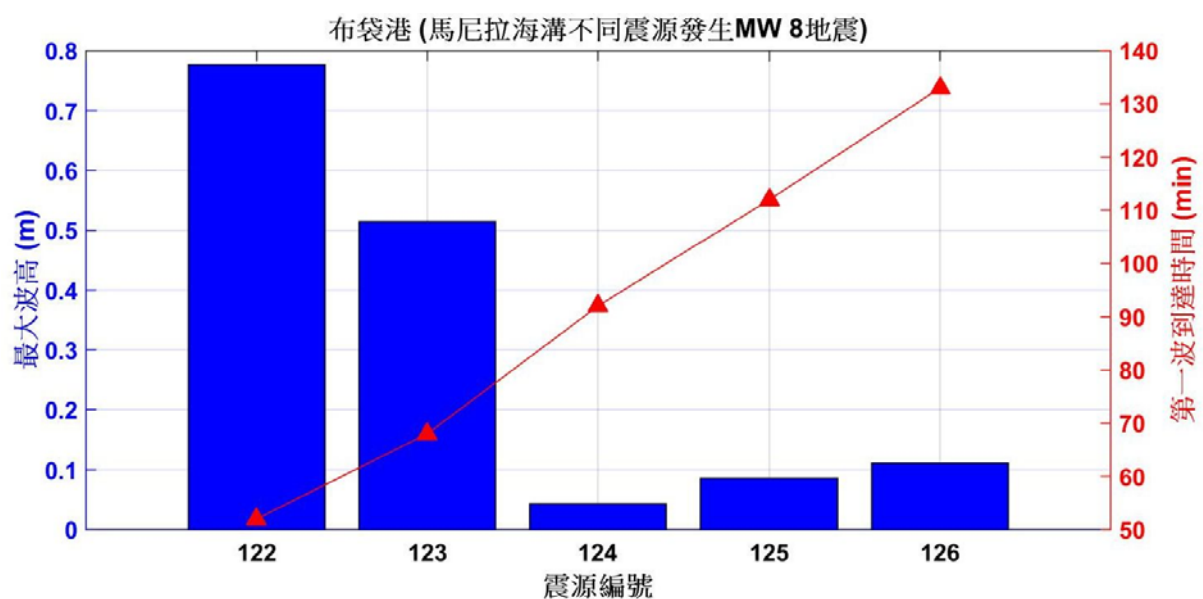
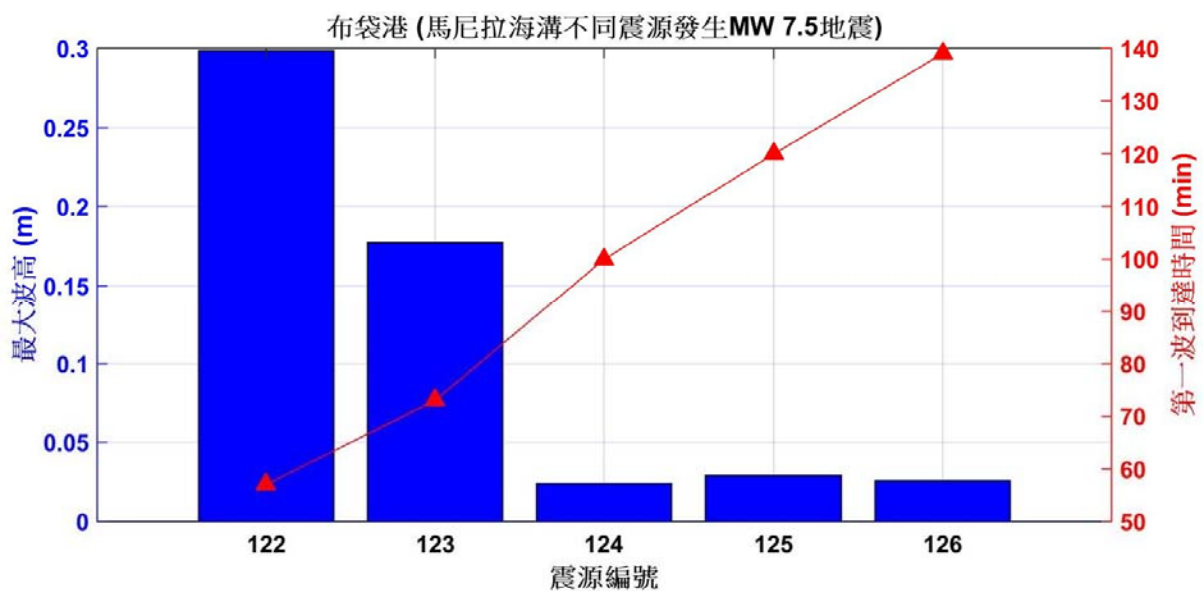
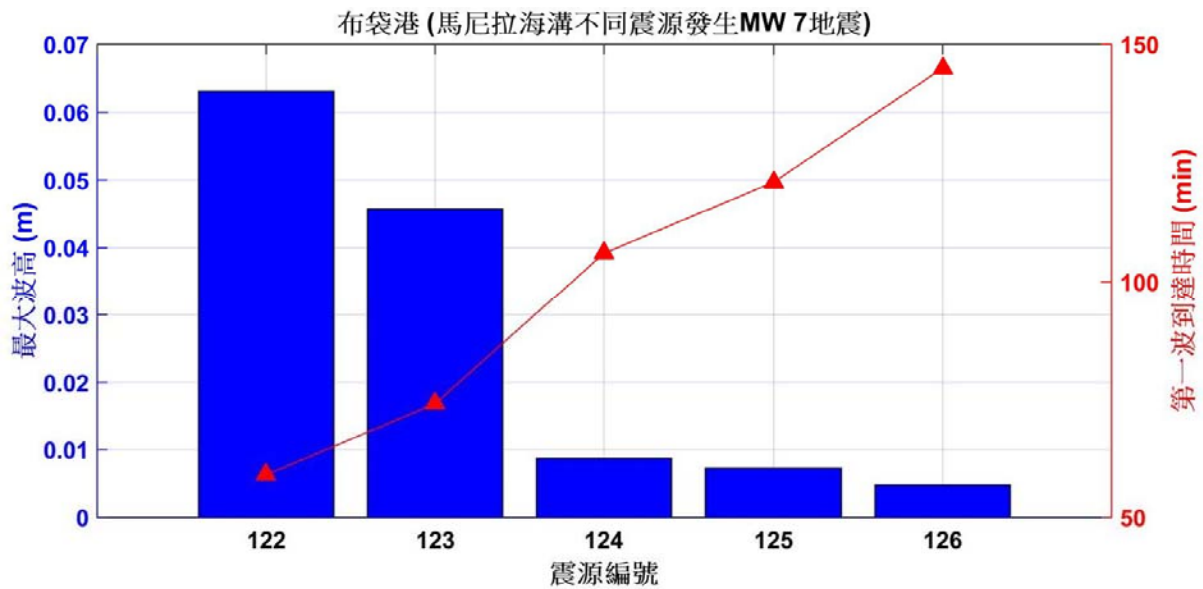
點位	地點	經度	緯度	最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.003	0.011	0.043		
35		133.40	33.13	0.001	0.005	0.015	0.050	0.179
36		131.46	31.03	0.001	0.005	0.017		
37		130.35	28.93	0.001	0.005	0.019		
38		128.52	27.13	0.003	0.011	0.039	0.154	0.851
39		126.61	25.13	0.009	0.034	0.114		
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.063	0.298	0.777		
123		120.86	19.27	0.046	0.177	0.514	1.672	6.148
124		120.43	16.89	0.009	0.024	0.043		
125		119.99	15.06	0.007	0.029	0.086	0.273	1.042
126		120.60	13.47	0.005	0.026	0.111		

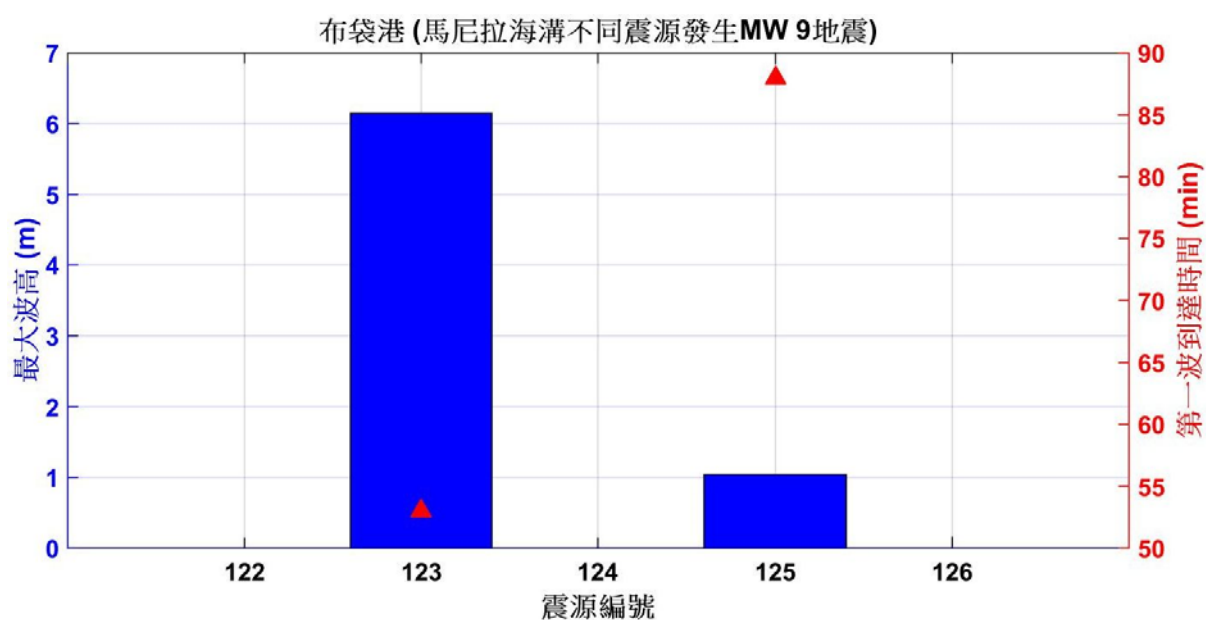
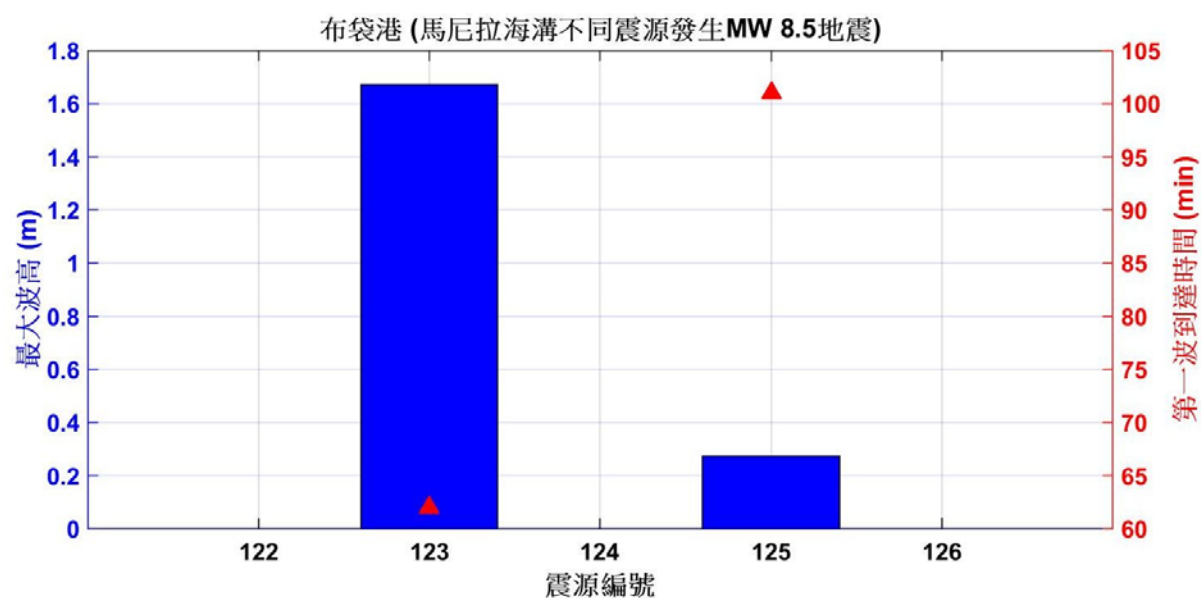
布袋港第一波到達時間表

點位	地點	經度	緯度	第一波到達時間(min)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	259	256	249		
35		133.40	33.13	225	219	211	208	206
36		131.46	31.03	195	192	188		
37		130.35	28.93	171	169	164		
38		128.52	27.13	152	149	146	142	136
39		126.61	25.13	126	123	118		
122	馬尼拉	120.75	20.96	57	55	49		
123		120.86	19.27	72	72	65	60	52
124		120.43	16.89	104	96	89		
125		119.99	15.06	118	118	109	100	88
126		120.60	13.47	141	135	130		









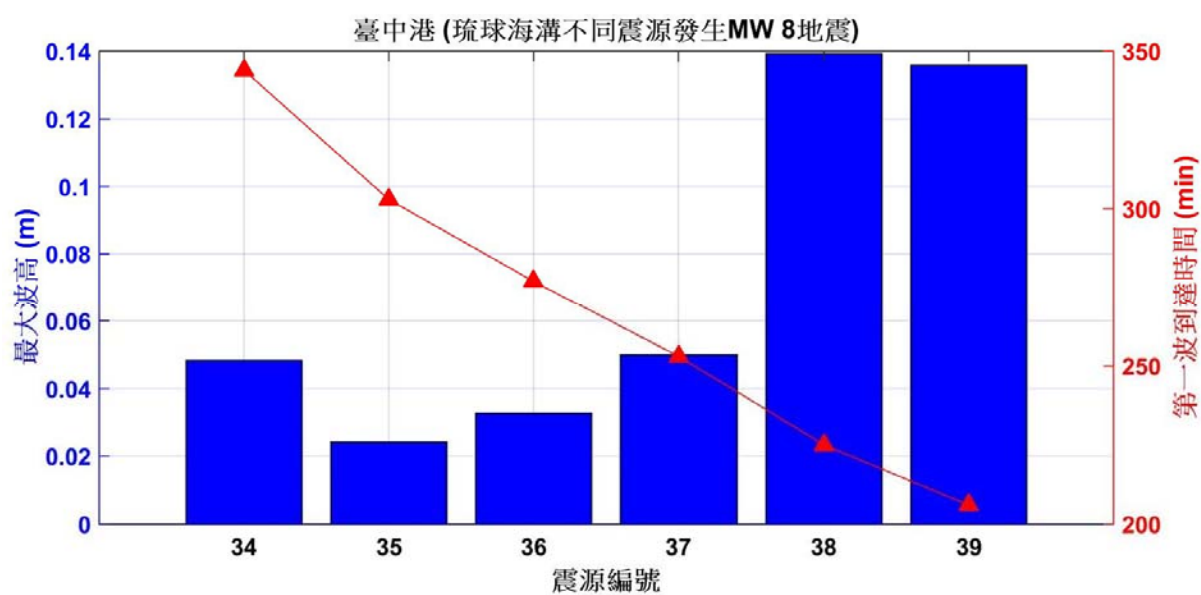
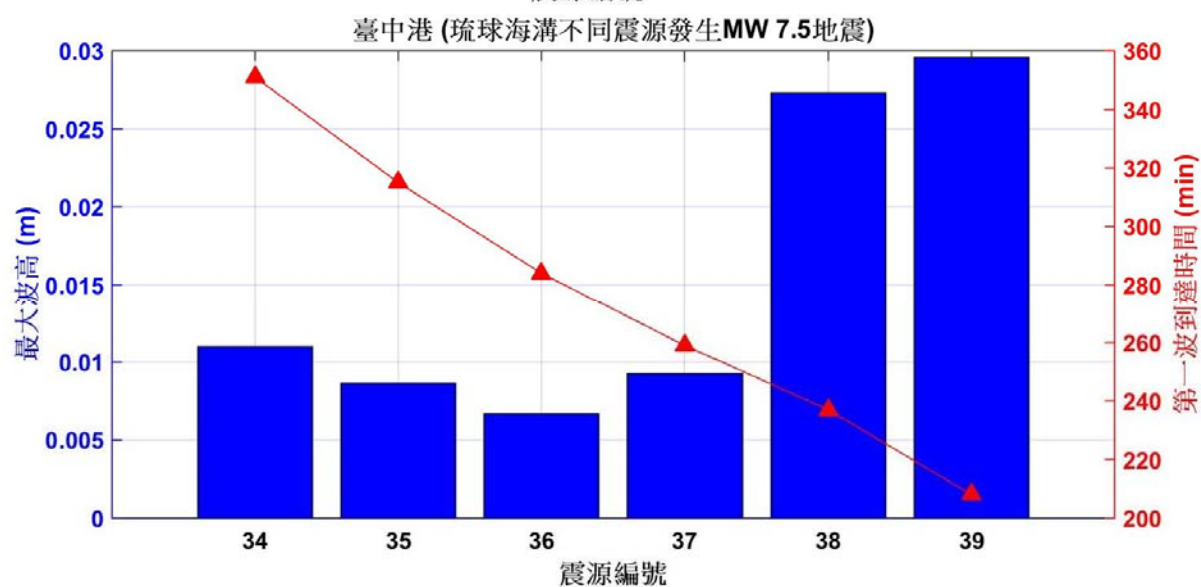
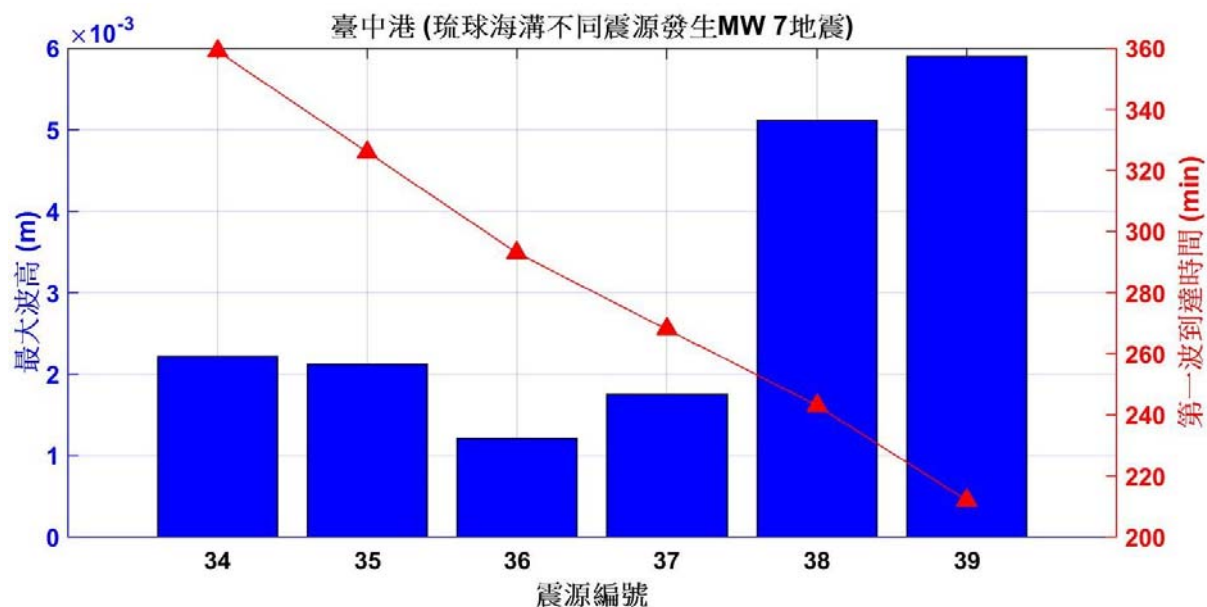
臺中港

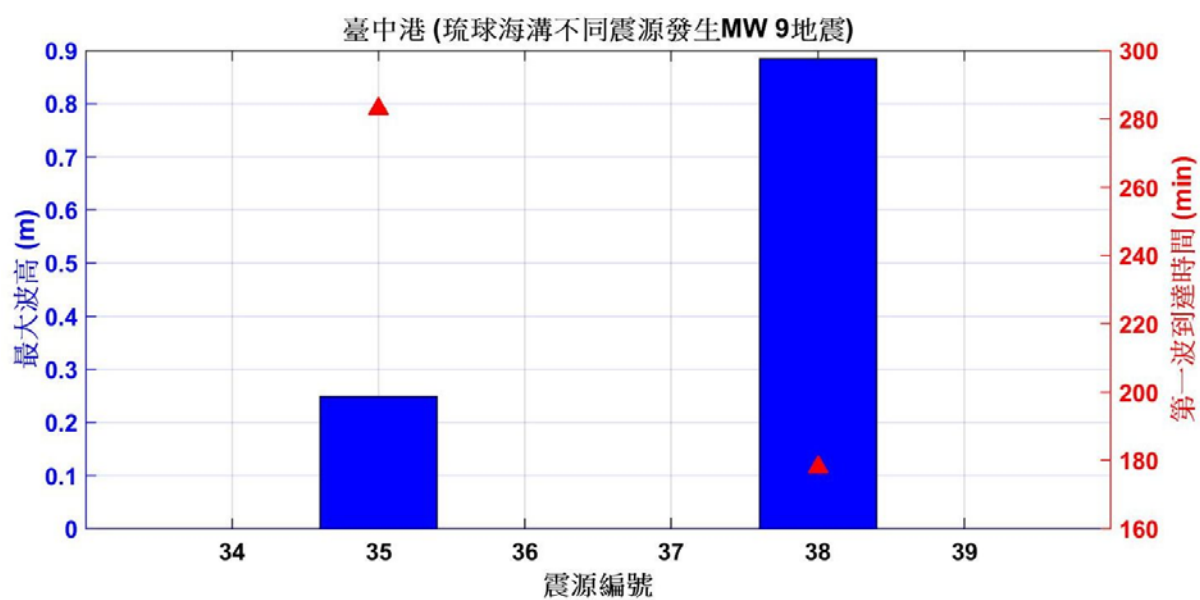
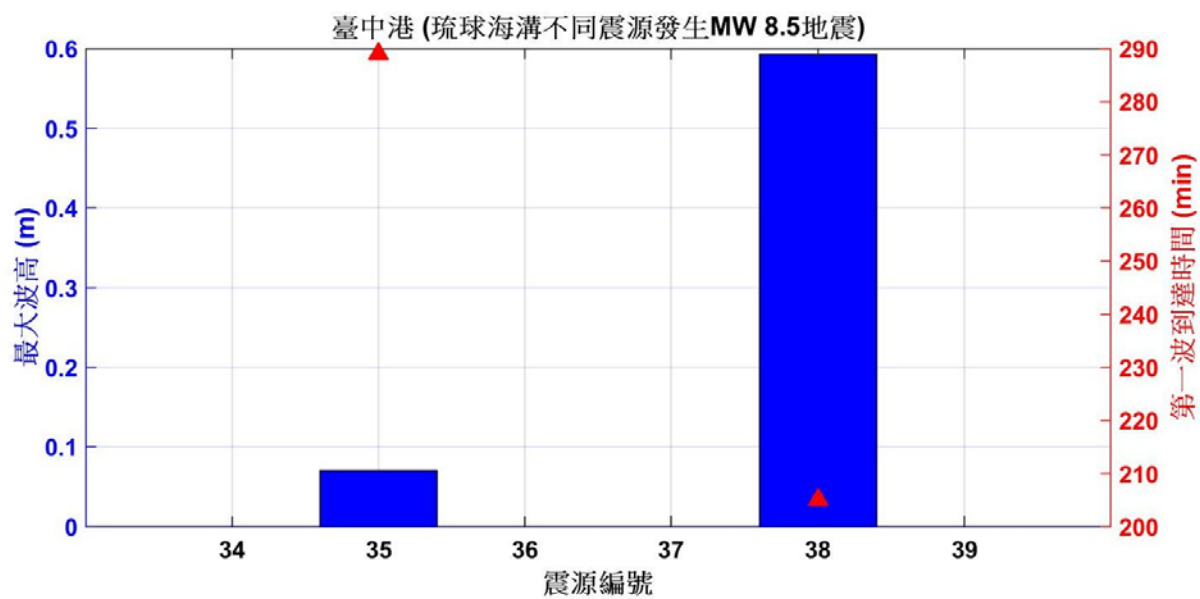
臺中港最大波高表

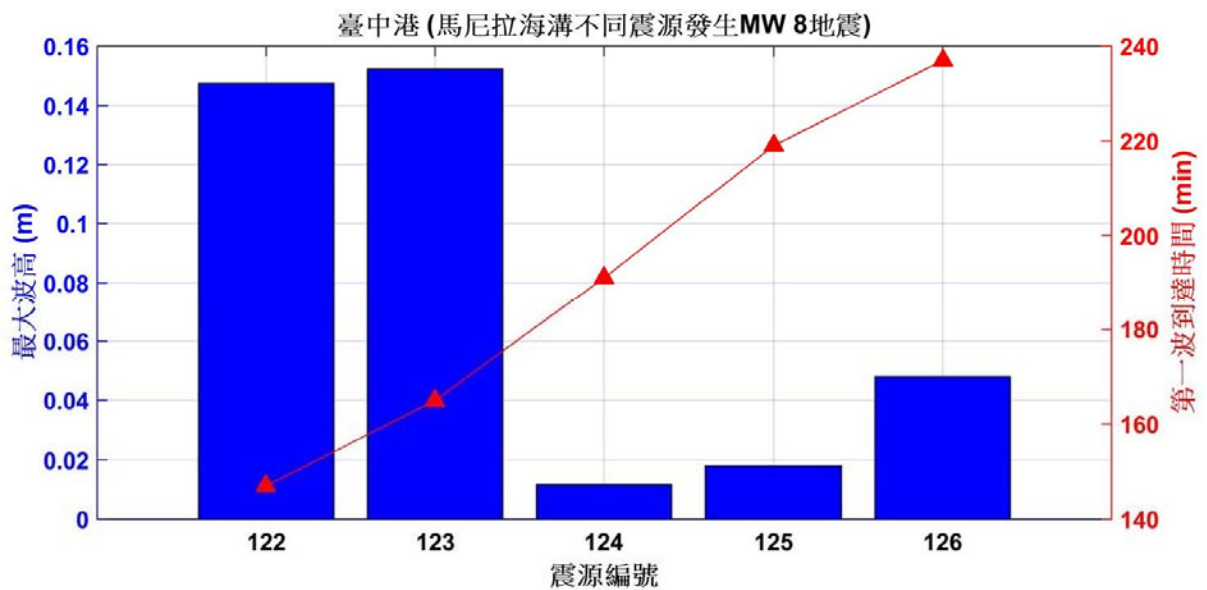
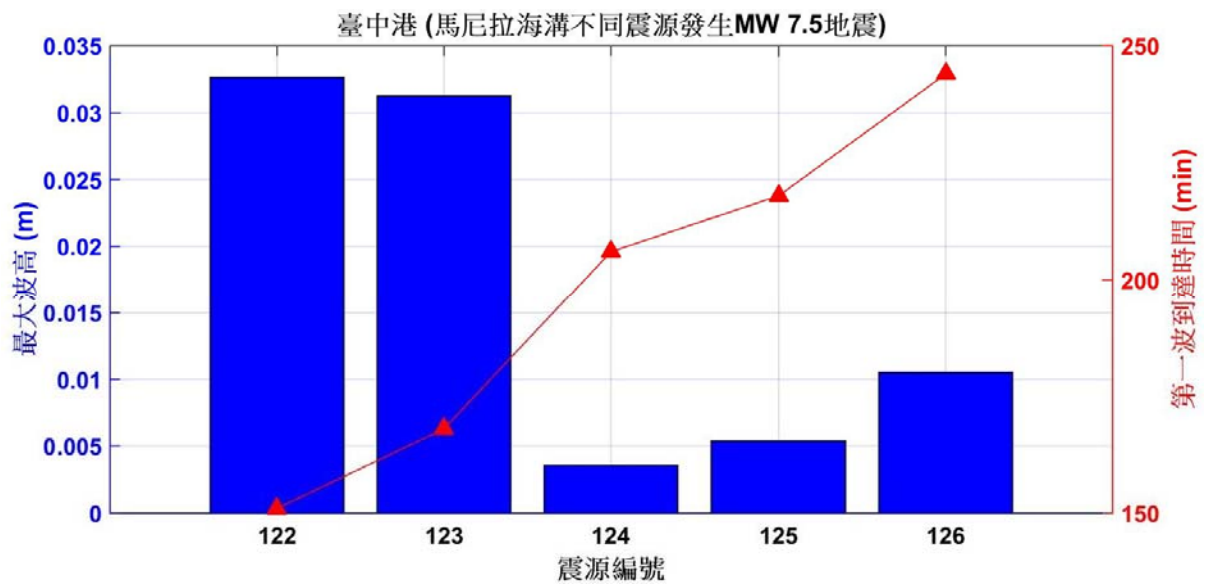
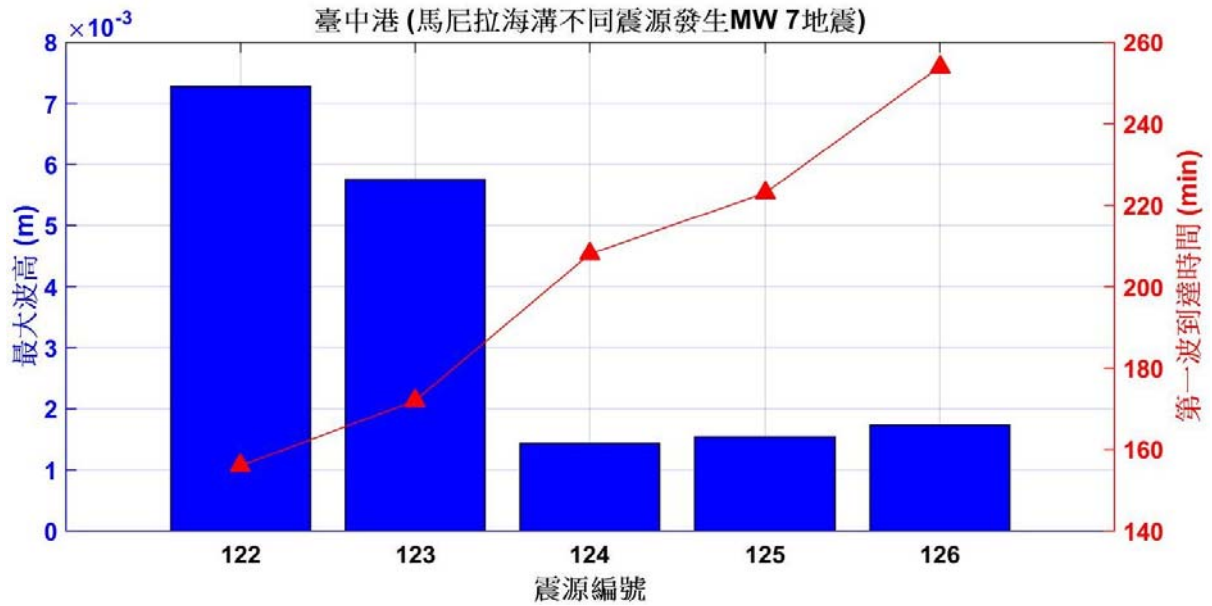
點位	地點	經度	緯度	最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.002	0.011	0.048		
35		133.40	33.13	0.002	0.009	0.024	0.070	0.249
36		131.46	31.03	0.001	0.007	0.033		
37		130.35	28.93	0.002	0.009	0.050		
38		128.52	27.13	0.005	0.027	0.139	0.593	0.885
39		126.61	25.13	0.006	0.030	0.136		
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.007	0.033	0.147		
123		120.86	19.27	0.006	0.031	0.152	0.544	1.504
124		120.43	16.89	0.001	0.004	0.012		
125		119.99	15.06	0.002	0.005	0.018	0.084	0.240
126		120.60	13.47	0.002	0.011	0.048		

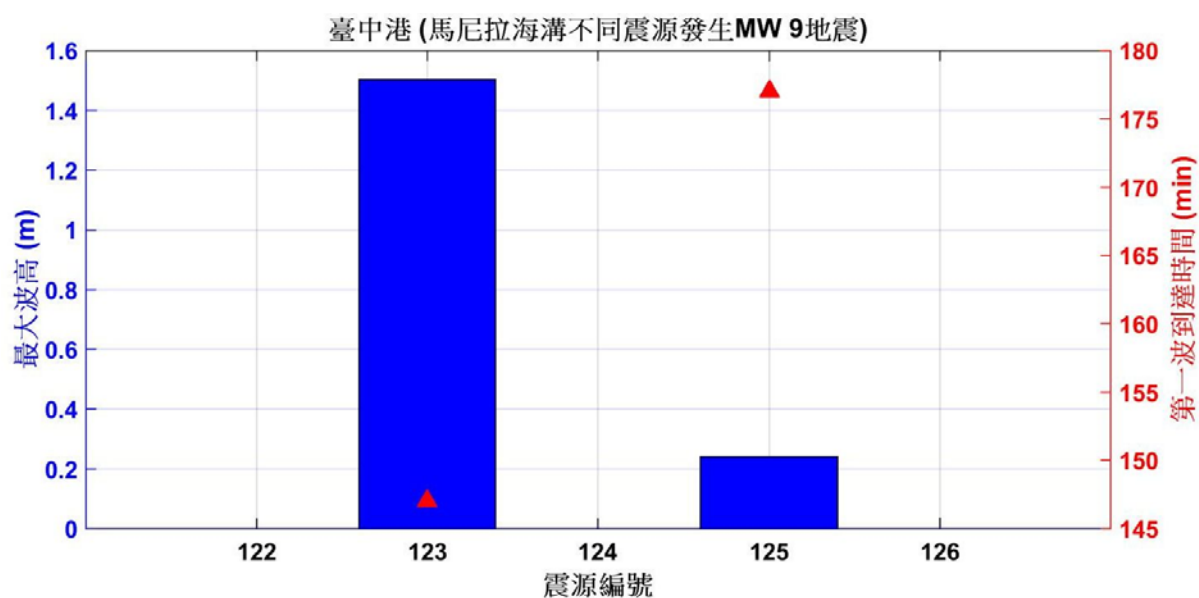
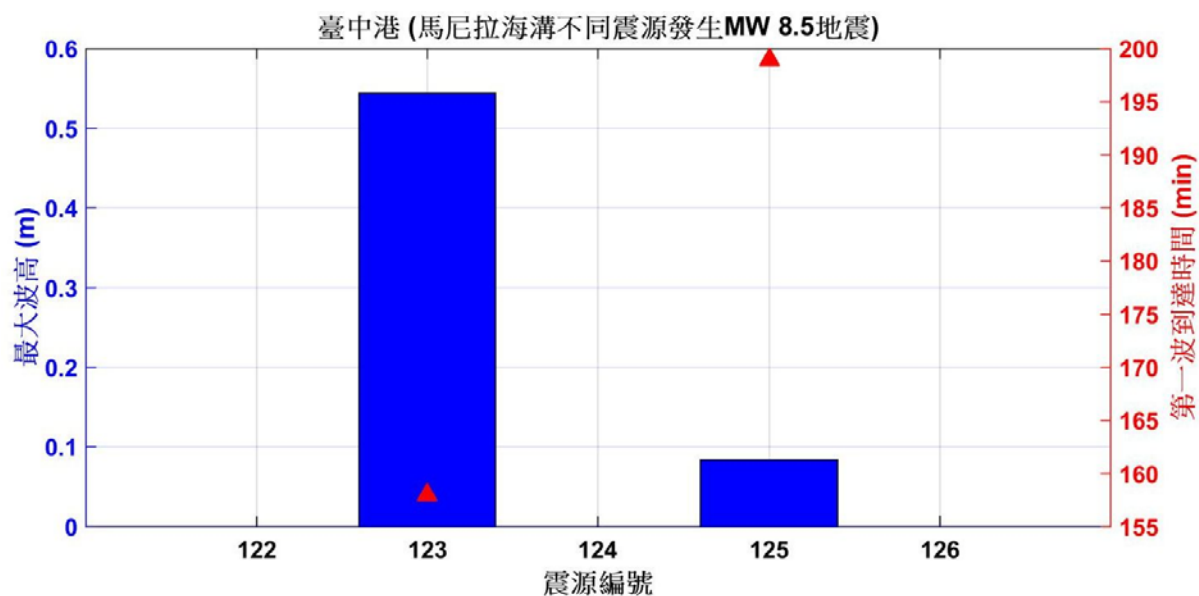
臺中港第一波到達時間表

點位	地點	經度	緯度	第一波到達時間(min)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	347	342	338		
35		133.40	33.13	314	306	295	286	283
36		131.46	31.03	283	277	271		
37		130.35	28.93	258	252	248		
38		128.52	27.13	236	231	219	201	178
39		126.61	25.13	207	203	194		
122	馬尼拉	120.75	20.96	150	146	142		
123		120.86	19.27	166	162	161	151	142
124		120.43	16.89	200	202	184		
125		119.99	15.06	214	211	205	193	174
126		120.60	13.47	241	237	226		









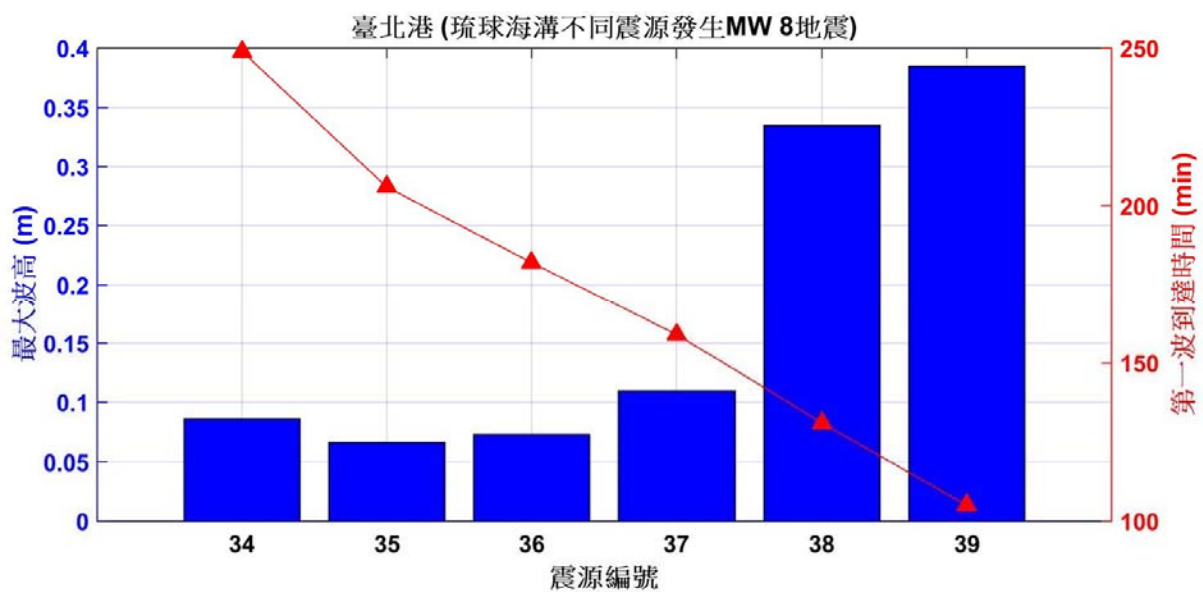
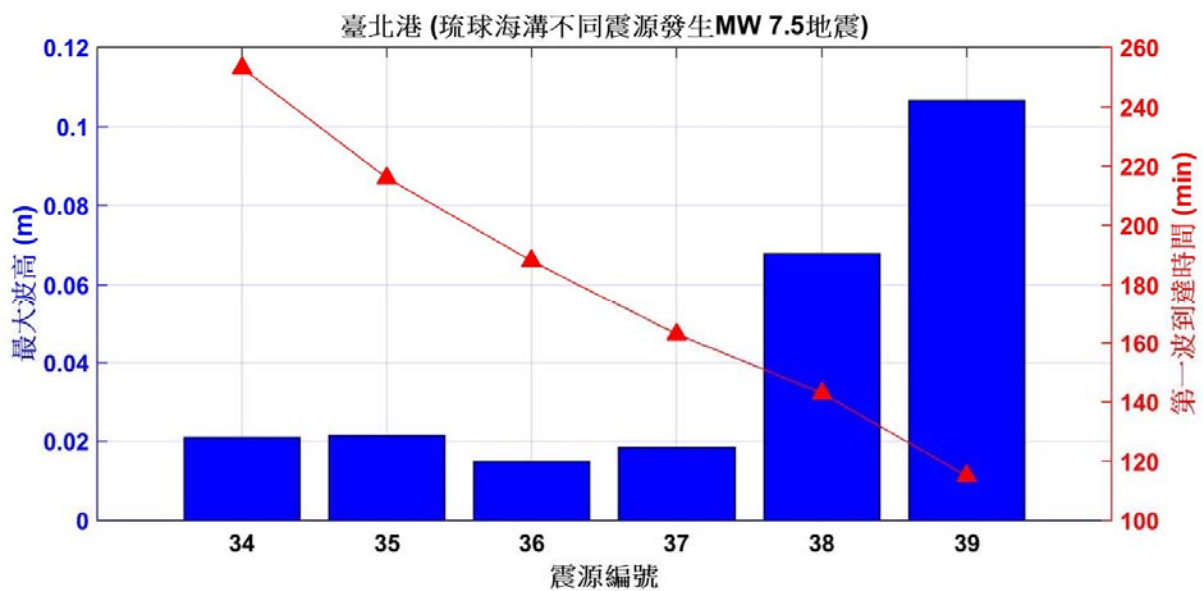
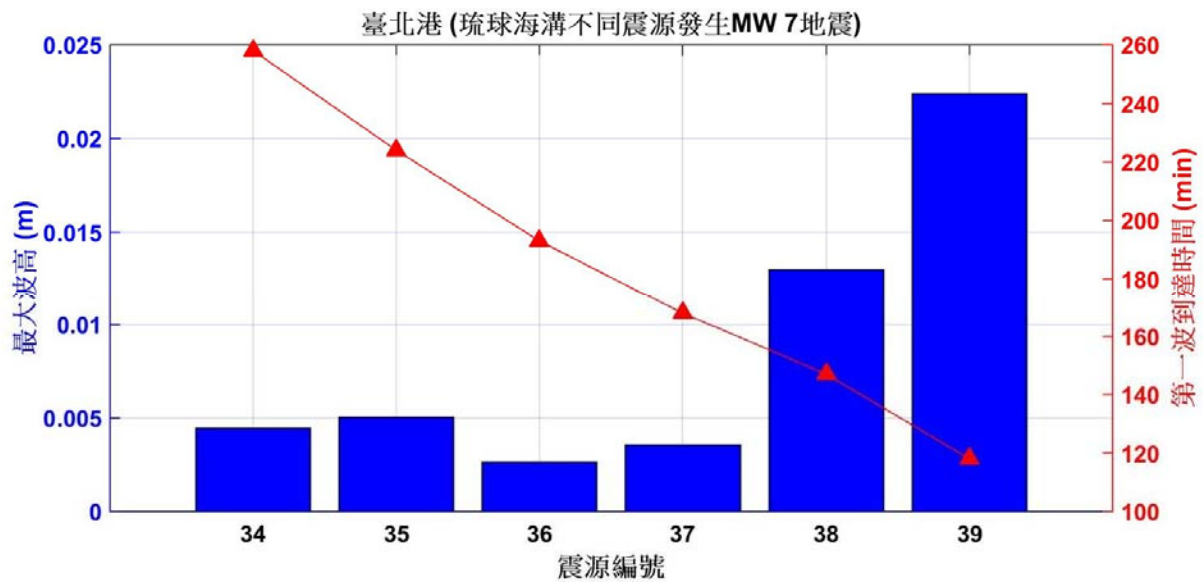
臺北港

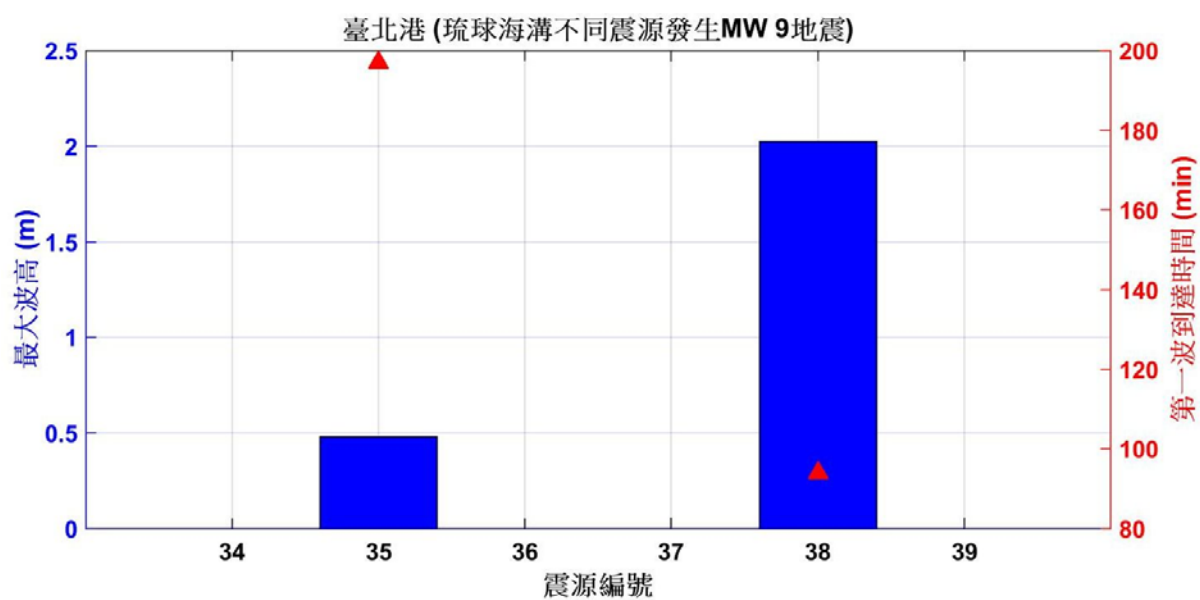
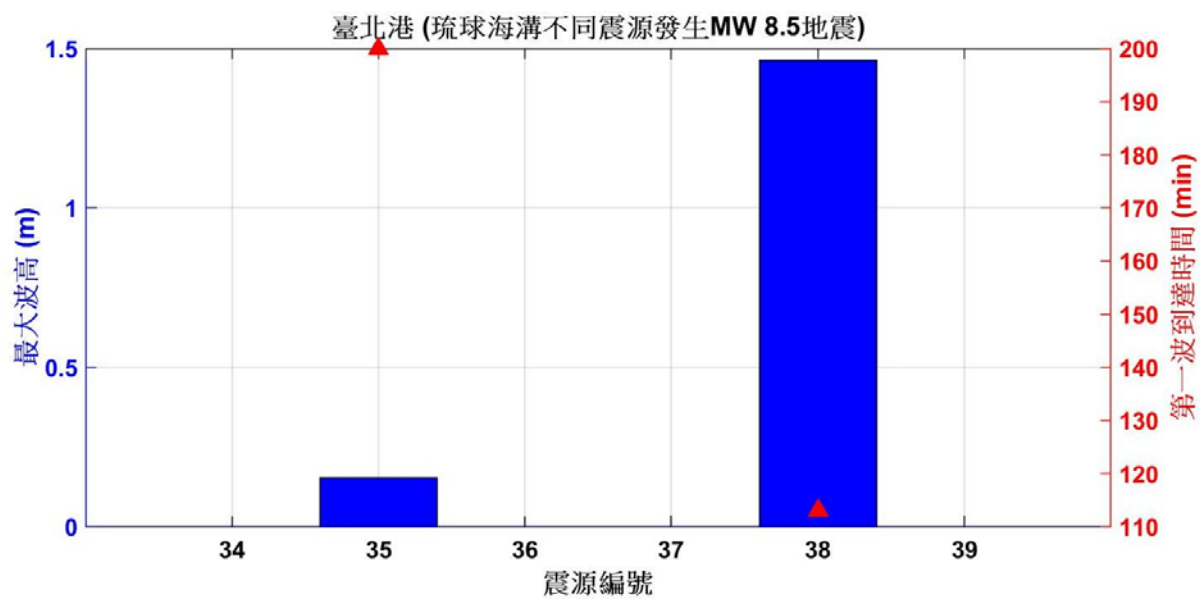
臺北港最大波高表

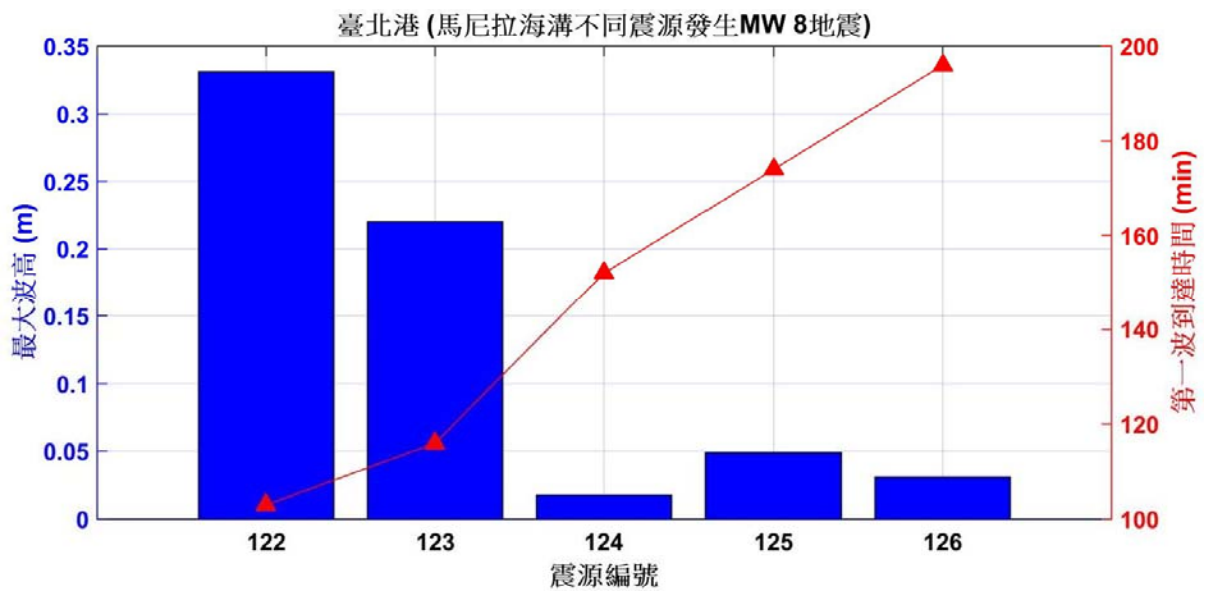
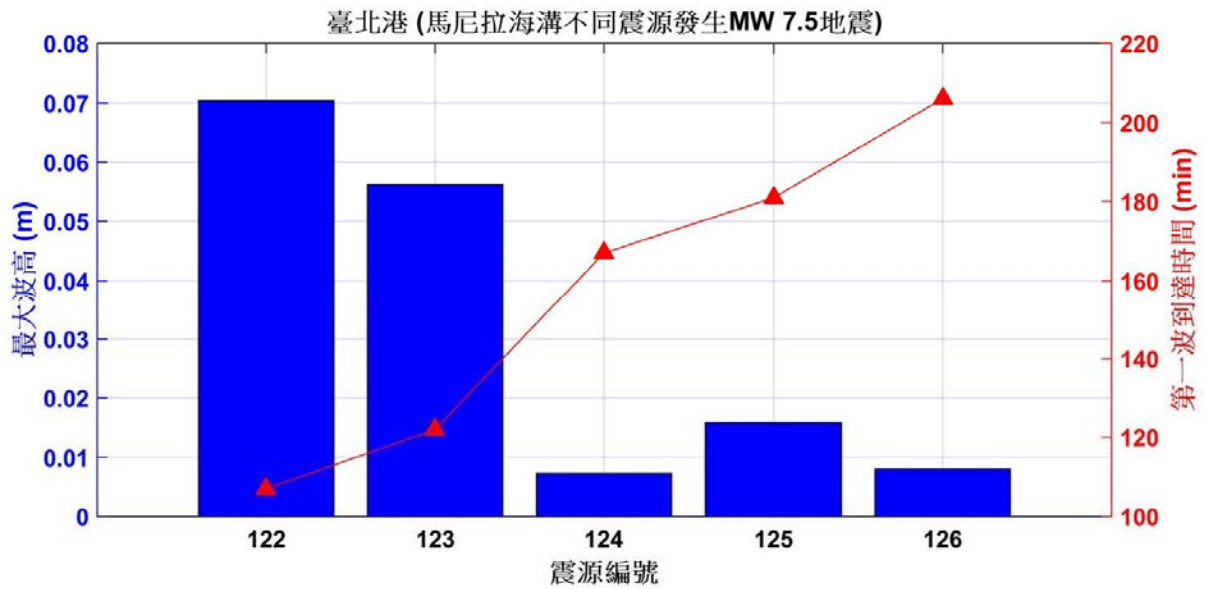
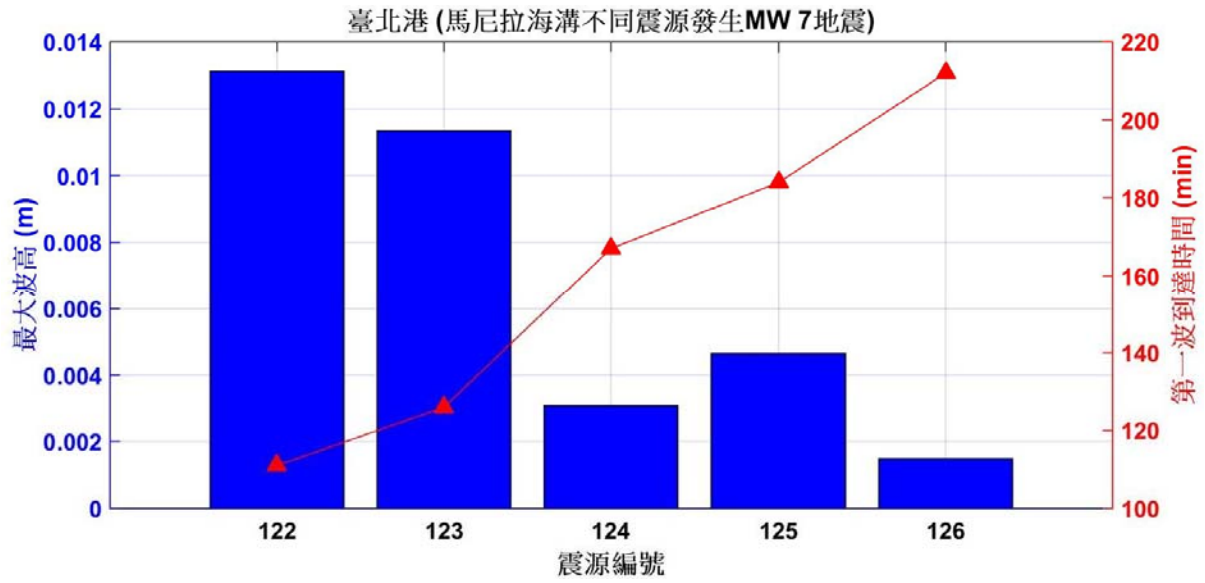
點位	地點	經度	緯度	最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.004	0.021	0.086		
35		133.40	33.13	0.005	0.022	0.066	0.153	0.479
36		131.46	31.03	0.003	0.015	0.073		
37		130.35	28.93	0.004	0.018	0.109		
38		128.52	27.13	0.013	0.068	0.335	1.463	2.026
39		126.61	25.13	0.022	0.107	0.385		
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.013	0.070	0.331		
123		120.86	19.27	0.011	0.056	0.220	0.589	2.479
124		120.43	16.89	0.003	0.007	0.018		
125		119.99	15.06	0.005	0.016	0.049	0.160	0.766
126		120.60	13.47	0.001	0.008	0.031		

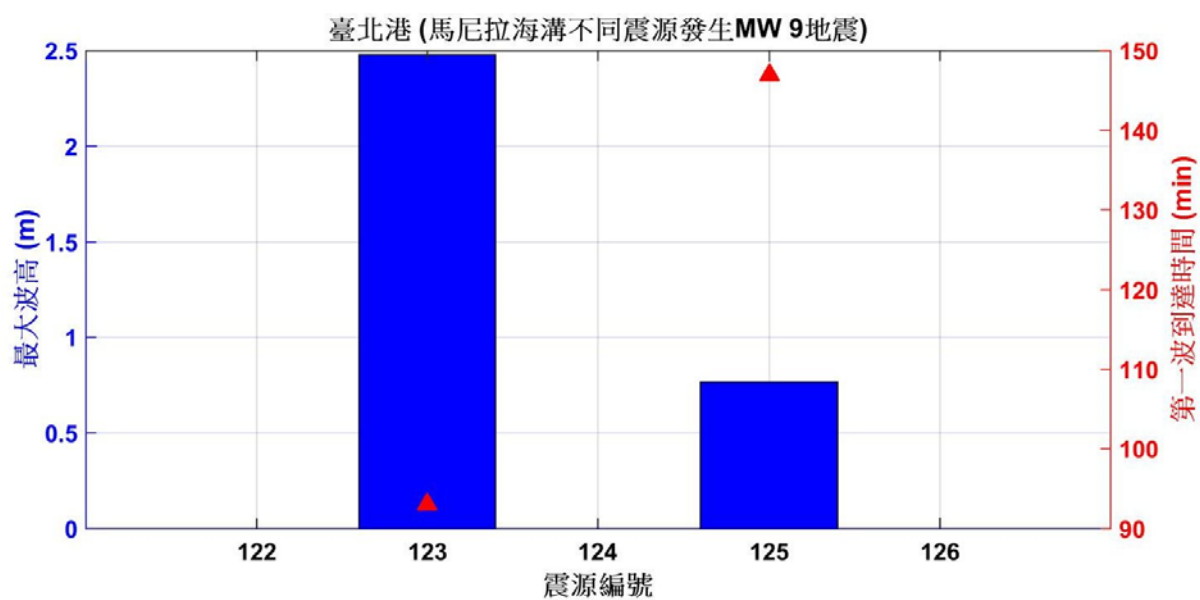
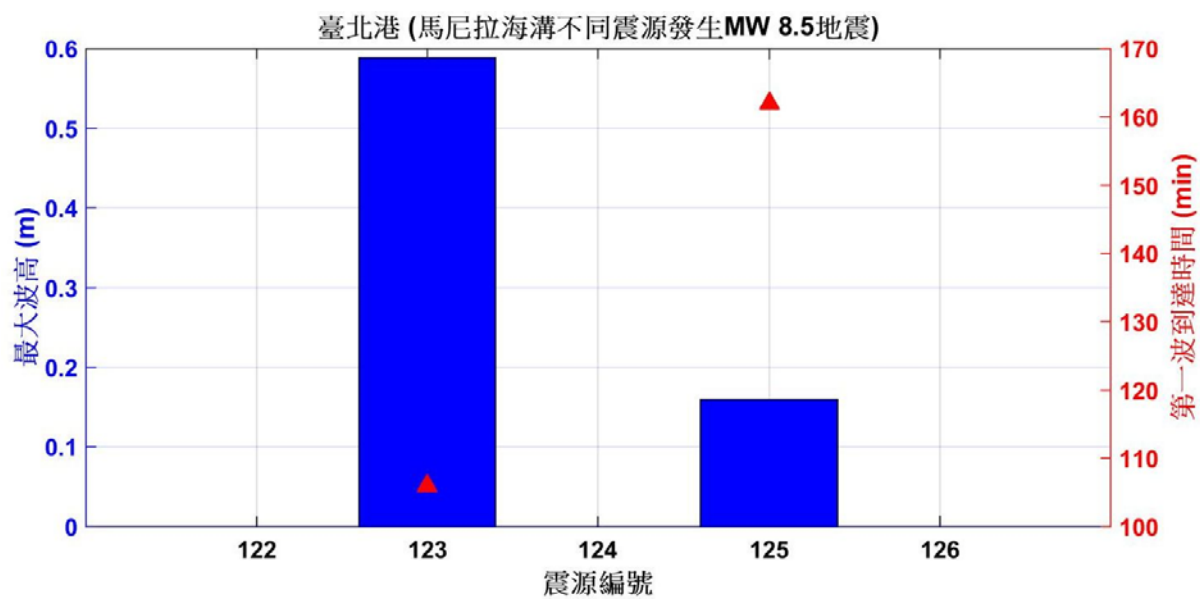
臺北港第一波到達時間表

點位	地點	經度	緯度	第一波到達時間(min)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	251	249	241		
35		133.40	33.13	217	211	203	200	197
36		131.46	31.03	187	184	180		
37		130.35	28.93	163	161	156		
38		128.52	27.13	143	141	127	113	94
39		126.61	25.13	115	112	101		
122	馬尼拉	120.75	20.96	108	105	101		
123		120.86	19.27	122	119	115	104	93
124		120.43	16.89	162	156	148		
125		119.99	15.06	179	178	170	161	147
126		120.60	13.47	203	197	191		









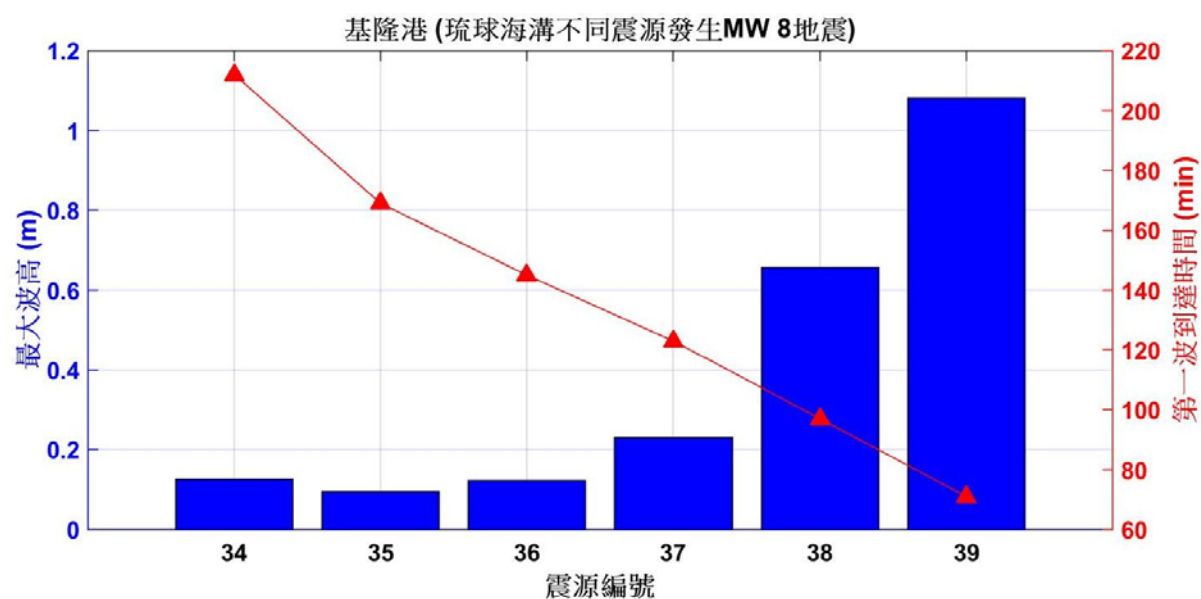
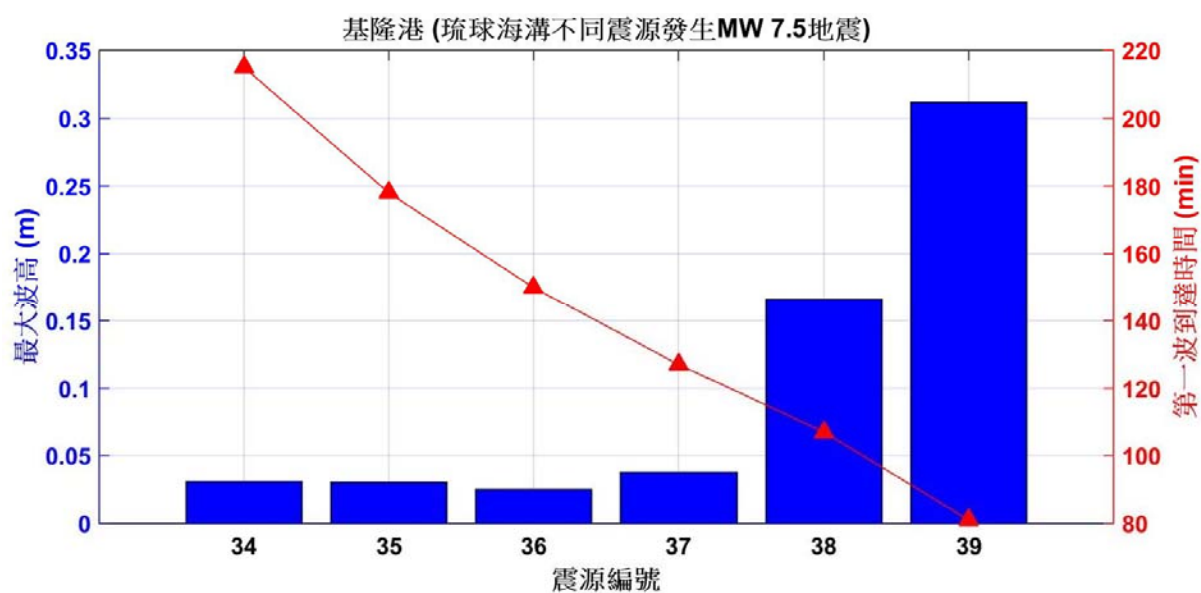
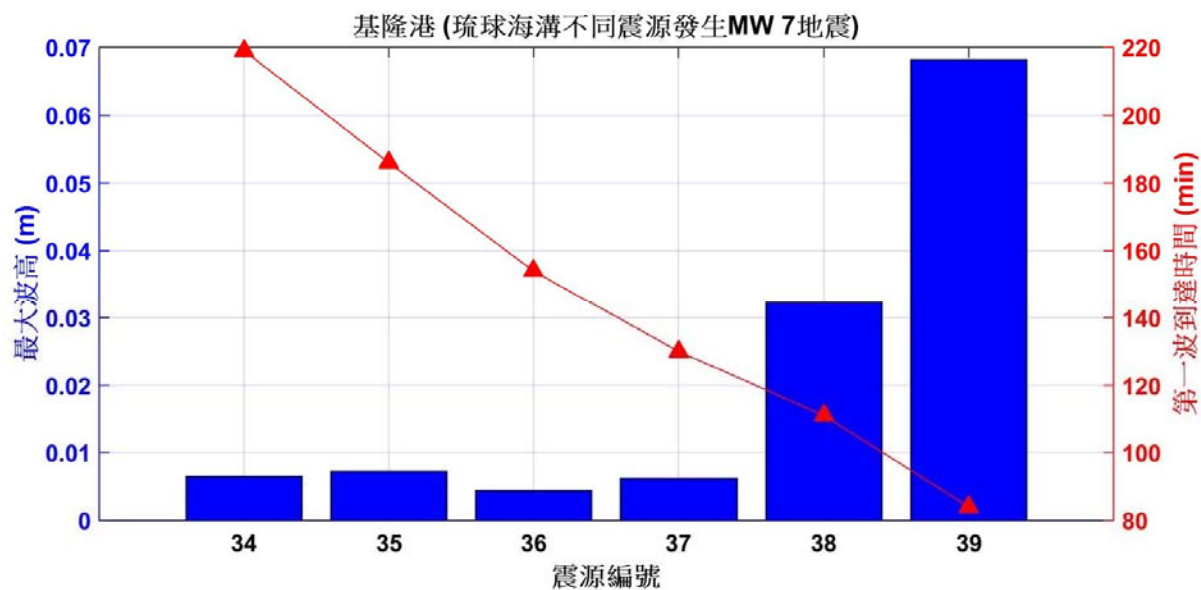
基隆港

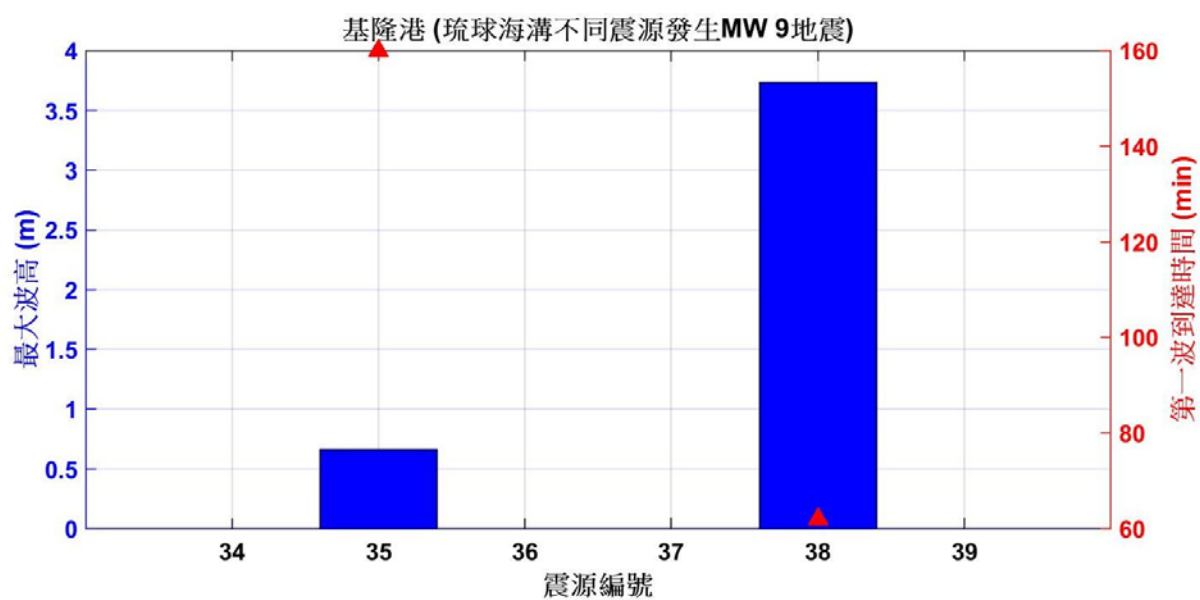
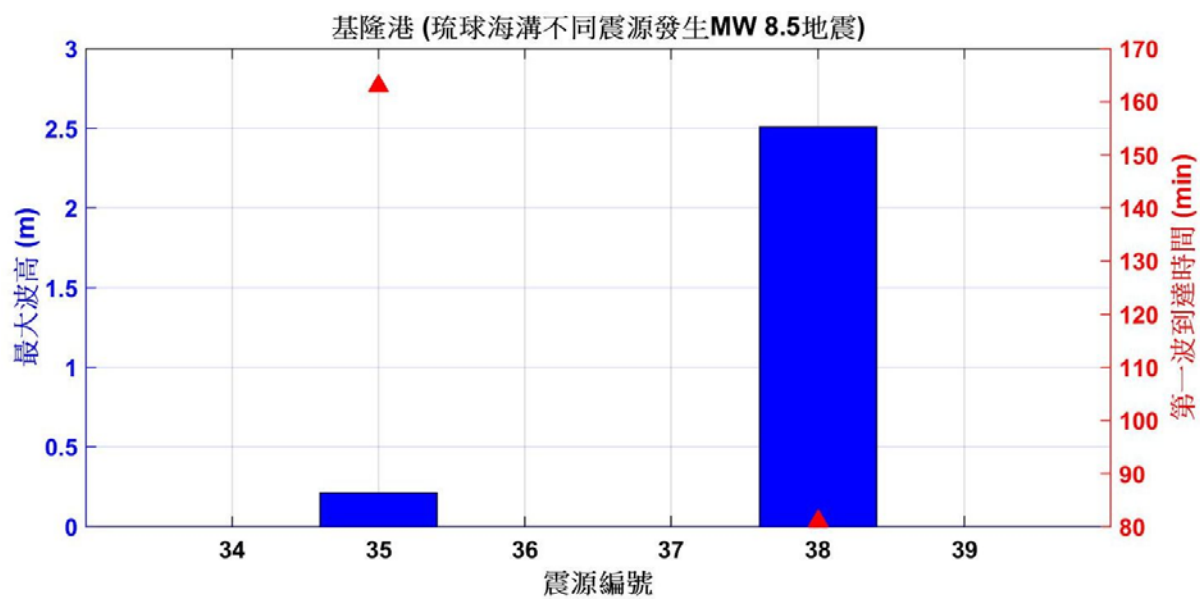
基隆港最大波高表

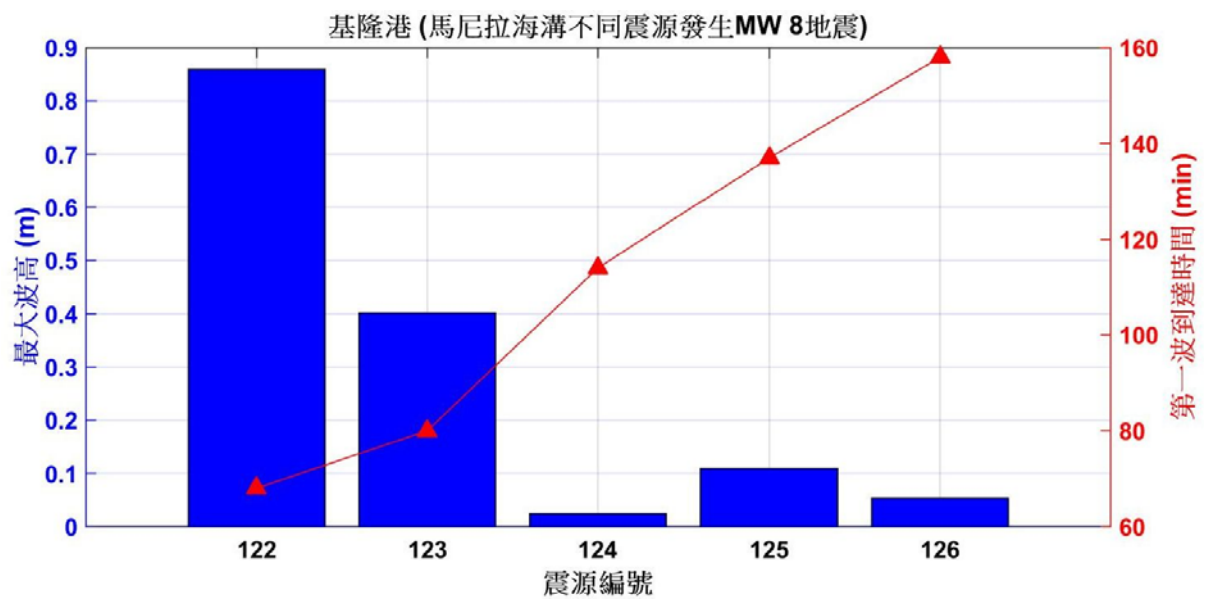
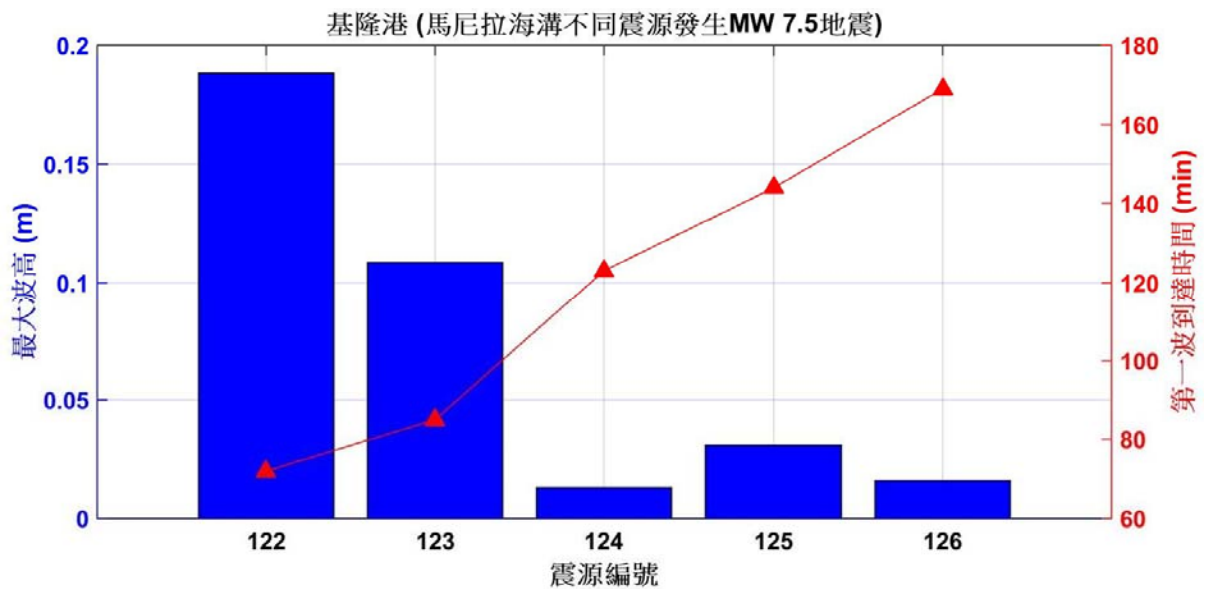
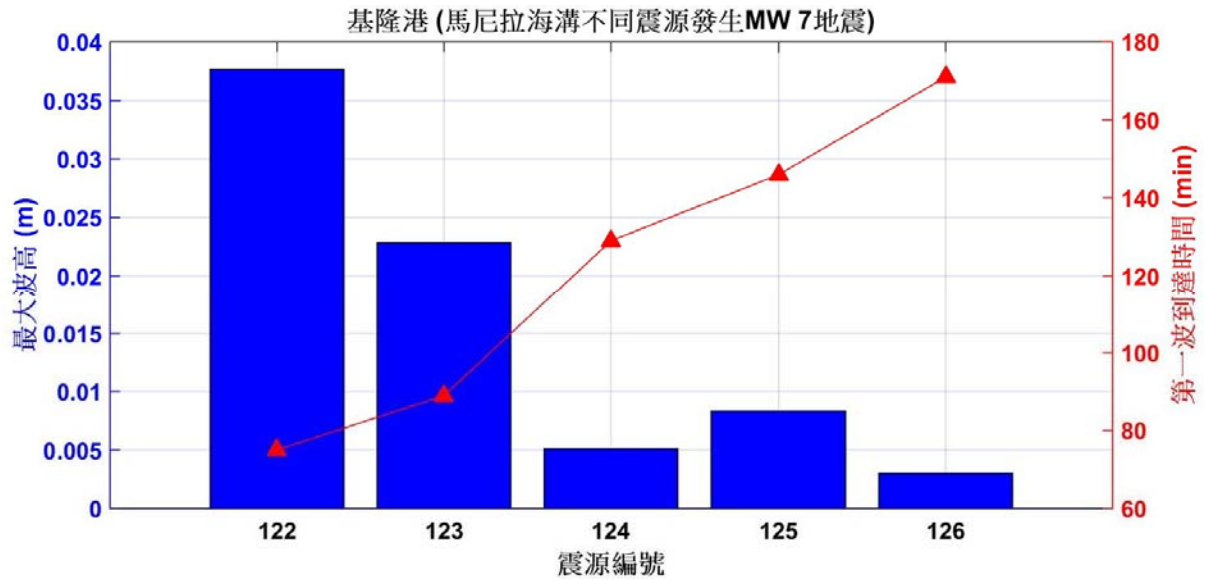
點位	地點	經度	緯度	最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.006	0.031	0.126		
35		133.40	33.13	0.007	0.031	0.095	0.213	0.661
36		131.46	31.03	0.004	0.025	0.123		
37		130.35	28.93	0.006	0.038	0.230		
38		128.52	27.13	0.032	0.166	0.657	2.509	3.734
39		126.61	25.13	0.068	0.312	1.081		
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.038	0.188	0.859		
123		120.86	19.27	0.023	0.108	0.402	1.279	4.545
124		120.43	16.89	0.005	0.013	0.024		
125		119.99	15.06	0.008	0.031	0.109	0.311	1.602
126		120.60	13.47	0.003	0.016	0.053		

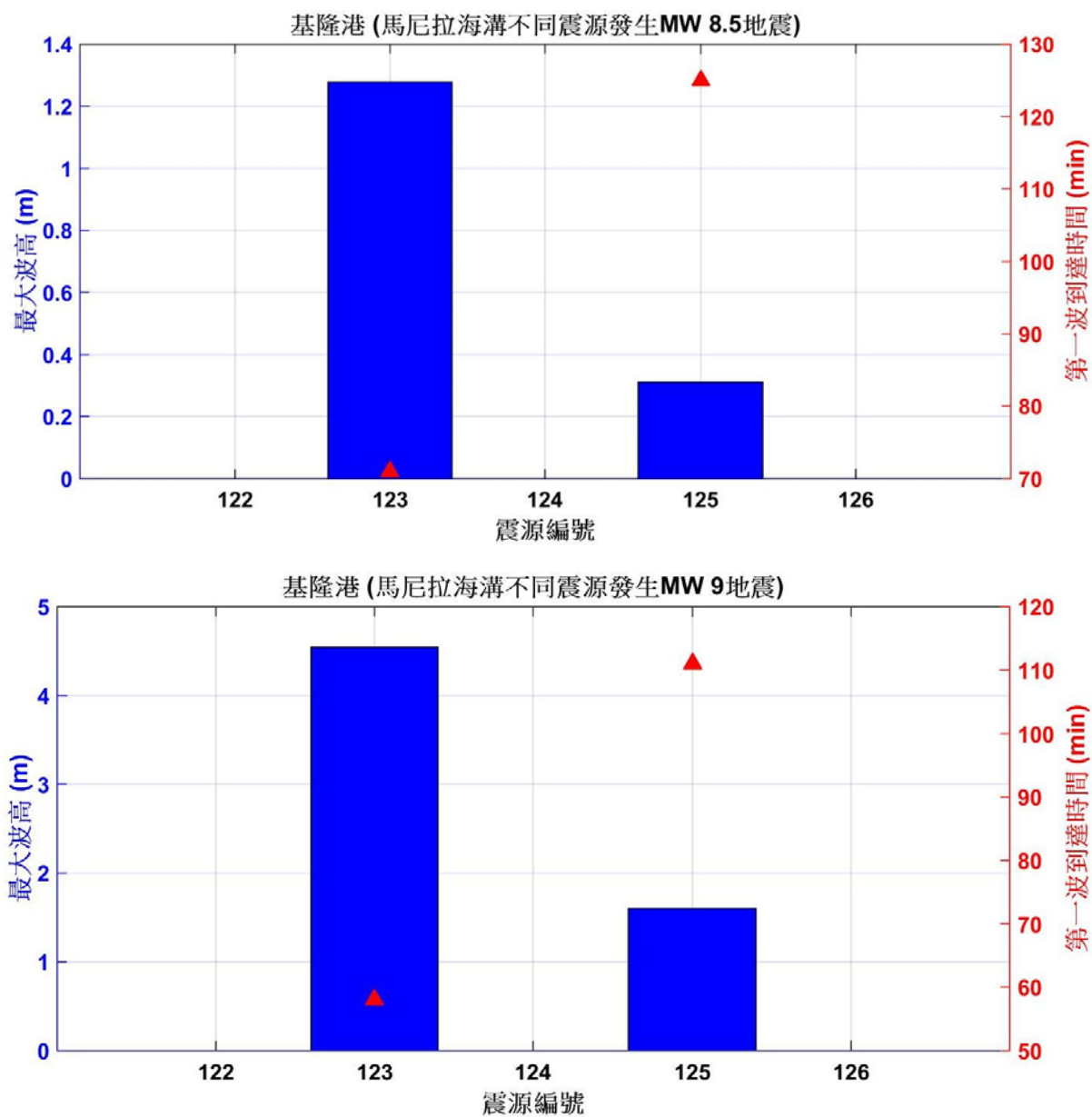
基隆港第一波到達時間表

點位	地點	經度	緯度	第一波到達時間(min)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	213	212	204		
35		133.40	33.13	180	174	166	163	160
36		131.46	31.03	151	148	144		
37		130.35	28.93	127	124	120		
38		128.52	27.13	108	105	95	80	62
39		126.61	25.13	82	79	68		
122	馬尼拉	120.75	20.96	72	70	66		
123		120.86	19.27	86	83	79	69	58
124		120.43	16.89	127	120	112		
125		119.99	15.06	142	142	134	125	111
126		120.60	13.47	166	160	155		









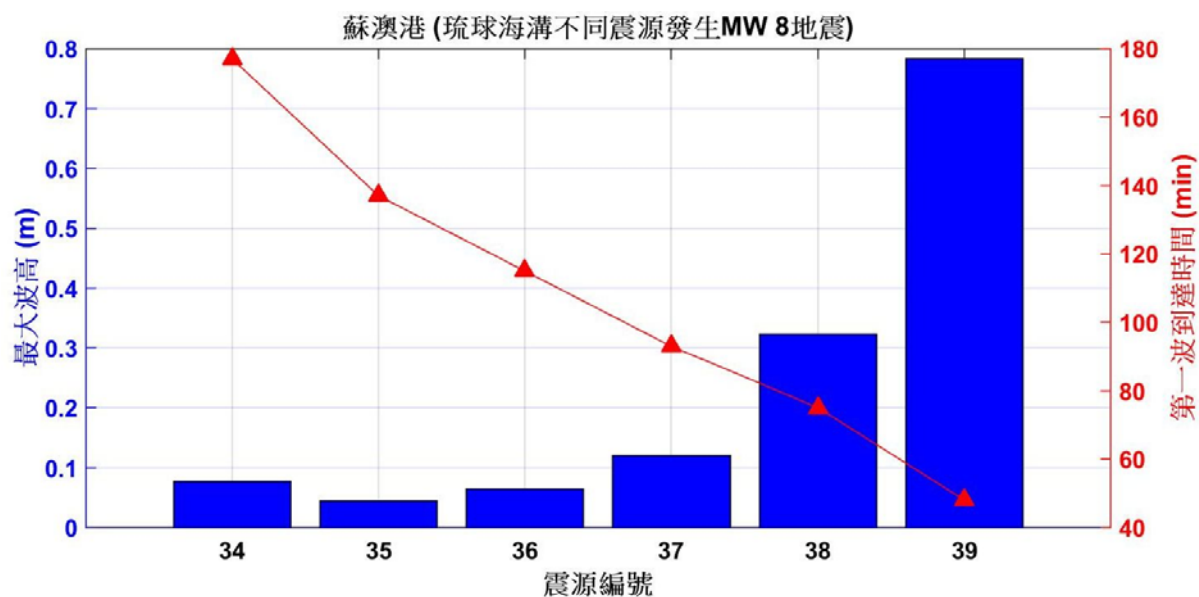
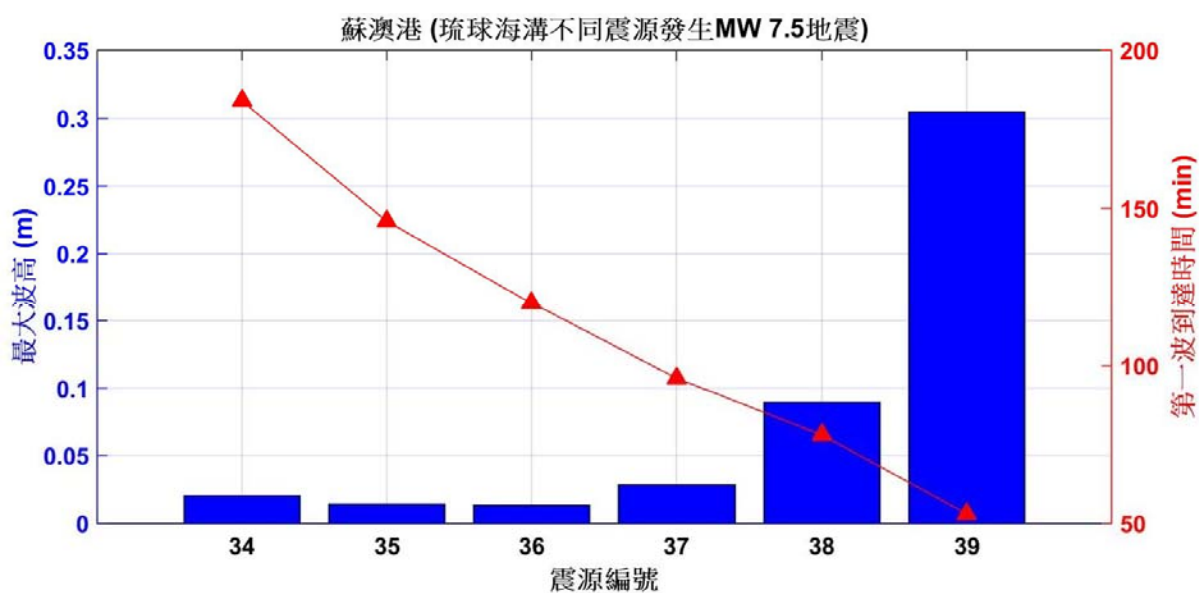
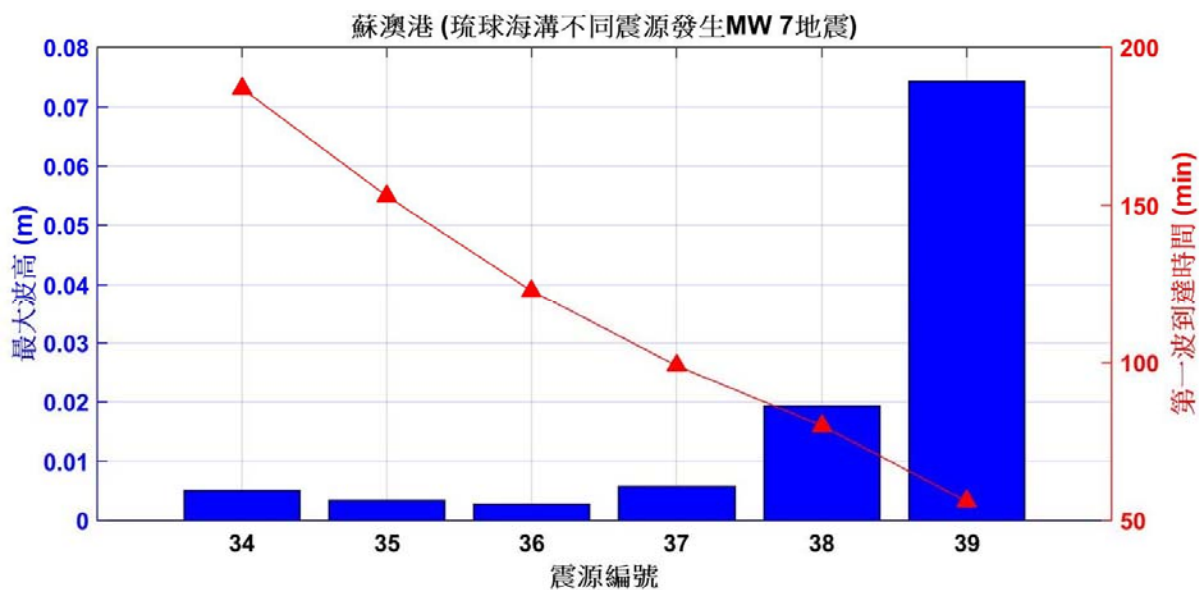
蘇澳港

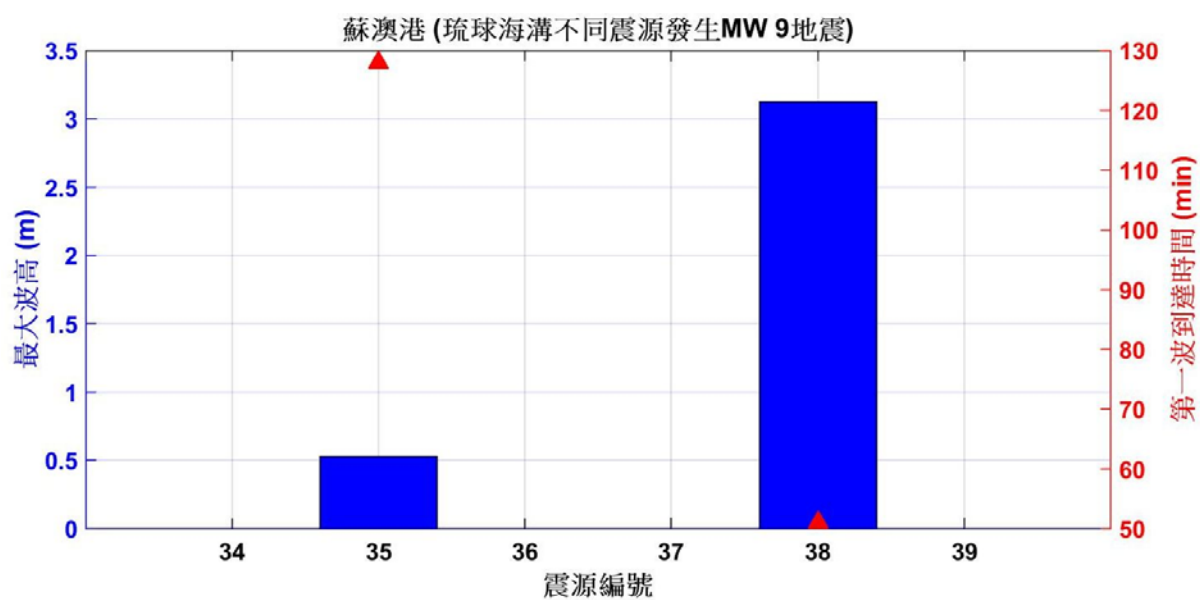
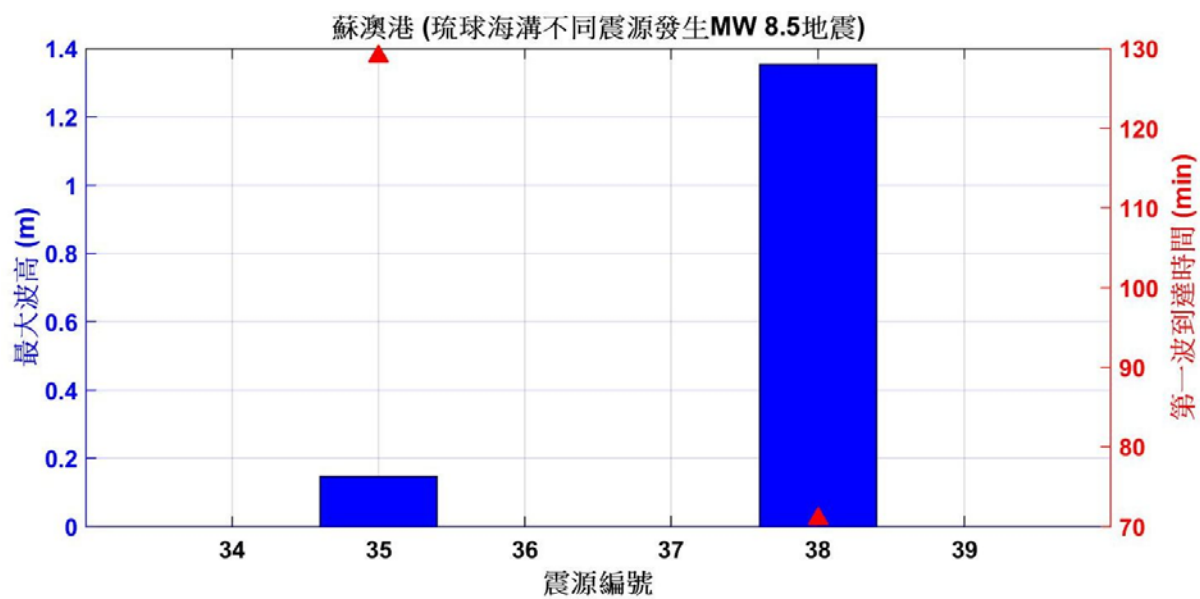
蘇澳港最大波高表

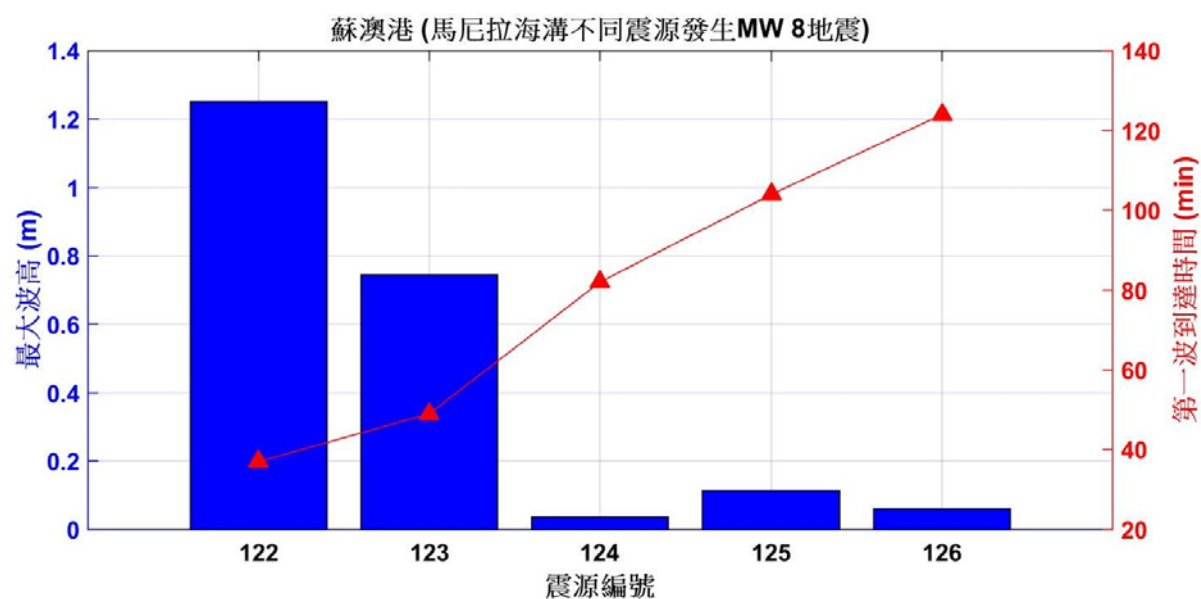
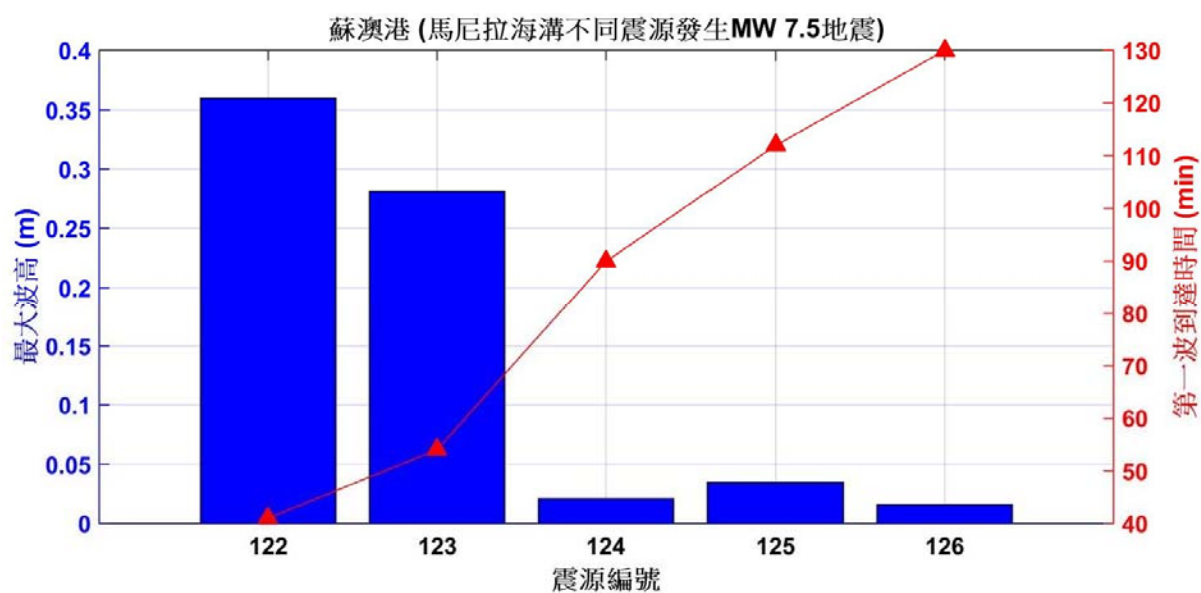
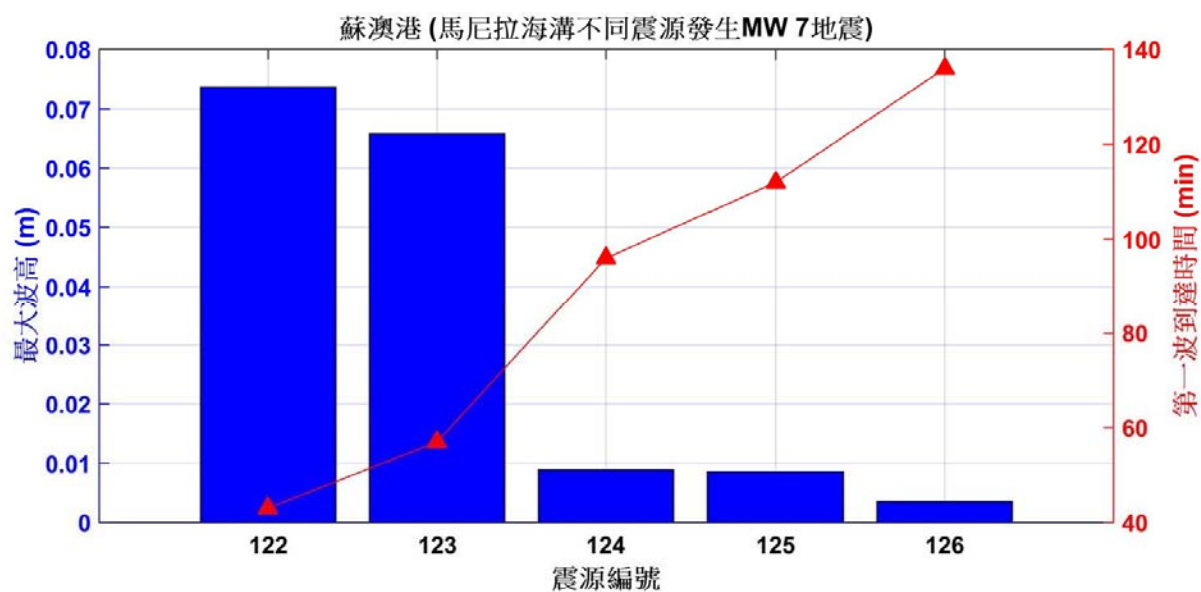
點位	地點	經度	緯度	最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.005	0.021	0.077		
35		133.40	33.13	0.003	0.014	0.044	0.147	0.528
36		131.46	31.03	0.003	0.014	0.064		
37		130.35	28.93	0.006	0.028	0.120		
38		128.52	27.13	0.019	0.090	0.323	1.354	3.127
39		126.61	25.13	0.074	0.305	0.783		
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.074	0.360	1.252		
123		120.86	19.27	0.066	0.281	0.744	1.937	5.666
124		120.43	16.89	0.009	0.021	0.037		
125		119.99	15.06	0.009	0.034	0.114	0.322	1.399
126		120.60	13.47	0.004	0.016	0.060		

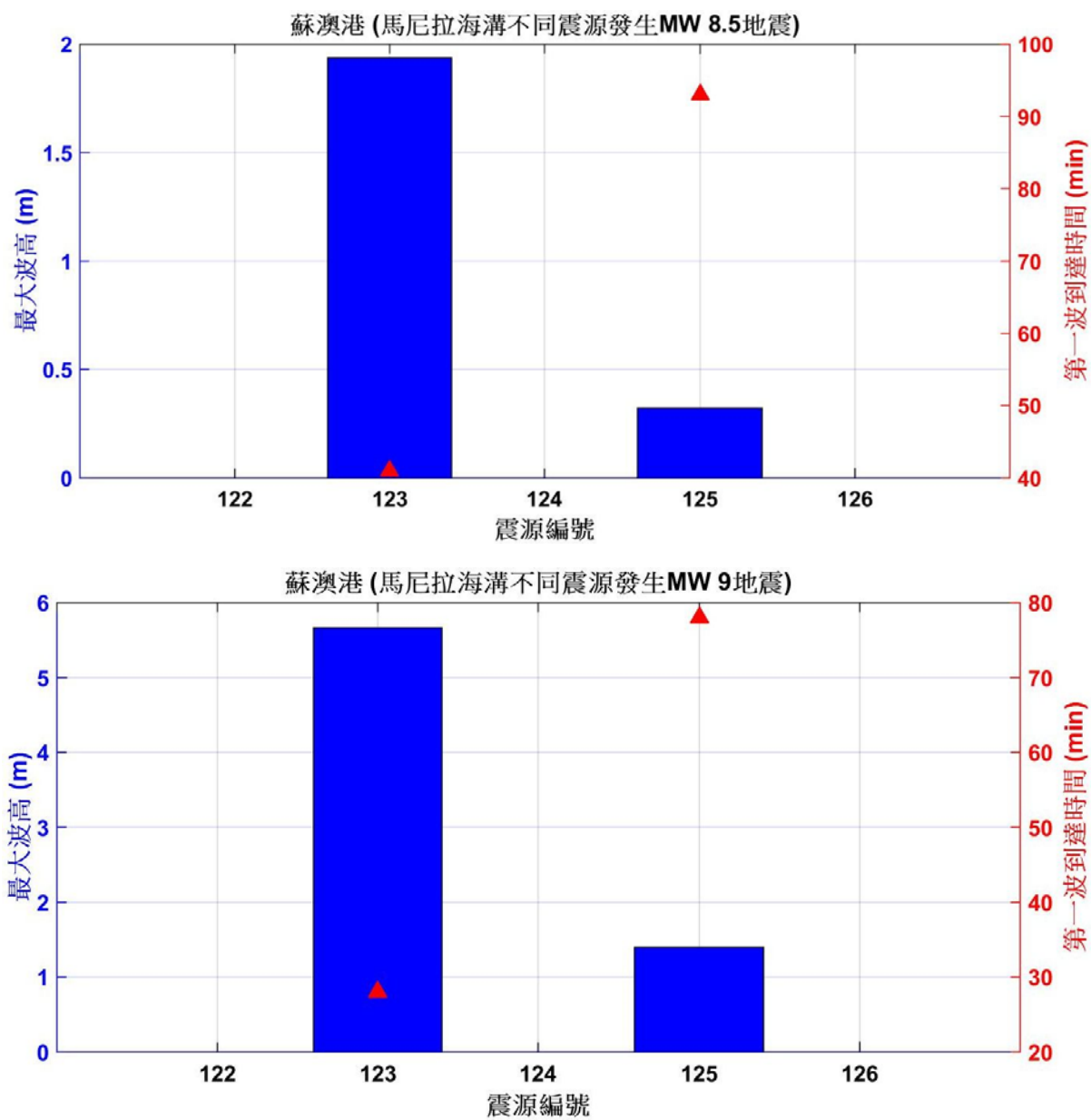
蘇澳港第一波到達時間表

點位	地點	經度	緯度	第一波到達時間(min)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	182	181	174		
35		133.40	33.13	148	143	135	129	128
36		131.46	31.03	120	117	113		
37		130.35	28.93	97	95	91		
38		128.52	27.13	79	76	74	70	51
39		126.61	25.13	55	52	47		
122	馬尼拉	120.75	20.96	42	40	36		
123		120.86	19.27	55	52	48	40	28
124		120.43	16.89	91	87	80		
125		119.99	15.06	110	107	101	91	78
126		120.60	13.47	132	127	122		









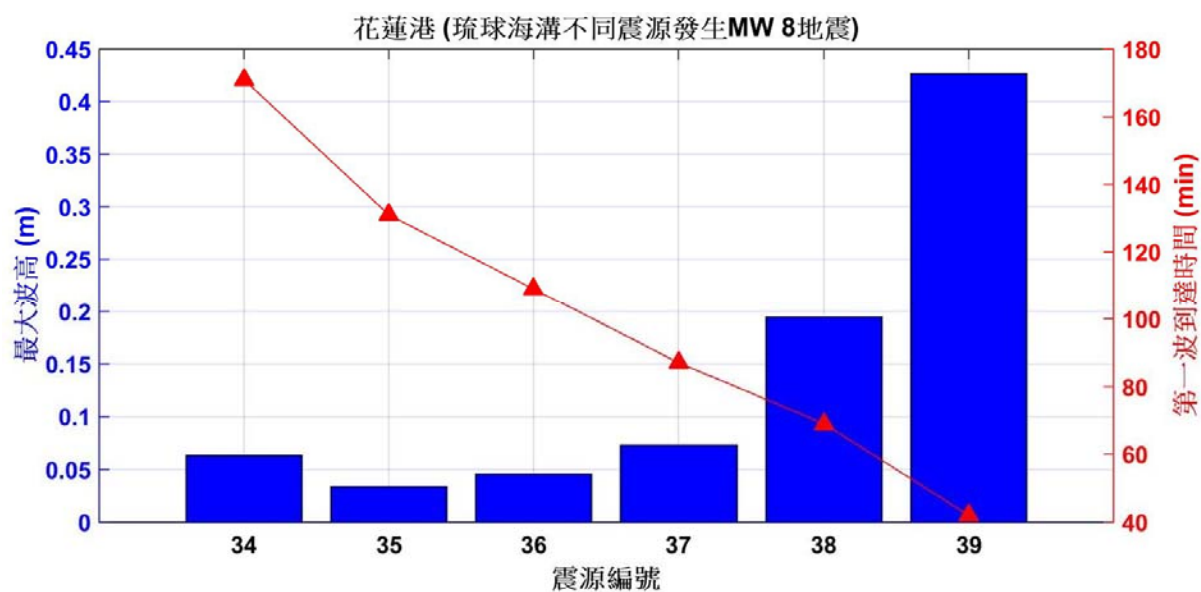
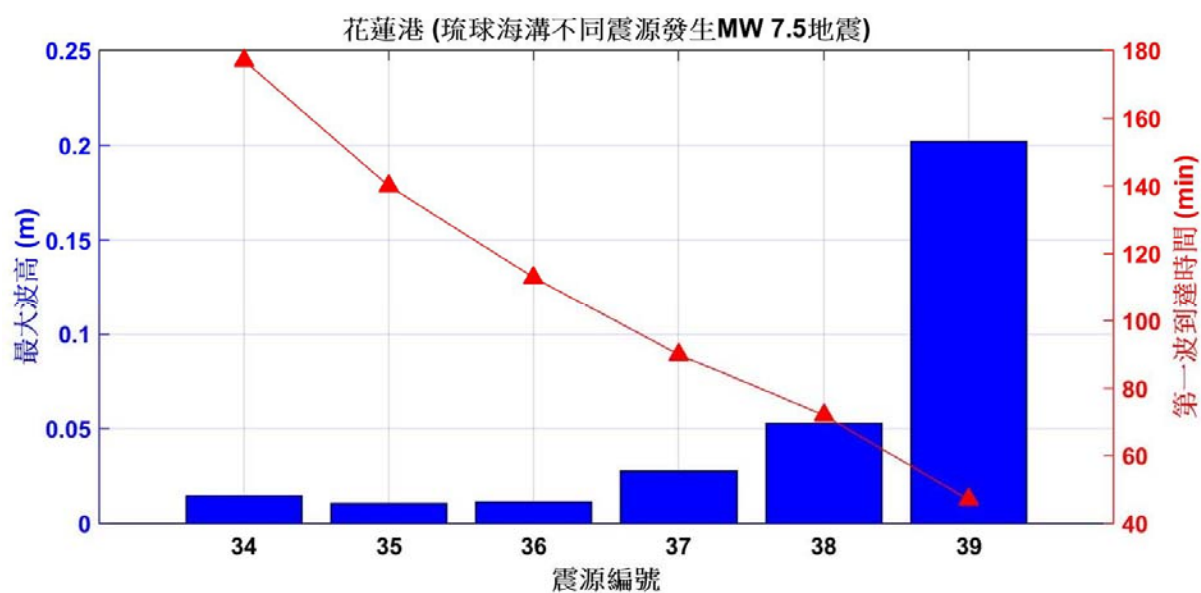
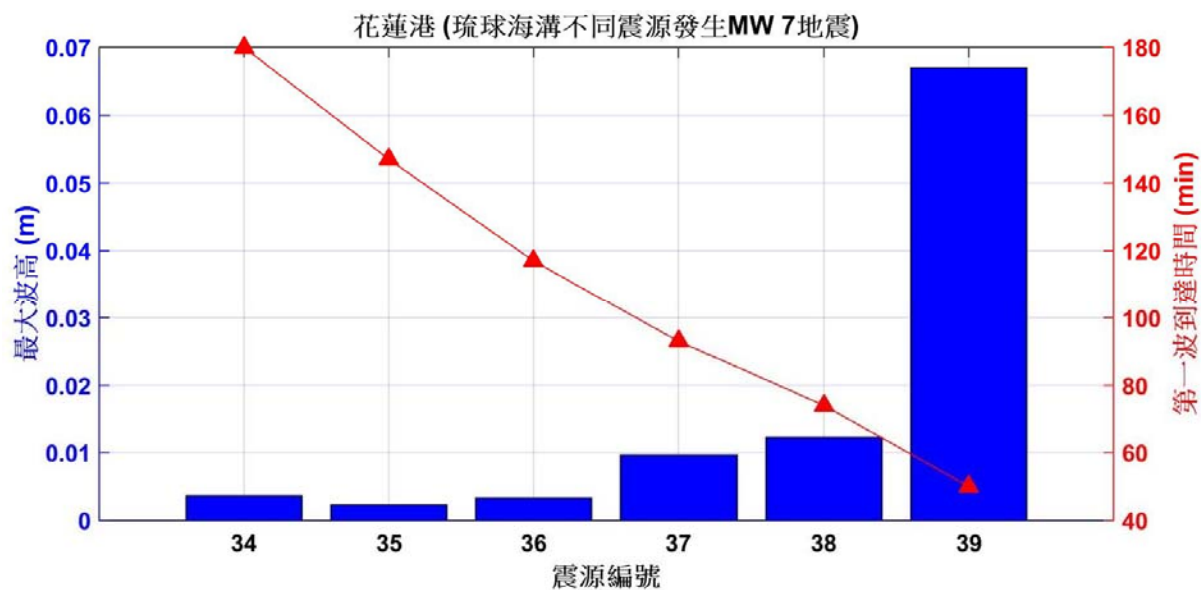
花蓮港

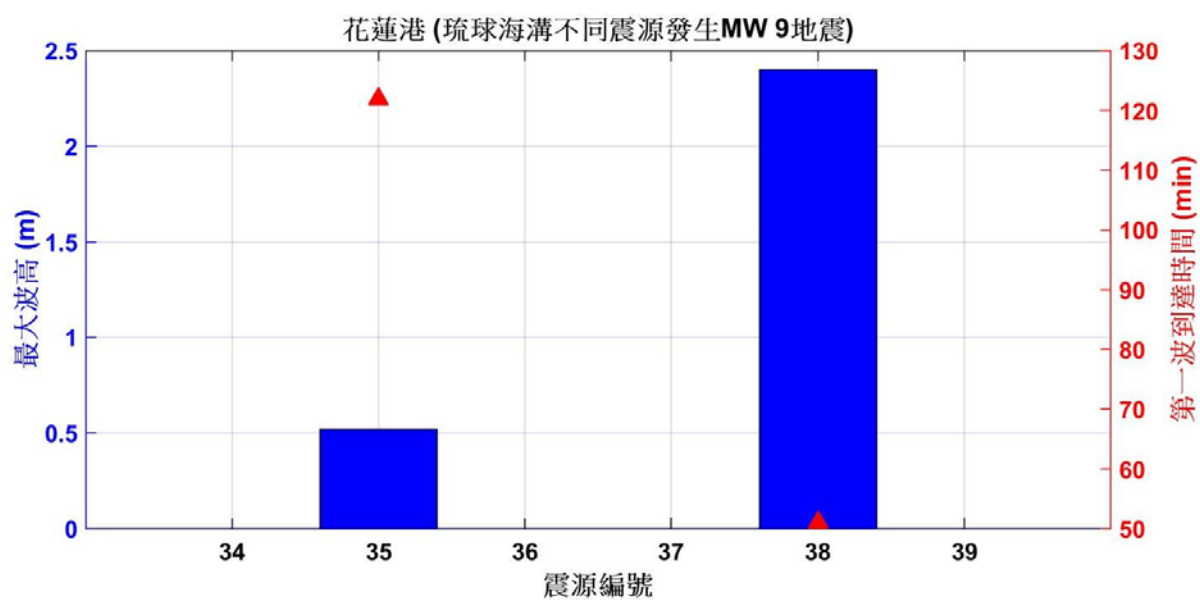
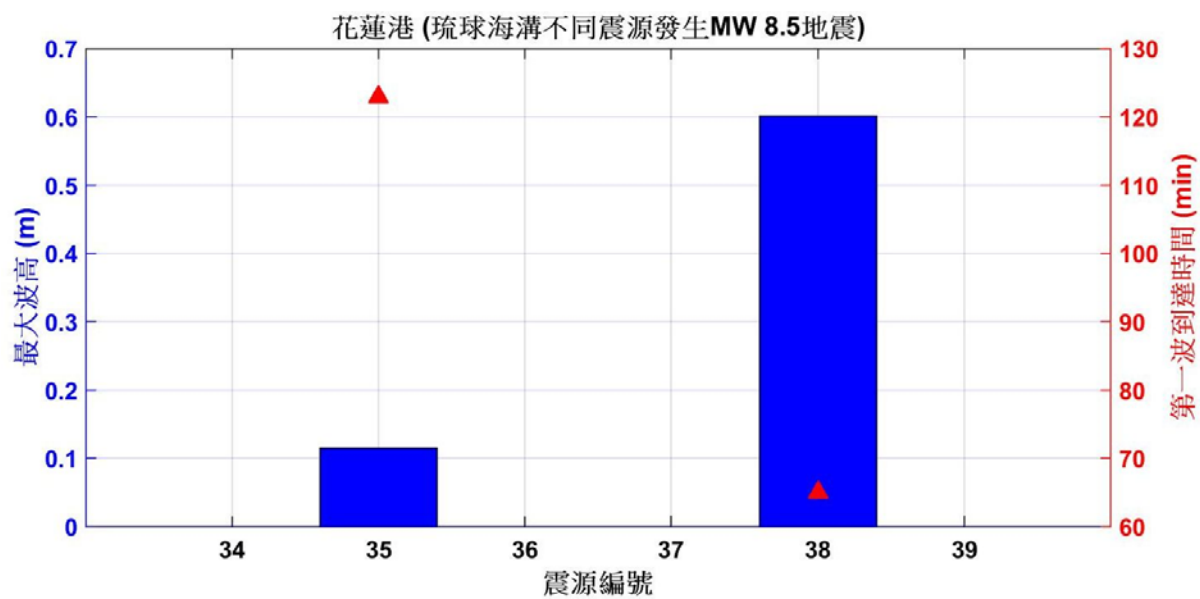
花蓮港最大波高表

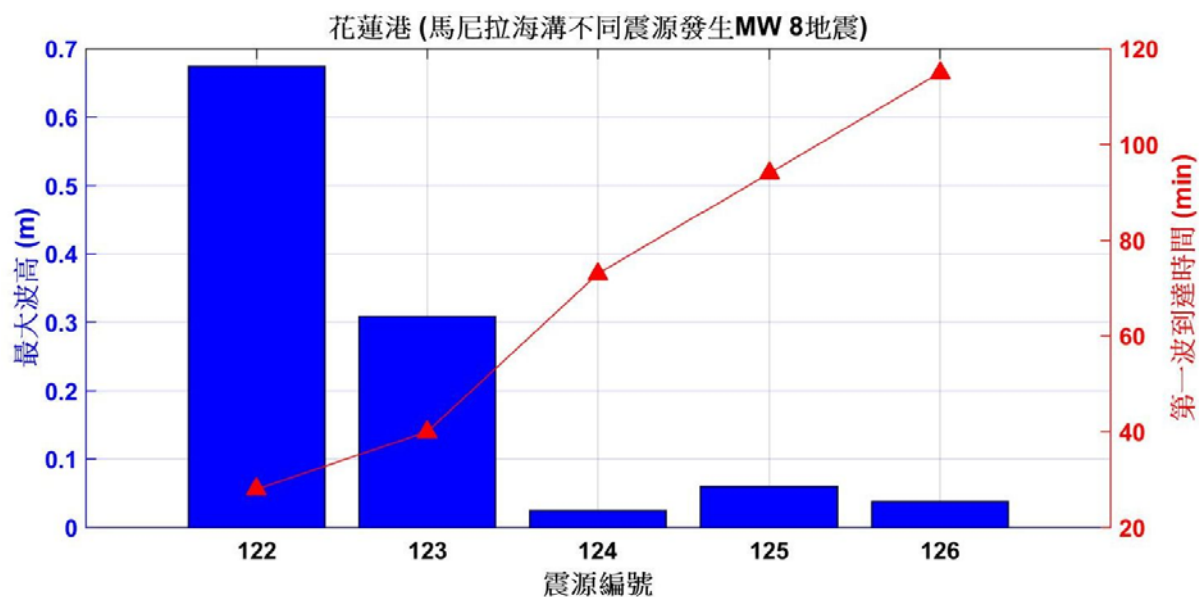
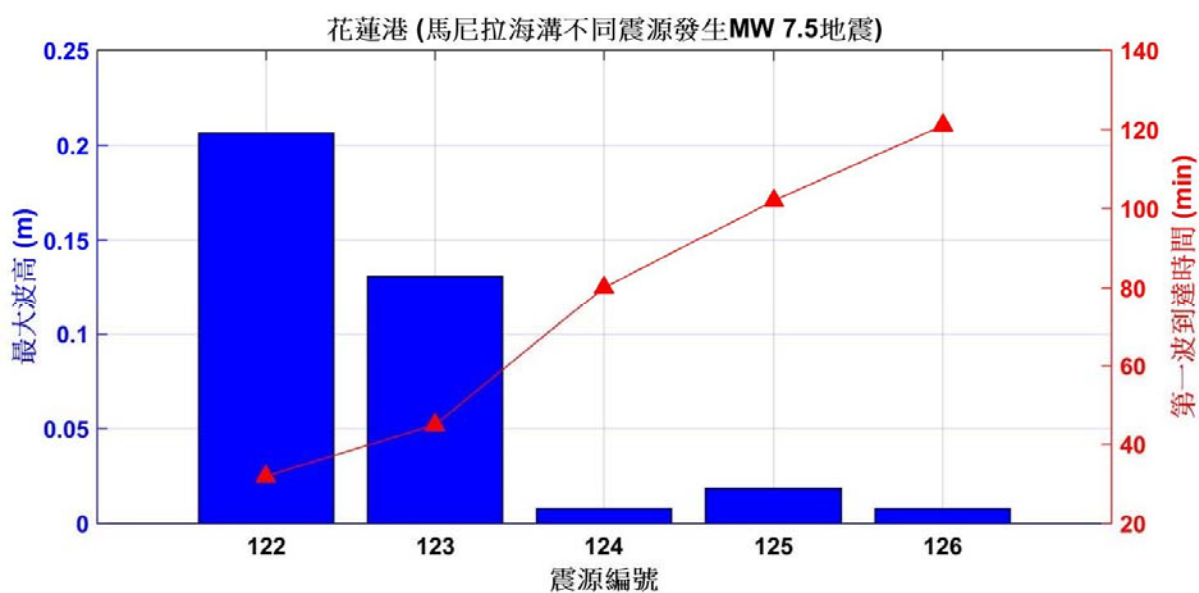
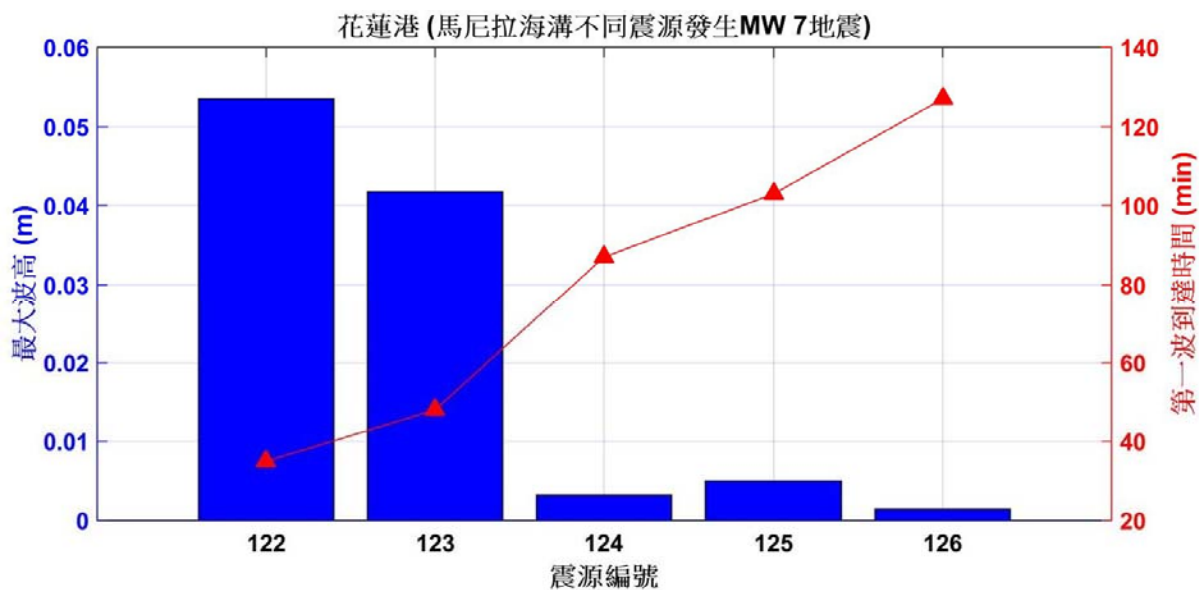
點位	地點	經度	緯度	最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.004	0.015	0.063		
35		133.40	33.13	0.002	0.011	0.034	0.115	0.520
36		131.46	31.03	0.003	0.011	0.046		
37		130.35	28.93	0.010	0.028	0.073		
38		128.52	27.13	0.012	0.053	0.194	0.602	2.401
39		126.61	25.13	0.067	0.202	0.427		
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.053	0.206	0.674		
123		120.86	19.27	0.042	0.131	0.309	0.946	3.582
124		120.43	16.89	0.003	0.008	0.025		
125		119.99	15.06	0.005	0.018	0.060	0.157	0.777
126		120.60	13.47	0.001	0.008	0.038		

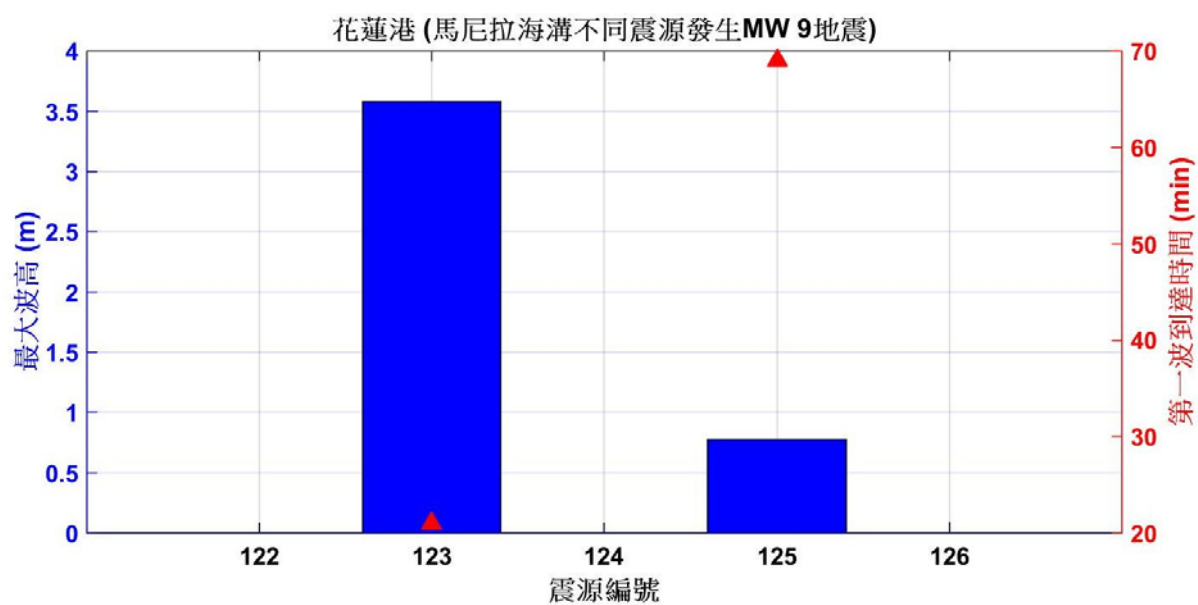
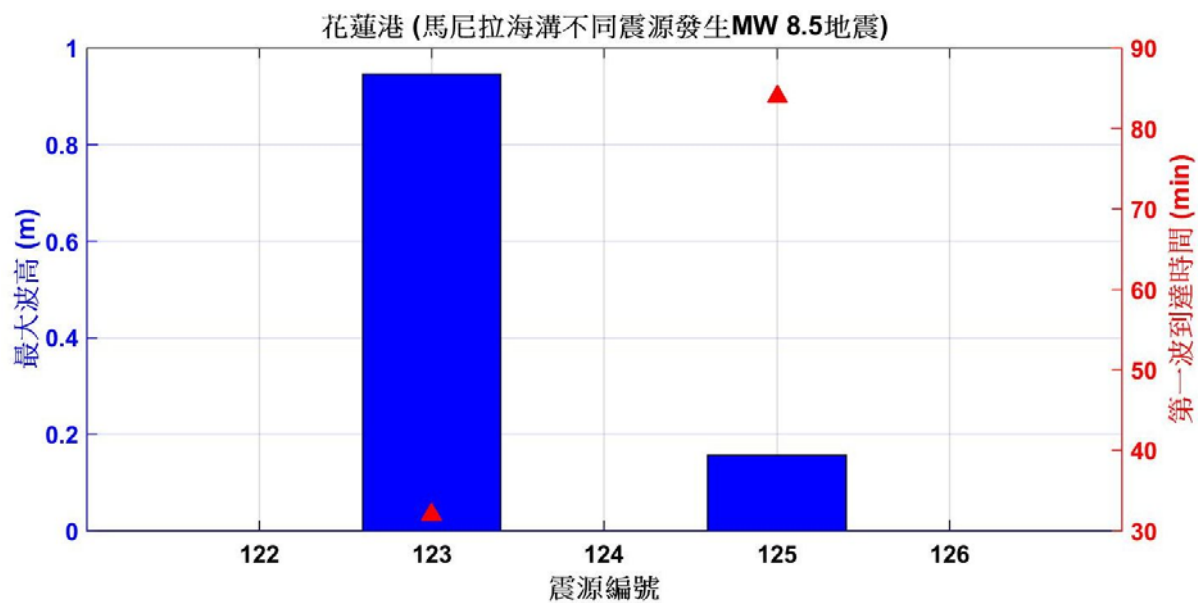
花蓮港第一波到達時間表

點位	地點	經度	緯度	第一波到達時間(min)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
34	琉球海溝	139.07	34.62	176	175	167		
35		133.40	33.13	142	137	129	123	122
36		131.46	31.03	114	111	107		
37		130.35	28.93	91	89	85		
38		128.52	27.13	73	71	68	64	51
39		126.61	25.13	49	46	41		
122	馬尼拉	120.75	20.96	33	31	27		
123		120.86	19.27	46	44	39	32	21
124		120.43	16.89	82	79	71		
125		119.99	15.06	101	98	92	83	69
126		120.60	13.47	123	117	113		









附錄二-MW7.0 以上的海源淺層地震 100 年的期望次數及最大波高

查詢表

環太平洋地震帶 126 區域點位的海源淺層地震 100 年期望次數

點位	地點	經度	緯度	MW				
				7	7.5	8	8.5	9
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	0.396284	0.115077	0.033413	0.009716	0.002826
2		-176.51	-17.24	0.042511	0.010996	0.002838	0.000732	0.000187
3		-176.64	-18.92	0.007886	0.001994	0.000505	0.00013	3.36E-05
4		-177.26	-20.88	0.022841	0.006253	0.001712	0.000472	0.000129
5		-177.64	-23.04	0.013349	0.003593	0.000969	0.00026	7.09E-05
6		-177.72	-24.80	0.014095	0.004284	0.001305	0.000397	0.000121
7		-177.00	-27.00	0.014422	0.003693	0.000944	0.000244	6.37E-05
8		-177.43	-29.14	0.329572	0.118735	0.042788	0.015423	0.005548
9		-178.14	-30.84	0.143402	0.040349	0.01135	0.003186	0.000905
10		-178.67	-32.93	0.077415	0.018806	0.004575	0.001108	0.000265
11		-179.15	-34.78	0.004445	0.001086	0.000266	6.65E-05	1.11E-05
12		-179.55	-36.87	0.002413	0.000704	0.000206	6.01E-05	1.72E-05
13	布干維爾海溝	138.36	0.70	0.01649	0.01078	0.00705	0.00461	0.00301
14		137.49	-1.18	0.10504	0.038015	0.013755	0.004983	0.001807
15		144.76	-3.20	0.146675	0.040634	0.011266	0.003114	0.000858
16		148.95	-5.16	0.013473	0.004054	0.001219	0.000368	0.00011
17		151.29	-6.67	0.1243	0.031685	0.008081	0.002054	0.00052
18		156.38	-9.12	0.539489	0.193931	0.069723	0.02505	0.009021
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	0.007625	0.001804	0.000424	9.57E-05	2.73E-05
20		146.35	14.93	0.018503	0.004259	0.000988	0.000221	5.11E-05
21		144.07	12.86	0.059907	0.015283	0.003902	0.000988	0.000256
22		142.27	11.35	0.046762	0.011759	0.002971	0.000749	0.0002
23		139.85	8.92	0.031837	0.012347	0.004796	0.001857	0.000714
24		139.53	7.20	0.028095	0.011081	0.004366	0.001732	0.000688
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	0.038868	0.010755	0.002981		
26		123.00	16.80	0.001556	0.000454	0.000132	0.00024	6.8E-05
27		122.68	14.81	0.004736	0.001332	0.000374		
28		125.00	12.96	0.099868	0.032902	0.010842		
29		127.00	10.91	0.00401	0.000926	0.000217		
30		127.00	9.31	0.004749	0.001267	0.000336		

31		127.00	6.90	0.018732	0.006755	0.002436	0.000881	0.000315
32		125.99	5.12	0.007763	0.002098	0.000569	0.000154	4.2E-05
33		126.83	2.92	0.018156	0.004222	0.000982	0.000227	5.04E-05
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.025214	0.006924	0.001888		
35		133.40	33.13	0.074821	0.026149	0.009139	0.005592	0.001761
36		131.46	31.03	0.00908	0.002674	0.000786		
37		130.35	28.93	0.014998	0.004042	0.001087		
38		128.52	27.13	0.013765	0.003272	0.000778	0.000889	0.000222
39		126.61	25.13	0.040538	0.010708	0.00283		
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	0.175467	0.041604	0.00987	0.002353	0.000556
41		139.77	33.20	0.224358	0.066629	0.01978	0.00587	0.001742
42		140.44	30.95	0.012178	0.003061	0.000768	0.000195	4.33E-05
43		140.92	28.82	0.016609	0.004477	0.001201	0.000327	8.65E-05
44		141.10	27.30	0.300649	0.078221	0.020337	0.005282	0.001365
45		142.11	25.00	0.004749	0.001455	0.000445	0.000136	4.52E-05
46		143.33	22.77	0.010054	0.003201	0.001018	0.000323	0.000105
47		144.00	21.42	0.001991	0.000421	9.09E-05	1.65E-05	
48		145.88	18.82	0.002237	0.000616	0.000171	4.82E-05	1.11E-05
49		146.28	17.09	0.007521	0.001782	0.000422	9.52E-05	2.72E-05
50	千島海溝&日本海溝	163.74	56.28	0.013824	0.004869	0.001713	0.000599	0.000208
51		162.75	54.93	0.015481	0.00477	0.001472	0.000456	0.00014
52		159.48	52.00	0.003249	0.000881	0.000238	6.5E-05	1.81E-05
53		157.25	51.16	0.003161	0.000883	0.000246	6.97E-05	1.86E-05
54		153.90	48.86	0.012027	0.002963	0.000733	0.000183	4.07E-05
55		152.67	46.86	1.291334	0.39965	0.123673	0.038261	0.011853
56		149.14	44.83	0.059424	0.018163	0.005555	0.001701	0.000516
57		146.08	43.16	0.021951	0.006334	0.001826	0.000524	0.000151
58		142.49	41.11	0.148522	0.053145	0.019018	0.006798	0.002436
59		142.88	39.06	0.180343	0.058918	0.019255	0.006297	0.002054
60		141.76	36.82	0.043295	0.011629	0.003123	0.000837	0.000223
61		140.15	34.74	0.218278	0.05221	0.01248	0.003001	0.000711
62	阿留申海溝	164.46	56.20	0.022833	0.008646	0.003271	0.001229	0.000458
63		165.39	55.03	0.058756	0.016575	0.00469	0.001311	0.000379
64		174.49	52.68	0.021901	0.005835	0.001556	0.000408	0.000117
65		177.90	51.00	0.25885	0.084091	0.027314	0.00888	0.002874
66		-154.41	55.00	0.104031	0.033075	0.010516	0.003336	0.001074
67		-161.39	54.68	0.541694	0.185526	0.063517	0.021757	0.007442

68		-167.66	52.91	0.57592	0.13856	0.033319	0.008018	0.001901
69		-176.10	51.37	0.922022	0.287146	0.089441	0.027865	0.008676
70		-177.68	49.88	0.01585	0.00635	0.00255	0.001	0.0004
71	美國 西岸 及 中美 海溝	-141.36	55.00	0.726915	0.356471	0.174829	0.085733	0.04209
72		-127.41	49.00	0.209056	0.107841	0.055621	0.028682	0.014821
73		-129.39	50.67	0.54869	0.16773	0.051279	0.015664	0.004755
74		-124.91	47.00	0.378	0.124945	0.041276	0.013655	0.004531
75		-126.00	46.94	0.000132	2.76E-05	5.52E-06		
76		-126.00	44.73	0.015517	0.003814	0.000948	0.000237	4.74E-05
77		-126.00	43.01	0.124886	0.034118	0.009342	0.002565	0.000687
78		-126.00	40.72	1.049732	0.436896	0.181848	0.075681	0.03149
79		-123.00	36.81	0.000157	4.67E-05	1.35E-05	3.69E-06	1.23E-06
80		-117.00	30.87	0.003254	0.000772	0.000188	4.17E-05	
81		-116.00	29.29	0.200396	0.066692	0.022167	0.007389	0.002484
82		-115.00	27.00	0.430096	0.150596	0.052705	0.018482	0.0065
83		-109.06	24.96	0.589736	0.185629	0.0584	0.018424	0.005823
84		-107.33	23.29	0.389546	0.135693	0.047296	0.016489	0.005711
85		-108.32	20.55	0.104543	0.033668	0.010836	0.003483	0.001106
86		-105.00	18.72	0.652992	0.257486	0.101524	0.040036	0.015776
87		-98.00	15.00	0.798148	0.288626	0.104385	0.037737	0.013638
88		-94.05	14.93	0.417265	0.119479	0.034213	0.009799	0.002823
89		-89.15	12.95	0.017712	0.004514	0.001149	0.000289	7.24E-05
90		-87.12	11.15	0.070861	0.020883	0.006154	0.001808	0.000531
91		-86.50	8.78	0.415731	0.149832	0.053986	0.01946	0.007004
92		-83.85	7.16	0.665352	0.230393	0.0798	0.027656	0.00957
93		-83.90	5.08	0.451786	0.142429	0.044929	0.014143	0.0045
94	秘魯 智 利 海溝	-79.00	7.01	0.030226	0.007663	0.001942	0.000492	0.00012
95		-78.54	4.99	0.134417	0.040972	0.012472	0.003806	0.001167
96		-80.03	3.02	0.082539	0.025344	0.00778	0.002381	0.000731
97		-81.36	1.02	0.084251	0.030426	0.010984	0.003982	0.001432
98		-82.00	-1.20	0.011438	0.003708	0.001201	0.000392	0.000122
99		-82.00	-3.08	0.000529	0.000169	5.44E-05	1.75E-05	5.83E-06
100		-82.00	-5.23	0.000219	7.16E-05	2.34E-05	7.81E-06	2.6E-06
101		-80.00	-6.95	0.001007	0.00036	0.000129	4.62E-05	1.7E-05
102		-79.00	-9.07	0.000543	0.000161	4.66E-05	1.48E-05	4.24E-06
103		-78.00	-10.95	0.000373	0.000114	3.48E-05	1.16E-05	3.86E-06
104		-77.00	-13.14	0.015381	0.0048	0.0015	0.000473	0.00015

105		-75.76	-15.09	0.004829	0.001249	0.000322	8.37E-05	1.93E-05
106		-73.03	-17.12	0.007531	0.002477	0.000817	0.000269	8.97E-05
107		-71.21	-18.95	0.004165	0.001154	0.000312	9.23E-05	2.31E-05
108		-70.76	-20.75	0.004102	0.001367	0.000456	0.000149	4.65E-05
109		-70.73	-23.08	0.03222	0.011652	0.004215	0.001526	0.000557
110		-70.90	-24.92	0.018879	0.006856	0.002487	0.000904	0.00033
111		-71.31	-27.20	0.259875	0.089509	0.03084	0.010636	0.00366
112		-71.80	-29.33	0.01061	0.002849	0.000762	0.00021	5.25E-05
113		-71.92	-31.21	0.12774	0.038838	0.011794	0.00359	0.00108
114		-71.98	-32.88	0.307659	0.09463	0.029105	0.008948	0.002763
115		-72.43	-34.48	0.008388	0.002099	0.000529	0.000135	3.59E-05
116		-73.60	-36.89	0.028428	0.007605	0.002039	0.00055	0.000146
117		-74.34	-38.62	0.034997	0.010949	0.003413	0.001065	0.000335
118		-83.01	-41.20	0.211432	0.061139	0.017671	0.00511	0.001478
119		-81.27	-42.97	0.266927	0.094178	0.033223	0.011745	0.004133
120		-77.75	-45.13	1.063846	0.521695	0.255859	0.125481	0.061551
121	夏威夷	-155.50	19.16	0.031399	0.010371	0.003438	0.001146	0.000372
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.027524	0.008483	0.002614		
123		120.86	19.27	0.000268	6.68E-05	1.66E-05	3.41E-05	9.05E-06
124		120.43	16.89	0.001561	0.000432	0.00012		
125		119.99	15.06	0.009328	0.003073	0.001012	0.00061	0.000178
126		120.60	13.47	0.003606	0.000877	0.000213		

附註：斜線代表點位附近的斷層長度不足以造成所對應的地震規模。

計算 8 個港外海最大波高所使用的環太平洋地震帶 126 區域點位地震參數

點位	地點	經度	緯度	深度(km)	strike	dip	slip
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	15	-84.0	43.9	90
2		-176.51	-17.24	15	-74.3	38.7	90
3		-176.64	-18.92	15	-51.0	37.1	90
4		-177.26	-20.88	15	-78.0	28.4	90
5		-177.64	-23.04	15	77.6	28.8	90
6		-177.72	-24.80	15	55.0	32.1	90
7		-177.00	-27.00	15	42.2	35.4	90
8		-177.43	-29.14	15	36.8	28.5	90
9		-178.14	-30.84	15	34.0	31.6	90
10		-178.67	-32.93	15	36.3	27.7	90
11		-179.15	-34.78	15	33.4	29.1	90
12		-179.55	-36.87	15	22.2	35.3	90
13	布千維爾海溝	138.36	0.70	15	16.0	67.8	90
14		137.49	-1.18	15	-34.0	43.2	90
15		144.76	-3.20	15	-24.8	54.1	90
16		148.95	-5.16	15	-13.3	38.2	90
17		151.29	-6.67	15	-27.0	36.7	90
18		156.38	-9.12	15	-21.4	44.6	90
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	15	-56.0	36.8	90
20		146.35	14.93	15	-30.0	34.1	90
21		144.07	12.86	15	-22.6	38.6	90
22		142.27	11.35	15	33.7	39.0	90
23		139.85	8.92	15	-10.7	45.4	90
24		139.53	7.20	15	-3.8	46.1	90
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	15	30.6	39.1	90
26		123.00	16.80	15	20.9	42.5	90
27		122.68	14.81	15	25.6	45.6	90
28		125.00	12.96	15	158.7	39.6	90
29		127.00	10.91	15	163.0	37.5	90
30		127.00	9.31	15	176.9	35.1	90
31		127.00	6.90	15	-68.1	39.8	90
32		125.99	5.12	15	78.1	36.6	90
33		126.83	2.92	15	36.6	36.5	90
34	琉球	139.07	34.62	15	-12.0	45.5	90

35		133.40	33.13	15	163.4	73.9	90
36		131.46	31.03	15	47.2	69.8	90
37		130.35	28.93	15	47.1	69.4	90
38		128.52	27.13	15	70.4	71.3	90
39		126.61	25.13	15	38.4	66.4	90
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	15	-12.0	39.0	90
41		139.77	33.20	15	68.5	40.1	90
42		140.44	30.95	15	15.3	31.2	90
43		140.92	28.82	15	-0.5	32.4	90
44		141.10	27.30	15	-8.8	35.4	90
45		142.11	25.00	15	-25.4	44.9	90
46		143.33	22.77	15	-50.3	30.4	90
47		144.00	21.42	15	-44.6	41.1	90
48		145.88	18.82	15	-47.4	37.1	90
49		146.28	17.09	15	-44.6	36.8	90
50	千島海溝と日本海溝	163.74	56.28	15	-61.0	58.9	90
51		162.75	54.93	15	-73.5	40.2	90
52		159.48	52.00	15	81.8	31.3	90
53		157.25	51.16	15	61.5	29.3	90
54		153.90	48.86	15	47.0	31.3	90
55		152.67	46.86	15	64.7	35.3	90
56		149.14	44.83	15	62.3	30.7	90
57		146.08	43.16	15	61.1	32.2	90
58		142.49	41.11	15	58.3	26.4	90
59		142.88	39.06	15	56.9	26.2	90
60		141.76	36.82	15	51.6	25.6	90
61		140.15	34.74	15	47.0	37.6	90
62	阿留申海溝	164.46	56.20	15	-61.0	70.9	90
63		165.39	55.03	15	71.0	59.6	90
64		174.49	52.68	15	88.4	36.2	90
65		177.90	51.00	15	85.5	29.9	90
66		-154.41	55.00	15	49.0	33.7	90
67		-161.39	54.68	15	40.5	28.1	90
68		-167.66	52.91	15	50.3	30.1	90
69		-176.10	51.37	15	61.1	27.5	90
70		-177.68	49.88	15	61.1	27.5	90

71	美國西岸 與中美海溝	-141.36	55.00	15	-88.0	70.3	90
72		-127.41	49.00	15	-55.1	40.0	90
73		-129.39	50.67	15	-67.7	75.3	90
74		-124.91	47.00	15	-50.9	75.8	90
75		-126.00	46.94	15	-37.0	50.0	90
76		-126.00	44.73	15	-45.0	54.7	90
77		-126.00	43.01	15	-61.8	63.9	90
78		-126.00	40.72	15	-80.9	66.9	90
79		-123.00	36.81	15	-80.8	59.5	90
80		-117.00	30.87	15	-87.1	56.6	90
81		-116.00	29.29	15	-78.9	71.5	90
82		-115.00	27.00	15	-68.9	63.6	90
83		-109.06	24.96	15	-85.4	65.9	90
84		-107.33	23.29	15	-76.9	76.6	90
85		-108.32	20.55	15	-76.7	56.0	90
86		-105.00	18.72	15	-73.6	54.5	90
87		-98.00	15.00	15	-82.6	37.9	90
88		-94.05	14.93	15	86.7	30.5	90
89		-89.15	12.95	15	-84.2	31.4	90
90		-87.12	11.15	15	-78.6	34.8	90
91		-86.50	8.78	15	-88.5	46.7	90
92		-83.85	7.16	15	81.4	69.4	90
93		-83.90	5.08	15	83.2	77.5	90
94	秘魯 智利海溝	-79.00	7.01	15	42.0	54.5	90
95		-78.54	4.99	15	-22.5	62.7	90
96		-80.03	3.02	15	53.4	49.5	90
97		-81.36	1.02	15	75.4	58.1	90
98		-82.00	-1.20	15	-67.6	28.5	90
99		-82.00	-3.08	15	-73.4	41.3	90
100		-82.00	-5.23	15	81.1	33.7	90
101		-80.00	-6.95	15	51.7	30.5	90
102		-79.00	-9.07	15	38.2	32.9	90
103		-78.00	-10.95	15	58.6	35.4	90
104		-77.00	-13.14	15	42.6	31.8	90
105		-75.76	-15.09	15	71.8	36.0	90
106		-73.03	-17.12	15	-89.5	32.2	90

107		-71.21	-18.95	15	28.8	32.1	90
108		-70.76	-20.75	15	13.6	31.7	90
109		-70.73	-23.08	15	9.4	22.6	90
110		-70.90	-24.92	15	15.0	24.0	90
111		-71.31	-27.20	15	11.2	25.8	90
112		-71.80	-29.33	15	-0.4	30.9	90
113		-71.92	-31.21	15	-0.4	28.4	90
114		-71.98	-32.88	15	-0.6	27.6	90
115		-72.43	-34.48	15	-8.4	27.3	90
116		-73.60	-36.89	15	-7.2	23.9	90
117		-74.34	-38.62	15	-10.8	36.1	90
118		-83.01	-41.20	15	-9.9	59.1	90
119		-81.27	-42.97	15	-2.9	49.4	90
120		-77.75	-45.13	15	-2.3	64.9	90
121	夏威夷	-155.50	19.16	15	42.5	21.9	90
122	馬尼拉	120.75	20.96	15	-10.1	39.9	90
123		120.86	19.27	15	23.0	35.0	90
124		120.43	16.89	15	12.0	41.5	90
125		119.99	15.06	15	-0.5	40.5	90
126		120.60	13.47	15	0.6	40.0	90

環太平洋地震帶 126 區域點位發生 7.0 以上地震在高雄港外海造成的最大波高

點 位	地點	經度	緯度	高雄港最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	0.002	0.007	0.023	0.068	0.219
2		-176.51	-17.24	0.002	0.007	0.028	0.080	0.303
3		-176.64	-18.92	0.001	0.006	0.021	0.055	0.120
4		-177.26	-20.88	0.002	0.010	0.035	0.078	0.245
5		-177.64	-23.04	0.001	0.006	0.021	0.060	0.177
6		-177.72	-24.80	0.002	0.008	0.029	0.107	0.251
7		-177.00	-27.00	0.002	0.007	0.026	0.109	0.470
8		-177.43	-29.14	0.001	0.006	0.022	0.103	0.452
9		-178.14	-30.84	0.002	0.007	0.027	0.079	0.328
10		-178.67	-32.93	0.002	0.007	0.020	0.059	0.254
11		-179.15	-34.78	0.001	0.003	0.008	0.037	0.148
12		-179.55	-36.87	0.000	0.002	0.006	0.022	0.088
13	布千維爾海溝	138.36	0.70	0.014	0.054	0.183	0.759	1.286
14		137.49	-1.18	0.011	0.021	0.074	0.222	0.642
15		144.76	-3.20	0.007	0.016	0.076	0.204	0.687
16		148.95	-5.16	0.005	0.016	0.051	0.143	0.330
17		151.29	-6.67	0.001	0.003	0.013	0.046	0.466
18		156.38	-9.12	0.000	0.001	0.005	0.020	0.085
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	0.023	0.081	0.189	0.372	1.258
20		146.35	14.93	0.016	0.069	0.135	0.307	1.046
21		144.07	12.86	0.021	0.069	0.287	0.898	1.045
22		142.27	11.35	0.016	0.080	0.327	1.245	3.589
23		139.85	8.92	0.017	0.081	0.220	0.575	1.751
24		139.53	7.20	0.024	0.083	0.232	0.568	1.140
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	0.070	0.310	1.218		
26		123.00	16.80	0.025	0.095	0.261	1.064	3.069
27		122.68	14.81	0.005	0.026	0.127		
28		125.00	12.96	0.014	0.059	0.198		
29		127.00	10.91	0.013	0.041	0.129	0.445	1.309
30		127.00	9.31	0.007	0.030	0.113		
31		127.00	6.90	0.005	0.018	0.066	0.281	1.158
32		125.99	5.12	0.005	0.014	0.062	0.195	0.858

33		126.83	2.92	0.006	0.017	0.062	0.172	0.570
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.005	0.016	0.049		
35		133.40	33.13	0.002	0.009	0.024	0.064	0.316
36		131.46	31.03	0.003	0.012	0.045		
37		130.35	28.93	0.006	0.021	0.077		
38		128.52	27.13	0.005	0.016	0.066	0.304	1.222
39		126.61	25.13	0.021	0.077	0.190		
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	0.007	0.029	0.119	0.251	0.531
41		139.77	33.20	0.011	0.036	0.105	0.342	0.791
42		140.44	30.95	0.011	0.031	0.067	0.267	0.555
43		140.92	28.82	0.019	0.071	0.125	0.312	1.209
44		141.10	27.30	0.014	0.050	0.181	0.695	2.264
45		142.11	25.00	0.017	0.084	0.251	0.649	3.110
46		143.33	22.77	0.022	0.092	0.248	0.489	0.756
47		144.00	21.42	0.014	0.040	0.112	0.412	0.881
48		145.88	18.82	0.024	0.078	0.194	0.540	1.351
49		146.28	17.09	0.022	0.076	0.151	0.459	0.803
50	千島海溝と日本海溝	163.74	56.28	0.001	0.004	0.014	0.040	0.113
51		162.75	54.93	0.002	0.005	0.014	0.041	0.421
52		159.48	52.00	0.003	0.014	0.034	0.105	0.242
53		157.25	51.16	0.000	0.002	0.010	0.034	0.135
54		153.90	48.86	0.001	0.002	0.008	0.032	0.109
55		152.67	46.86	0.003	0.011	0.038	0.095	0.217
56		149.14	44.83	0.002	0.010	0.034	0.093	0.212
57		146.08	43.16	0.002	0.008	0.026	0.092	0.310
58		142.49	41.11	0.001	0.004	0.017	0.058	0.267
59		142.88	39.06	0.002	0.009	0.034	0.135	0.351
60		141.76	36.82	0.004	0.019	0.057	0.138	0.427
61		140.15	34.74	0.007	0.031	0.116	0.315	0.755
62	阿留申海溝	164.46	56.20	0.001	0.005	0.012	0.041	0.158
63		165.39	55.03	0.004	0.017	0.034	0.070	0.225
64		174.49	52.68	0.001	0.003	0.026	0.102	0.276
65		177.90	51.00	0.005	0.019	0.036	0.124	0.189
66		-154.41	55.00	0.001	0.002	0.004	0.016	0.058
67		-161.39	54.68	0.000	0.001	0.002	0.016	0.058
68		-167.66	52.91	0.001	0.002	0.011	0.026	0.083

69		-176.10	51.37	0.002	0.008	0.021	0.048	0.123
70		-177.68	49.88	0.004	0.017	0.033	0.073	0.167
71	美國 西岸 中美海溝	-141.36	55.00	0.001	0.003	0.011	0.024	0.056
72		-127.41	49.00	0.003	0.006	0.017	0.039	0.078
73		-129.39	50.67	0.003	0.006	0.014	0.030	0.176
74		-124.91	47.00	0.001	0.003	0.008	0.021	0.042
75		-126.00	46.94	0.002	0.006	0.012	0.039	0.106
76		-126.00	44.73	0.003	0.008	0.016	0.043	0.080
77		-126.00	43.01	0.002	0.006	0.017	0.061	0.105
78		-126.00	40.72	0.003	0.009	0.026	0.076	0.123
79		-123.00	36.81	0.001	0.005	0.016	0.032	0.082
80		-117.00	30.87	0.001	0.003	0.007	0.029	0.111
81		-116.00	29.29	0.002	0.006	0.020	0.046	0.085
82		-115.00	27.00	0.001	0.002	0.010	0.029	0.115
83		-109.06	24.96	0.000	0.001	0.004	0.007	0.021
84		-107.33	23.29	0.001	0.002	0.008	0.028	0.068
85		-108.32	20.55	0.001	0.004	0.011	0.025	0.097
86		-105.00	18.72	0.001	0.004	0.013	0.041	0.103
87		-98.00	15.00	0.001	0.004	0.013	0.042	0.086
88		-94.05	14.93	0.000	0.002	0.007	0.022	0.070
89		-89.15	12.95	0.000	0.001	0.003	0.023	0.052
90		-87.12	11.15	0.000	0.002	0.006	0.018	0.053
91		-86.50	8.78	0.001	0.004	0.015	0.030	0.084
92		-83.85	7.16	0.001	0.005	0.009	0.026	0.066
93		-83.90	5.08	0.001	0.002	0.009	0.032	0.103
94	秘魯 智利海溝	-79.00	7.01	0.000	0.002	0.008	0.031	0.136
95		-78.54	4.99	0.002	0.007	0.020	0.080	0.131
96		-80.03	3.02	0.002	0.005	0.012	0.056	0.120
97		-81.36	1.02	0.001	0.004	0.019	0.049	0.122
98		-82.00	-1.20	0.001	0.003	0.015	0.041	0.077
99		-82.00	-3.08	0.002	0.007	0.013	0.043	0.108
100		-82.00	-5.23	0.001	0.004	0.009	0.028	0.081
101		-80.00	-6.95	0.000	0.002	0.006	0.023	0.107
102		-79.00	-9.07	0.000	0.002	0.007	0.028	0.148
103		-78.00	-10.95	0.001	0.002	0.008	0.025	0.129
104		-77.00	-13.14	0.001	0.003	0.010	0.036	0.145

105		-75.76	-15.09	0.001	0.003	0.011	0.035	0.097
106		-73.03	-17.12	0.001	0.002	0.012	0.054	0.154
107		-71.21	-18.95	0.001	0.007	0.032	0.148	0.363
108		-70.76	-20.75	0.002	0.008	0.032	0.116	0.361
109		-70.73	-23.08	0.001	0.005	0.020	0.084	0.308
110		-70.90	-24.92	0.002	0.007	0.035	0.114	0.341
111		-71.31	-27.20	0.001	0.005	0.026	0.114	0.412
112		-71.80	-29.33	0.001	0.008	0.034	0.153	0.405
113		-71.92	-31.21	0.002	0.009	0.033	0.115	0.382
114		-71.98	-32.88	0.002	0.007	0.030	0.113	0.288
115		-72.43	-34.48	0.001	0.006	0.023	0.077	0.331
116		-73.60	-36.89	0.002	0.007	0.024	0.076	0.201
117		-74.34	-38.62	0.001	0.005	0.022	0.096	0.333
118		-83.01	-41.20	0.001	0.004	0.023	0.102	0.447
119		-81.27	-42.97	0.001	0.005	0.023	0.100	0.459
120		-77.75	-45.13	0.001	0.004	0.020	0.081	0.305
121	夏威夷	-155.50	19.16	0.002	0.006	0.020	0.074	0.361
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.211	0.603	1.538		
123		120.86	19.27	0.098	0.388	1.249	3.520	11.977
124		120.43	16.89	0.017	0.044	0.083		
125		119.99	15.06	0.023	0.079	0.251	0.757	2.725
126		120.60	13.47	0.007	0.033	0.167		

附註：斜線代表點位附近的斷層長度不足以造成所對應的地震規模。

環太平洋地震帶 126 區域點位發生 7.0 以上地震在安平港外海造成的最大波高

點 位	地點	經度	緯度	安平港最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	0.003	0.013	0.034	0.110	0.314
2		-176.51	-17.24	0.001	0.007	0.031	0.108	0.197
3		-176.64	-18.92	0.001	0.007	0.022	0.039	0.148
4		-177.26	-20.88	0.001	0.006	0.026	0.073	0.160
5		-177.64	-23.04	0.001	0.006	0.020	0.052	0.183
6		-177.72	-24.80	0.001	0.007	0.023	0.065	0.264
7		-177.00	-27.00	0.002	0.009	0.041	0.117	0.243
8		-177.43	-29.14	0.001	0.006	0.029	0.125	0.387
9		-178.14	-30.84	0.002	0.010	0.039	0.116	0.304
10		-178.67	-32.93	0.001	0.006	0.024	0.080	0.233
11		-179.15	-34.78	0.001	0.003	0.011	0.043	0.141
12		-179.55	-36.87	0.001	0.002	0.007	0.024	0.094
13	布千維爾海溝	138.36	0.70	0.009	0.041	0.153	0.636	1.763
14		137.49	-1.18	0.012	0.038	0.085	0.266	0.765
15		144.76	-3.20	0.007	0.031	0.083	0.242	0.829
16		148.95	-5.16	0.003	0.016	0.058	0.135	0.521
17		151.29	-6.67	0.001	0.003	0.018	0.067	0.514
18		156.38	-9.12	0.000	0.002	0.008	0.040	0.114
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	0.021	0.076	0.222	0.688	1.259
20		146.35	14.93	0.019	0.079	0.131	0.690	1.581
21		144.07	12.86	0.014	0.064	0.228	0.710	1.537
22		142.27	11.35	0.010	0.054	0.305	1.526	4.313
23		139.85	8.92	0.012	0.059	0.199	0.548	2.121
24		139.53	7.20	0.020	0.097	0.271	0.695	1.401
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	0.125	0.441	1.439		
26		123.00	16.80	0.019	0.087	0.357	0.960	4.436
27		122.68	14.81	0.006	0.028	0.103		
28		125.00	12.96	0.018	0.076	0.250		
29		127.00	10.91	0.011	0.047	0.148	0.599	1.958
30		127.00	9.31	0.005	0.027	0.126		
31		127.00	6.90	0.005	0.024	0.105	0.413	1.555
32		125.99	5.12	0.004	0.016	0.076	0.264	1.237

33		126.83	2.92	0.005	0.017	0.059	0.214	0.865
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.005	0.019	0.060		
35		133.40	33.13	0.004	0.019	0.061	0.112	0.270
36		131.46	31.03	0.004	0.024	0.129		
37		130.35	28.93	0.004	0.022	0.136		
38		128.52	27.13	0.009	0.040	0.167	0.632	2.813
39		126.61	25.13	0.036	0.130	0.255		
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	0.008	0.025	0.096	0.338	1.038
41		139.77	33.20	0.010	0.036	0.163	0.527	1.278
42		140.44	30.95	0.011	0.038	0.104	0.329	0.802
43		140.92	28.82	0.015	0.072	0.246	0.736	2.490
44		141.10	27.30	0.013	0.068	0.343	1.491	4.298
45		142.11	25.00	0.017	0.078	0.268	0.894	3.224
46		143.33	22.77	0.013	0.061	0.208	0.471	1.225
47		144.00	21.42	0.011	0.051	0.156	0.546	1.118
48		145.88	18.82	0.021	0.086	0.204	0.454	1.432
49		146.28	17.09	0.022	0.077	0.207	0.632	0.986
50	千島海溝 日本海溝	163.74	56.28	0.001	0.003	0.011	0.030	0.148
51		162.75	54.93	0.001	0.006	0.015	0.090	0.463
52		159.48	52.00	0.002	0.008	0.030	0.107	0.221
53		157.25	51.16	0.001	0.003	0.011	0.051	0.197
54		153.90	48.86	0.001	0.004	0.014	0.052	0.147
55		152.67	46.86	0.002	0.009	0.040	0.116	0.449
56		149.14	44.83	0.002	0.009	0.039	0.116	0.320
57		146.08	43.16	0.002	0.010	0.040	0.147	0.484
58		142.49	41.11	0.001	0.005	0.014	0.054	0.398
59		142.88	39.06	0.002	0.010	0.044	0.176	0.613
60		141.76	36.82	0.004	0.019	0.085	0.268	0.971
61		140.15	34.74	0.009	0.046	0.156	0.363	0.970
62	阿留申海溝	164.46	56.20	0.001	0.004	0.013	0.050	0.201
63		165.39	55.03	0.002	0.010	0.026	0.096	0.237
64		174.49	52.68	0.002	0.007	0.030	0.146	0.379
65		177.90	51.00	0.005	0.019	0.043	0.091	0.252
66		-154.41	55.00	0.000	0.002	0.006	0.026	0.062
67		-161.39	54.68	0.000	0.001	0.002	0.014	0.077
68		-167.66	52.91	0.002	0.006	0.013	0.035	0.098

69		-176.10	51.37	0.002	0.006	0.015	0.041	0.180
70		-177.68	49.88	0.003	0.015	0.047	0.065	0.165
71	美國 西岸 中美海溝	-141.36	55.00	0.001	0.005	0.010	0.033	0.075
72		-127.41	49.00	0.002	0.006	0.017	0.043	0.101
73		-129.39	50.67	0.002	0.006	0.013	0.032	0.197
74		-124.91	47.00	0.001	0.004	0.014	0.027	0.072
75		-126.00	46.94	0.003	0.010	0.019	0.049	0.141
76		-126.00	44.73	0.003	0.011	0.032	0.057	0.097
77		-126.00	43.01	0.002	0.008	0.021	0.077	0.149
78		-126.00	40.72	0.002	0.009	0.020	0.074	0.185
79		-123.00	36.81	0.001	0.005	0.014	0.049	0.114
80		-117.00	30.87	0.001	0.004	0.011	0.027	0.079
81		-116.00	29.29	0.001	0.004	0.016	0.055	0.076
82		-115.00	27.00	0.001	0.004	0.019	0.038	0.141
83		-109.06	24.96	0.000	0.001	0.004	0.012	0.043
84		-107.33	23.29	0.000	0.001	0.006	0.024	0.087
85		-108.32	20.55	0.001	0.006	0.015	0.052	0.106
86		-105.00	18.72	0.002	0.007	0.028	0.097	0.255
87		-98.00	15.00	0.002	0.007	0.029	0.129	0.158
88		-94.05	14.93	0.001	0.004	0.015	0.055	0.197
89		-89.15	12.95	0.001	0.004	0.007	0.034	0.125
90		-87.12	11.15	0.001	0.003	0.014	0.037	0.117
91		-86.50	8.78	0.002	0.006	0.024	0.065	0.101
92		-83.85	7.16	0.001	0.004	0.012	0.042	0.087
93		-83.90	5.08	0.001	0.003	0.010	0.040	0.095
94	秘魯 智利海溝	-79.00	7.01	0.001	0.004	0.012	0.054	0.230
95		-78.54	4.99	0.001	0.005	0.018	0.101	0.273
96		-80.03	3.02	0.002	0.005	0.023	0.097	0.220
97		-81.36	1.02	0.002	0.007	0.024	0.077	0.234
98		-82.00	-1.20	0.002	0.008	0.030	0.041	0.088
99		-82.00	-3.08	0.002	0.007	0.019	0.054	0.176
100		-82.00	-5.23	0.001	0.005	0.020	0.071	0.128
101		-80.00	-6.95	0.001	0.002	0.008	0.032	0.141
102		-79.00	-9.07	0.001	0.003	0.007	0.039	0.211
103		-78.00	-10.95	0.001	0.004	0.011	0.030	0.121
104		-77.00	-13.14	0.001	0.003	0.012	0.045	0.175

105		-75.76	-15.09	0.001	0.007	0.024	0.087	0.164
106		-73.03	-17.12	0.001	0.007	0.033	0.133	0.329
107		-71.21	-18.95	0.002	0.007	0.038	0.187	0.487
108		-70.76	-20.75	0.002	0.006	0.029	0.137	0.519
109		-70.73	-23.08	0.003	0.015	0.064	0.198	0.575
110		-70.90	-24.92	0.002	0.010	0.046	0.153	0.480
111		-71.31	-27.20	0.002	0.009	0.046	0.177	0.557
112		-71.80	-29.33	0.002	0.012	0.061	0.254	0.842
113		-71.92	-31.21	0.003	0.015	0.062	0.239	0.814
114		-71.98	-32.88	0.003	0.016	0.068	0.232	0.573
115		-72.43	-34.48	0.002	0.011	0.041	0.132	0.661
116		-73.60	-36.89	0.003	0.013	0.037	0.082	0.335
117		-74.34	-38.62	0.003	0.013	0.042	0.163	0.457
118		-83.01	-41.20	0.001	0.004	0.019	0.104	0.525
119		-81.27	-42.97	0.001	0.006	0.025	0.076	0.337
120		-77.75	-45.13	0.001	0.006	0.030	0.084	0.203
121	夏威夷	-155.50	19.16	0.001	0.005	0.028	0.102	0.330
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.133	0.674	2.321		
123		120.86	19.27	0.093	0.356	1.246	4.598	15.379
124		120.43	16.89	0.021	0.059	0.092		
125		119.99	15.06	0.030	0.120	0.412	1.347	4.874
126		120.60	13.47	0.011	0.052	0.228		

附註：斜線代表點位附近的斷層長度不足以造成所對應的地震規模。

環太平洋地震帶 126 區域點位發生 7.0 以上地震在布袋港外海造成的最大波高

點位	地點	經度	緯度	布袋港最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	0.001	0.003	0.012	0.043	0.189
2		-176.51	-17.24	0.001	0.005	0.020	0.053	0.209
3		-176.64	-18.92	0.001	0.004	0.013	0.043	0.107
4		-177.26	-20.88	0.001	0.005	0.023	0.067	0.203
5		-177.64	-23.04	0.001	0.003	0.013	0.052	0.167
6		-177.72	-24.80	0.001	0.004	0.020	0.075	0.213
7		-177.00	-27.00	0.001	0.004	0.017	0.073	0.292
8		-177.43	-29.14	0.001	0.004	0.018	0.074	0.309
9		-178.14	-30.84	0.001	0.003	0.016	0.067	0.244
10		-178.67	-32.93	0.000	0.002	0.008	0.040	0.187
11		-179.15	-34.78	0.000	0.001	0.006	0.026	0.120
12		-179.55	-36.87	0.000	0.001	0.005	0.021	0.082
13	布千維爾海溝	138.36	0.70	0.004	0.017	0.068	0.316	0.628
14		137.49	-1.18	0.003	0.009	0.027	0.096	0.397
15		144.76	-3.20	0.002	0.008	0.028	0.117	0.500
16		148.95	-5.16	0.001	0.007	0.027	0.092	0.315
17		151.29	-6.67	0.000	0.002	0.011	0.035	0.314
18		156.38	-9.12	0.000	0.001	0.004	0.018	0.067
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	0.007	0.028	0.090	0.302	0.423
20		146.35	14.93	0.005	0.022	0.044	0.118	0.589
21		144.07	12.86	0.007	0.030	0.107	0.344	0.482
22		142.27	11.35	0.004	0.022	0.116	0.537	2.273
23		139.85	8.92	0.004	0.022	0.086	0.304	1.029
24		139.53	7.20	0.007	0.029	0.098	0.272	0.726
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	0.043	0.162	0.496		
26		123.00	16.80	0.007	0.030	0.096	0.409	1.500
27		122.68	14.81	0.003	0.013	0.054		
28		125.00	12.96	0.006	0.026	0.072		
29		127.00	10.91	0.004	0.016	0.046	0.209	0.708
30		127.00	9.31	0.002	0.009	0.042		
31		127.00	6.90	0.002	0.010	0.046	0.158	0.584
32		125.99	5.12	0.001	0.005	0.020	0.065	0.397

33		126.83	2.92	0.001	0.005	0.021	0.067	0.387
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.003	0.010	0.041		
35		133.40	33.13	0.001	0.002	0.006	0.027	0.113
36		131.46	31.03	0.001	0.003	0.015		
37		130.35	28.93	0.001	0.004	0.017		
38		128.52	27.13	0.002	0.009	0.041	0.150	0.778
39		126.61	25.13	0.008	0.032	0.087		
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	0.003	0.009	0.032	0.089	0.234
41		139.77	33.20	0.003	0.012	0.037	0.164	0.464
42		140.44	30.95	0.002	0.008	0.034	0.103	0.335
43		140.92	28.82	0.005	0.023	0.057	0.207	0.509
44		141.10	27.30	0.005	0.025	0.104	0.423	1.349
45		142.11	25.00	0.008	0.038	0.113	0.293	1.517
46		143.33	22.77	0.006	0.026	0.084	0.258	0.417
47		144.00	21.42	0.004	0.018	0.063	0.303	0.500
48		145.88	18.82	0.006	0.023	0.070	0.230	0.608
49		146.28	17.09	0.006	0.026	0.077	0.277	0.388
50	千島海溝と日本海溝	163.74	56.28	0.000	0.001	0.006	0.016	0.066
51		162.75	54.93	0.000	0.001	0.006	0.030	0.170
52		159.48	52.00	0.001	0.003	0.010	0.030	0.151
53		157.25	51.16	0.000	0.002	0.007	0.025	0.100
54		153.90	48.86	0.000	0.001	0.004	0.018	0.083
55		152.67	46.86	0.001	0.005	0.022	0.060	0.135
56		149.14	44.83	0.001	0.005	0.017	0.060	0.162
57		146.08	43.16	0.001	0.006	0.019	0.063	0.206
58		142.49	41.11	0.000	0.002	0.009	0.037	0.139
59		142.88	39.06	0.001	0.004	0.016	0.070	0.202
60		141.76	36.82	0.001	0.007	0.026	0.081	0.207
61		140.15	34.74	0.003	0.009	0.041	0.166	0.433
62	阿留申海溝	164.46	56.20	0.000	0.002	0.006	0.022	0.090
63		165.39	55.03	0.001	0.005	0.011	0.034	0.104
64		174.49	52.68	0.000	0.002	0.007	0.044	0.135
65		177.90	51.00	0.002	0.008	0.013	0.055	0.132
66		-154.41	55.00	0.000	0.001	0.002	0.010	0.045
67		-161.39	54.68	0.000	0.001	0.002	0.008	0.039
68		-167.66	52.91	0.000	0.002	0.006	0.016	0.042

69		-176.10	51.37	0.001	0.003	0.010	0.027	0.067
70		-177.68	49.88	0.001	0.004	0.009	0.038	0.099
71	美國 西岸 與 中美 海溝	-141.36	55.00	0.000	0.002	0.004	0.006	0.024
72		-127.41	49.00	0.001	0.002	0.009	0.022	0.057
73		-129.39	50.67	0.001	0.002	0.003	0.017	0.106
74		-124.91	47.00	0.000	0.001	0.004	0.010	0.019
75		-126.00	46.94	0.001	0.002	0.006	0.025	0.074
76		-126.00	44.73	0.001	0.003	0.008	0.028	0.069
77		-126.00	43.01	0.001	0.002	0.009	0.022	0.065
78		-126.00	40.72	0.001	0.004	0.012	0.033	0.060
79		-123.00	36.81	0.001	0.003	0.009	0.021	0.056
80		-117.00	30.87	0.000	0.002	0.005	0.014	0.059
81		-116.00	29.29	0.001	0.003	0.008	0.016	0.062
82		-115.00	27.00	0.000	0.001	0.007	0.019	0.066
83		-109.06	24.96	0.000	0.001	0.002	0.005	0.016
84		-107.33	23.29	0.000	0.001	0.005	0.013	0.031
85		-108.32	20.55	0.001	0.003	0.008	0.016	0.063
86		-105.00	18.72	0.000	0.002	0.009	0.022	0.063
87		-98.00	15.00	0.000	0.002	0.008	0.019	0.059
88		-94.05	14.93	0.000	0.001	0.003	0.011	0.039
89		-89.15	12.95	0.000	0.001	0.003	0.015	0.034
90		-87.12	11.15	0.000	0.001	0.004	0.014	0.035
91		-86.50	8.78	0.001	0.002	0.009	0.018	0.070
92		-83.85	7.16	0.001	0.002	0.006	0.014	0.051
93		-83.90	5.08	0.000	0.002	0.006	0.019	0.059
94	秘魯 智利 海溝	-79.00	7.01	0.000	0.002	0.006	0.018	0.072
95		-78.54	4.99	0.001	0.002	0.007	0.026	0.075
96		-80.03	3.02	0.000	0.002	0.007	0.042	0.109
97		-81.36	1.02	0.000	0.002	0.009	0.035	0.117
98		-82.00	-1.20	0.001	0.002	0.009	0.035	0.072
99		-82.00	-3.08	0.001	0.003	0.011	0.037	0.090
100		-82.00	-5.23	0.000	0.002	0.008	0.024	0.060
101		-80.00	-6.95	0.000	0.001	0.005	0.019	0.067
102		-79.00	-9.07	0.000	0.002	0.007	0.024	0.110
103		-78.00	-10.95	0.001	0.002	0.006	0.020	0.082
104		-77.00	-13.14	0.001	0.002	0.008	0.026	0.102

105		-75.76	-15.09	0.000	0.002	0.007	0.026	0.086
106		-73.03	-17.12	0.000	0.002	0.010	0.042	0.113
107		-71.21	-18.95	0.001	0.003	0.013	0.063	0.232
108		-70.76	-20.75	0.000	0.003	0.013	0.063	0.210
109		-70.73	-23.08	0.001	0.003	0.014	0.063	0.238
110		-70.90	-24.92	0.001	0.003	0.017	0.074	0.235
111		-71.31	-27.20	0.001	0.003	0.018	0.084	0.304
112		-71.80	-29.33	0.001	0.004	0.020	0.088	0.303
113		-71.92	-31.21	0.001	0.004	0.019	0.088	0.307
114		-71.98	-32.88	0.001	0.004	0.022	0.094	0.266
115		-72.43	-34.48	0.001	0.004	0.016	0.056	0.239
116		-73.60	-36.89	0.001	0.003	0.013	0.042	0.163
117		-74.34	-38.62	0.001	0.003	0.017	0.077	0.253
118		-83.01	-41.20	0.000	0.003	0.015	0.076	0.280
119		-81.27	-42.97	0.001	0.003	0.015	0.065	0.285
120		-77.75	-45.13	0.000	0.002	0.010	0.048	0.190
121	夏威夷	-155.50	19.16	0.001	0.002	0.012	0.046	0.212
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.070	0.330	0.828		
123		120.86	19.27	0.049	0.192	0.515	1.607	6.095
124		120.43	16.89	0.010	0.028	0.043		
125		119.99	15.06	0.009	0.033	0.087	0.284	0.936
126		120.60	13.47	0.004	0.024	0.112		

附註：斜線代表點位附近的斷層長度不足以造成所對應的地震規模。

環太平洋地震帶 126 區域點位發生 7.0 以上地震在臺中港外海造成的最大波高

點 位	地點	經度	緯度	臺中港最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	0.000	0.001	0.006	0.029	0.148
2		-176.51	-17.24	0.000	0.001	0.007	0.034	0.166
3		-176.64	-18.92	0.000	0.001	0.005	0.023	0.087
4		-177.26	-20.88	0.000	0.001	0.007	0.034	0.176
5		-177.64	-23.04	0.000	0.002	0.009	0.048	0.181
6		-177.72	-24.80	0.000	0.002	0.012	0.053	0.187
7		-177.00	-27.00	0.000	0.002	0.008	0.035	0.145
8		-177.43	-29.14	0.000	0.001	0.005	0.026	0.119
9		-178.14	-30.84	0.000	0.001	0.004	0.021	0.098
10		-178.67	-32.93	0.000	0.001	0.003	0.015	0.069
11		-179.15	-34.78	0.000	0.001	0.003	0.017	0.071
12		-179.55	-36.87	0.000	0.001	0.004	0.018	0.069
13	布千維爾海溝	138.36	0.70	0.001	0.003	0.014	0.073	0.307
14		137.49	-1.18	0.001	0.006	0.023	0.094	0.332
15		144.76	-3.20	0.001	0.006	0.032	0.164	0.430
16		148.95	-5.16	0.001	0.007	0.027	0.097	0.279
17		151.29	-6.67	0.000	0.001	0.005	0.024	0.323
18		156.38	-9.12	0.000	0.001	0.003	0.015	0.056
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	0.001	0.004	0.019	0.073	0.277
20		146.35	14.93	0.001	0.004	0.018	0.077	0.305
21		144.07	12.86	0.001	0.005	0.022	0.106	0.427
22		142.27	11.35	0.001	0.004	0.023	0.117	0.652
23		139.85	8.92	0.001	0.005	0.023	0.093	0.320
24		139.53	7.20	0.001	0.006	0.021	0.107	0.377
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	0.006	0.030	0.147		
26		123.00	16.80	0.002	0.012	0.047	0.215	0.798
27		122.68	14.81	0.003	0.010	0.038		
28		125.00	12.96	0.002	0.011	0.045		
29		127.00	10.91	0.002	0.007	0.029	0.149	0.634
30		127.00	9.31	0.001	0.006	0.032		
31		127.00	6.90	0.001	0.005	0.022	0.092	0.401
32		125.99	5.12	0.001	0.005	0.022	0.090	0.351

33		126.83	2.92	0.001	0.005	0.025	0.103	0.340
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.002	0.011	0.047		
35		133.40	33.13	0.001	0.004	0.012	0.045	0.185
36		131.46	31.03	0.001	0.007	0.040		
37		130.35	28.93	0.001	0.005	0.045		
38		128.52	27.13	0.002	0.011	0.070	0.471	0.839
39		126.61	25.13	0.003	0.018	0.103		
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	0.002	0.007	0.031	0.098	0.300
41		139.77	33.20	0.001	0.008	0.036	0.113	0.378
42		140.44	30.95	0.001	0.005	0.024	0.102	0.313
43		140.92	28.82	0.001	0.006	0.032	0.173	0.881
44		141.10	27.30	0.002	0.009	0.047	0.251	1.195
45		142.11	25.00	0.001	0.008	0.039	0.196	1.022
46		143.33	22.77	0.001	0.005	0.026	0.117	0.387
47		144.00	21.42	0.001	0.006	0.029	0.127	0.474
48		145.88	18.82	0.001	0.005	0.022	0.089	0.288
49		146.28	17.09	0.001	0.004	0.021	0.075	0.285
50	千島海溝と日本海溝	163.74	56.28	0.000	0.000	0.002	0.012	0.079
51		162.75	54.93	0.000	0.001	0.006	0.024	0.111
52		159.48	52.00	0.000	0.001	0.005	0.024	0.103
53		157.25	51.16	0.001	0.002	0.008	0.033	0.144
54		153.90	48.86	0.000	0.001	0.006	0.025	0.088
55		152.67	46.86	0.000	0.002	0.008	0.039	0.183
56		149.14	44.83	0.000	0.002	0.009	0.045	0.186
57		146.08	43.16	0.000	0.002	0.011	0.056	0.266
58		142.49	41.11	0.000	0.002	0.008	0.035	0.178
59		142.88	39.06	0.000	0.002	0.010	0.055	0.270
60		141.76	36.82	0.001	0.003	0.018	0.078	0.346
61		140.15	34.74	0.002	0.008	0.041	0.143	0.470
62	阿留申海溝	164.46	56.20	0.000	0.000	0.002	0.018	0.098
63		165.39	55.03	0.000	0.001	0.006	0.021	0.110
64		174.49	52.68	0.000	0.001	0.005	0.021	0.095
65		177.90	51.00	0.000	0.001	0.006	0.028	0.113
66		-154.41	55.00	0.000	0.001	0.003	0.014	0.049
67		-161.39	54.68	0.000	0.001	0.002	0.005	0.037
68		-167.66	52.91	0.000	0.001	0.005	0.019	0.054

69		-176.10	51.37	0.000	0.001	0.005	0.024	0.075
70		-177.68	49.88	0.000	0.001	0.005	0.022	0.091
71	美國 西岸 與 中美 海溝	-141.36	55.00	0.000	0.000	0.001	0.007	0.028
72		-127.41	49.00	0.000	0.001	0.006	0.026	0.065
73		-129.39	50.67	0.000	0.001	0.002	0.005	0.046
74		-124.91	47.00	0.000	0.001	0.006	0.010	0.013
75		-126.00	46.94	0.000	0.001	0.006	0.031	0.104
76		-126.00	44.73	0.000	0.001	0.006	0.030	0.089
77		-126.00	43.01	0.000	0.001	0.006	0.028	0.064
78		-126.00	40.72	0.000	0.001	0.006	0.029	0.068
79		-123.00	36.81	0.000	0.002	0.008	0.028	0.084
80		-117.00	30.87	0.000	0.001	0.007	0.017	0.049
81		-116.00	29.29	0.000	0.001	0.005	0.021	0.063
82		-115.00	27.00	0.000	0.001	0.005	0.018	0.060
83		-109.06	24.96	0.000	0.000	0.002	0.006	0.020
84		-107.33	23.29	0.000	0.001	0.003	0.008	0.040
85		-108.32	20.55	0.000	0.001	0.004	0.015	0.044
86		-105.00	18.72	0.000	0.002	0.007	0.031	0.093
87		-98.00	15.00	0.000	0.002	0.009	0.041	0.097
88		-94.05	14.93	0.000	0.001	0.005	0.017	0.070
89		-89.15	12.95	0.000	0.002	0.005	0.016	0.059
90		-87.12	11.15	0.000	0.001	0.005	0.016	0.048
91		-86.50	8.78	0.000	0.001	0.006	0.026	0.073
92		-83.85	7.16	0.000	0.001	0.003	0.014	0.039
93		-83.90	5.08	0.000	0.000	0.002	0.010	0.044
94	秘魯 智利 海溝	-79.00	7.01	0.000	0.001	0.003	0.012	0.061
95		-78.54	4.99	0.000	0.001	0.004	0.026	0.095
96		-80.03	3.02	0.000	0.001	0.005	0.025	0.094
97		-81.36	1.02	0.000	0.001	0.005	0.025	0.094
98		-82.00	-1.20	0.000	0.001	0.008	0.034	0.078
99		-82.00	-3.08	0.000	0.002	0.010	0.043	0.128
100		-82.00	-5.23	0.000	0.001	0.008	0.030	0.082
101		-80.00	-6.95	0.000	0.002	0.005	0.014	0.053
102		-79.00	-9.07	0.000	0.001	0.005	0.016	0.055
103		-78.00	-10.95	0.001	0.003	0.009	0.025	0.078
104		-77.00	-13.14	0.000	0.002	0.010	0.032	0.097

105		-75.76	-15.09	0.000	0.002	0.008	0.030	0.107
106		-73.03	-17.12	0.000	0.002	0.012	0.048	0.147
107		-71.21	-18.95	0.000	0.001	0.008	0.037	0.131
108		-70.76	-20.75	0.000	0.002	0.010	0.054	0.201
109		-70.73	-23.08	0.000	0.002	0.010	0.047	0.195
110		-70.90	-24.92	0.000	0.002	0.010	0.046	0.170
111		-71.31	-27.20	0.000	0.002	0.011	0.052	0.195
112		-71.80	-29.33	0.000	0.002	0.010	0.045	0.181
113		-71.92	-31.21	0.000	0.002	0.008	0.037	0.144
114		-71.98	-32.88	0.000	0.001	0.006	0.028	0.095
115		-72.43	-34.48	0.000	0.001	0.005	0.020	0.095
116		-73.60	-36.89	0.000	0.001	0.003	0.013	0.065
117		-74.34	-38.62	0.000	0.000	0.002	0.014	0.061
118		-83.01	-41.20	0.000	0.001	0.006	0.028	0.131
119		-81.27	-42.97	0.000	0.001	0.004	0.021	0.109
120		-77.75	-45.13	0.000	0.000	0.002	0.011	0.055
121	夏威夷	-155.50	19.16	0.000	0.000	0.003	0.025	0.149
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.006	0.031	0.142		
123		120.86	19.27	0.005	0.028	0.131	0.392	1.306
124		120.43	16.89	0.002	0.005	0.012		
125		119.99	15.06	0.002	0.006	0.020	0.088	0.283
126		120.60	13.47	0.002	0.010	0.049		

附註：斜線代表點位附近的斷層長度不足以造成所對應的地震規模。

環太平洋地震帶 126 區域點位發生 7.0 以上地震在臺北港外海造成的最大波高

點 位	地點	經度	緯度	臺北港最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	0.001	0.004	0.018	0.089	0.232
2		-176.51	-17.24	0.000	0.003	0.012	0.053	0.249
3		-176.64	-18.92	0.000	0.002	0.012	0.062	0.172
4		-177.26	-20.88	0.001	0.004	0.014	0.045	0.213
5		-177.64	-23.04	0.001	0.003	0.012	0.054	0.211
6		-177.72	-24.80	0.001	0.004	0.017	0.080	0.223
7		-177.00	-27.00	0.001	0.003	0.015	0.043	0.202
8		-177.43	-29.14	0.000	0.002	0.010	0.049	0.210
9		-178.14	-30.84	0.001	0.003	0.015	0.059	0.193
10		-178.67	-32.93	0.000	0.002	0.010	0.044	0.182
11		-179.15	-34.78	0.000	0.001	0.007	0.032	0.120
12		-179.55	-36.87	0.000	0.001	0.006	0.016	0.068
13	布千維爾海溝	138.36	0.70	0.003	0.014	0.068	0.214	0.832
14		137.49	-1.18	0.004	0.012	0.050	0.155	0.460
15		144.76	-3.20	0.002	0.011	0.039	0.199	0.536
16		148.95	-5.16	0.002	0.011	0.035	0.114	0.479
17		151.29	-6.67	0.001	0.003	0.016	0.056	0.365
18		156.38	-9.12	0.000	0.001	0.005	0.026	0.118
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	0.004	0.019	0.082	0.205	0.747
20		146.35	14.93	0.003	0.014	0.055	0.167	0.531
21		144.07	12.86	0.004	0.023	0.092	0.263	0.833
22		142.27	11.35	0.004	0.020	0.122	0.569	1.858
23		139.85	8.92	0.003	0.014	0.092	0.289	1.047
24		139.53	7.20	0.006	0.030	0.103	0.374	0.576
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	0.014	0.058	0.236		
26		123.00	16.80	0.006	0.029	0.107	0.485	1.340
27		122.68	14.81	0.004	0.015	0.063		
28		125.00	12.96	0.009	0.040	0.127		
29		127.00	10.91	0.005	0.026	0.101	0.344	1.247
30		127.00	9.31	0.004	0.024	0.122		
31		127.00	6.90	0.003	0.015	0.076	0.349	1.375
32		125.99	5.12	0.003	0.012	0.062	0.291	1.079

33		126.83	2.92	0.003	0.013	0.060	0.278	0.545
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.005	0.022	0.094		
35		133.40	33.13	0.004	0.016	0.050	0.312	1.381
36		131.46	31.03	0.003	0.016	0.094		
37		130.35	28.93	0.002	0.017	0.141		
38		128.52	27.13	0.006	0.033	0.194	1.004	1.670
39		126.61	25.13	0.017	0.077	0.289		
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	0.003	0.015	0.065	0.260	0.685
41		139.77	33.20	0.004	0.020	0.084	0.293	0.769
42		140.44	30.95	0.003	0.013	0.061	0.240	0.616
43		140.92	28.82	0.003	0.015	0.074	0.421	2.315
44		141.10	27.30	0.003	0.018	0.104	0.615	3.188
45		142.11	25.00	0.003	0.018	0.089	0.504	2.502
46		143.33	22.77	0.002	0.011	0.053	0.256	0.705
47		144.00	21.42	0.003	0.014	0.060	0.233	0.868
48		145.88	18.82	0.004	0.023	0.109	0.240	0.505
49		146.28	17.09	0.004	0.020	0.087	0.158	0.564
50	千島海溝と日本海溝	163.74	56.28	0.000	0.002	0.008	0.028	0.200
51		162.75	54.93	0.001	0.003	0.014	0.060	0.295
52		159.48	52.00	0.001	0.003	0.014	0.065	0.244
53		157.25	51.16	0.001	0.006	0.024	0.076	0.345
54		153.90	48.86	0.001	0.003	0.018	0.069	0.259
55		152.67	46.86	0.001	0.005	0.024	0.124	0.526
56		149.14	44.83	0.002	0.007	0.025	0.115	0.463
57		146.08	43.16	0.001	0.005	0.027	0.137	0.614
58		142.49	41.11	0.001	0.005	0.023	0.084	0.371
59		142.88	39.06	0.001	0.006	0.028	0.138	0.579
60		141.76	36.82	0.001	0.008	0.042	0.217	0.958
61		140.15	34.74	0.003	0.015	0.081	0.364	1.101
62	阿留申海溝	164.46	56.20	0.000	0.002	0.008	0.046	0.262
63		165.39	55.03	0.001	0.005	0.021	0.061	0.242
64		174.49	52.68	0.001	0.004	0.014	0.067	0.328
65		177.90	51.00	0.001	0.004	0.018	0.073	0.209
66		-154.41	55.00	0.000	0.001	0.007	0.034	0.120
67		-161.39	54.68	0.000	0.002	0.005	0.013	0.108
68		-167.66	52.91	0.001	0.003	0.012	0.045	0.130

69		-176.10	51.37	0.001	0.005	0.013	0.055	0.142
70		-177.68	49.88	0.001	0.005	0.018	0.047	0.215
71	美國西岸 中美海溝	-141.36	55.00	0.000	0.002	0.009	0.034	0.115
72		-127.41	49.00	0.001	0.005	0.020	0.058	0.167
73		-129.39	50.67	0.001	0.003	0.010	0.046	0.181
74		-124.91	47.00	0.001	0.003	0.014	0.061	0.100
75		-126.00	46.94	0.001	0.005	0.029	0.098	0.176
76		-126.00	44.73	0.001	0.005	0.019	0.057	0.259
77		-126.00	43.01	0.000	0.003	0.015	0.120	0.408
78		-126.00	40.72	0.001	0.003	0.016	0.096	0.358
79		-123.00	36.81	0.001	0.003	0.015	0.053	0.165
80		-117.00	30.87	0.001	0.004	0.020	0.052	0.107
81		-116.00	29.29	0.001	0.003	0.013	0.054	0.098
82		-115.00	27.00	0.001	0.002	0.013	0.065	0.230
83		-109.06	24.96	0.000	0.001	0.003	0.012	0.053
84		-107.33	23.29	0.000	0.001	0.005	0.023	0.090
85		-108.32	20.55	0.000	0.002	0.008	0.032	0.114
86		-105.00	18.72	0.001	0.003	0.018	0.076	0.199
87		-98.00	15.00	0.001	0.004	0.020	0.103	0.185
88		-94.05	14.93	0.000	0.003	0.021	0.063	0.168
89		-89.15	12.95	0.001	0.004	0.014	0.029	0.124
90		-87.12	11.15	0.000	0.002	0.013	0.031	0.102
91		-86.50	8.78	0.000	0.002	0.012	0.064	0.113
92		-83.85	7.16	0.000	0.002	0.008	0.039	0.158
93		-83.90	5.08	0.000	0.001	0.005	0.025	0.112
94	秘魯 智利海溝	-79.00	7.01	0.000	0.001	0.006	0.024	0.106
95		-78.54	4.99	0.000	0.002	0.012	0.064	0.236
96		-80.03	3.02	0.000	0.002	0.010	0.051	0.116
97		-81.36	1.02	0.000	0.002	0.010	0.044	0.110
98		-82.00	-1.20	0.001	0.002	0.012	0.044	0.106
99		-82.00	-3.08	0.001	0.003	0.018	0.064	0.165
100		-82.00	-5.23	0.000	0.002	0.011	0.038	0.100
101		-80.00	-6.95	0.001	0.003	0.012	0.038	0.125
102		-79.00	-9.07	0.001	0.004	0.016	0.038	0.136
103		-78.00	-10.95	0.001	0.004	0.014	0.038	0.107
104		-77.00	-13.14	0.000	0.003	0.013	0.044	0.147

105		-75.76	-15.09	0.001	0.004	0.013	0.047	0.169
106		-73.03	-17.12	0.001	0.004	0.022	0.100	0.319
107		-71.21	-18.95	0.001	0.005	0.034	0.167	0.425
108		-70.76	-20.75	0.001	0.003	0.022	0.132	0.503
109		-70.73	-23.08	0.001	0.005	0.025	0.120	0.492
110		-70.90	-24.92	0.001	0.005	0.025	0.114	0.433
111		-71.31	-27.20	0.001	0.006	0.037	0.180	0.653
112		-71.80	-29.33	0.002	0.009	0.055	0.230	0.842
113		-71.92	-31.21	0.002	0.013	0.059	0.289	1.107
114		-71.98	-32.88	0.002	0.014	0.083	0.349	0.898
115		-72.43	-34.48	0.002	0.012	0.058	0.216	0.946
116		-73.60	-36.89	0.002	0.008	0.031	0.079	0.202
117		-74.34	-38.62	0.002	0.009	0.049	0.186	0.483
118		-83.01	-41.20	0.001	0.005	0.026	0.138	0.627
119		-81.27	-42.97	0.001	0.006	0.032	0.163	0.792
120		-77.75	-45.13	0.001	0.004	0.023	0.140	0.729
121	夏威夷	-155.50	19.16	0.000	0.001	0.009	0.047	0.260
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.015	0.068	0.310		
123		120.86	19.27	0.011	0.053	0.206	0.609	1.630
124		120.43	16.89	0.003	0.008	0.017		
125		119.99	15.06	0.007	0.021	0.061	0.144	0.638
126		120.60	13.47	0.002	0.015	0.050		

附註：斜線代表點位附近的斷層長度不足以造成所對應的地震規模。

環太平洋地震帶 126 區域點位發生 7.0 以上地震在基隆港外海造成的最大波高

點 位	地點	經度	緯度	基隆港最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	0.002	0.008	0.036	0.156	0.341
2		-176.51	-17.24	0.002	0.009	0.037	0.092	0.261
3		-176.64	-18.92	0.001	0.007	0.026	0.066	0.273
4		-177.26	-20.88	0.001	0.007	0.030	0.073	0.312
5		-177.64	-23.04	0.001	0.007	0.025	0.087	0.291
6		-177.72	-24.80	0.002	0.008	0.035	0.150	0.316
7		-177.00	-27.00	0.001	0.007	0.030	0.110	0.565
8		-177.43	-29.14	0.001	0.005	0.026	0.128	0.582
9		-178.14	-30.84	0.001	0.007	0.034	0.135	0.551
10		-178.67	-32.93	0.001	0.004	0.022	0.098	0.393
11		-179.15	-34.78	0.001	0.004	0.017	0.058	0.221
12		-179.55	-36.87	0.001	0.003	0.013	0.039	0.130
13	布千維爾海溝	138.36	0.70	0.005	0.030	0.144	0.518	1.524
14		137.49	-1.18	0.009	0.032	0.111	0.298	0.894
15		144.76	-3.20	0.006	0.025	0.093	0.320	1.463
16		148.95	-5.16	0.005	0.021	0.075	0.189	1.193
17		151.29	-6.67	0.001	0.005	0.027	0.097	0.760
18		156.38	-9.12	0.000	0.002	0.011	0.041	0.199
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	0.012	0.055	0.184	0.434	1.247
20		146.35	14.93	0.007	0.034	0.159	0.423	1.158
21		144.07	12.86	0.011	0.054	0.176	0.742	1.960
22		142.27	11.35	0.009	0.049	0.295	1.480	4.553
23		139.85	8.92	0.007	0.032	0.134	0.578	2.199
24		139.53	7.20	0.015	0.070	0.282	0.978	1.643
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	0.033	0.132	0.409		
26		123.00	16.80	0.015	0.077	0.295	0.912	3.182
27		122.68	14.81	0.005	0.019	0.096		
28		125.00	12.96	0.016	0.074	0.244		
29		127.00	10.91	0.012	0.061	0.258	0.656	2.341
30		127.00	9.31	0.007	0.040	0.222		
31		127.00	6.90	0.006	0.028	0.156	0.748	3.100
32		125.99	5.12	0.007	0.029	0.126	0.515	2.106

33		126.83	2.92	0.008	0.036	0.119	0.455	1.028
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.007	0.034	0.137		
35		133.40	33.13	0.006	0.025	0.082	0.540	2.039
36		131.46	31.03	0.010	0.049	0.155		
37		130.35	28.93	0.007	0.041	0.242		
38		128.52	27.13	0.024	0.126	0.539	1.685	2.944
39		126.61	25.13	0.052	0.209	0.865		
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	0.005	0.022	0.101	0.411	1.139
41		139.77	33.20	0.009	0.037	0.171	0.619	1.433
42		140.44	30.95	0.007	0.029	0.125	0.424	1.037
43		140.92	28.82	0.009	0.043	0.162	0.697	3.695
44		141.10	27.30	0.010	0.049	0.227	1.087	5.832
45		142.11	25.00	0.010	0.051	0.237	1.091	4.575
46		143.33	22.77	0.008	0.039	0.152	0.468	0.998
47		144.00	21.42	0.007	0.035	0.126	0.414	1.390
48		145.88	18.82	0.009	0.035	0.139	0.445	1.030
49		146.28	17.09	0.012	0.050	0.171	0.425	1.403
50	千島海溝と日本海溝	163.74	56.28	0.001	0.005	0.017	0.053	0.292
51		162.75	54.93	0.002	0.006	0.022	0.074	0.498
52		159.48	52.00	0.001	0.008	0.031	0.133	0.429
53		157.25	51.16	0.002	0.008	0.034	0.093	0.534
54		153.90	48.86	0.002	0.006	0.035	0.128	0.303
55		152.67	46.86	0.002	0.010	0.051	0.243	0.886
56		149.14	44.83	0.003	0.013	0.053	0.231	0.761
57		146.08	43.16	0.003	0.016	0.069	0.270	0.936
58		142.49	41.11	0.002	0.008	0.046	0.191	0.785
59		142.88	39.06	0.002	0.012	0.055	0.254	1.013
60		141.76	36.82	0.004	0.019	0.087	0.406	1.527
61		140.15	34.74	0.005	0.025	0.142	0.695	2.058
62	阿留申海溝	164.46	56.20	0.001	0.005	0.016	0.081	0.398
63		165.39	55.03	0.003	0.013	0.040	0.085	0.442
64		174.49	52.68	0.002	0.009	0.037	0.139	0.586
65		177.90	51.00	0.003	0.012	0.044	0.147	0.371
66		-154.41	55.00	0.001	0.004	0.011	0.056	0.177
67		-161.39	54.68	0.001	0.003	0.007	0.035	0.173
68		-167.66	52.91	0.002	0.006	0.018	0.069	0.174

69		-176.10	51.37	0.002	0.007	0.023	0.083	0.242
70		-177.68	49.88	0.002	0.011	0.036	0.110	0.298
71	美國 西岸 與 中美 海溝	-141.36	55.00	0.001	0.006	0.015	0.064	0.166
72		-127.41	49.00	0.002	0.010	0.035	0.103	0.319
73		-129.39	50.67	0.002	0.008	0.023	0.081	0.330
74		-124.91	47.00	0.002	0.007	0.033	0.107	0.164
75		-126.00	46.94	0.002	0.008	0.040	0.135	0.253
76		-126.00	44.73	0.002	0.009	0.035	0.123	0.485
77		-126.00	43.01	0.001	0.007	0.030	0.171	0.543
78		-126.00	40.72	0.004	0.013	0.038	0.136	0.555
79		-123.00	36.81	0.001	0.004	0.019	0.070	0.235
80		-117.00	30.87	0.001	0.006	0.034	0.084	0.208
81		-116.00	29.29	0.001	0.006	0.024	0.089	0.195
82		-115.00	27.00	0.001	0.007	0.034	0.078	0.343
83		-109.06	24.96	0.000	0.001	0.005	0.017	0.062
84		-107.33	23.29	0.001	0.003	0.012	0.039	0.128
85		-108.32	20.55	0.001	0.005	0.018	0.050	0.193
86		-105.00	18.72	0.001	0.005	0.024	0.102	0.259
87		-98.00	15.00	0.001	0.006	0.029	0.146	0.250
88		-94.05	14.93	0.001	0.004	0.032	0.099	0.229
89		-89.15	12.95	0.001	0.006	0.019	0.044	0.177
90		-87.12	11.15	0.001	0.004	0.017	0.052	0.141
91		-86.50	8.78	0.001	0.006	0.026	0.087	0.178
92		-83.85	7.16	0.001	0.005	0.021	0.068	0.258
93		-83.90	5.08	0.000	0.002	0.011	0.046	0.167
94	秘魯 智利 海溝	-79.00	7.01	0.001	0.003	0.007	0.034	0.184
95		-78.54	4.99	0.001	0.004	0.020	0.100	0.350
96		-80.03	3.02	0.001	0.005	0.019	0.078	0.252
97		-81.36	1.02	0.001	0.005	0.019	0.071	0.199
98		-82.00	-1.20	0.002	0.010	0.035	0.075	0.132
99		-82.00	-3.08	0.001	0.005	0.025	0.087	0.262
100		-82.00	-5.23	0.001	0.004	0.017	0.055	0.120
101		-80.00	-6.95	0.001	0.004	0.016	0.051	0.158
102		-79.00	-9.07	0.002	0.007	0.024	0.058	0.216
103		-78.00	-10.95	0.001	0.006	0.020	0.052	0.164
104		-77.00	-13.14	0.001	0.005	0.018	0.055	0.165

105		-75.76	-15.09	0.001	0.005	0.020	0.073	0.243
106		-73.03	-17.12	0.001	0.005	0.029	0.123	0.429
107		-71.21	-18.95	0.001	0.007	0.042	0.205	0.682
108		-70.76	-20.75	0.001	0.007	0.042	0.189	0.720
109		-70.73	-23.08	0.001	0.008	0.045	0.208	0.706
110		-70.90	-24.92	0.001	0.009	0.046	0.212	0.656
111		-71.31	-27.20	0.002	0.010	0.058	0.269	0.948
112		-71.80	-29.33	0.003	0.015	0.084	0.345	1.166
113		-71.92	-31.21	0.003	0.019	0.085	0.402	1.451
114		-71.98	-32.88	0.004	0.020	0.119	0.499	1.259
115		-72.43	-34.48	0.003	0.016	0.084	0.320	1.255
116		-73.60	-36.89	0.007	0.027	0.094	0.267	0.797
117		-74.34	-38.62	0.003	0.017	0.082	0.299	0.981
118		-83.01	-41.20	0.002	0.012	0.069	0.364	1.586
119		-81.27	-42.97	0.003	0.014	0.077	0.417	2.018
120		-77.75	-45.13	0.001	0.008	0.045	0.250	1.308
121	夏威夷	-155.50	19.16	0.000	0.003	0.021	0.074	0.420
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.051	0.246	0.965		
123		120.86	19.27	0.020	0.108	0.409	1.163	3.273
124		120.43	16.89	0.006	0.015	0.032		
125		119.99	15.06	0.011	0.041	0.120	0.249	1.163
126		120.60	13.47	0.004	0.018	0.074		

附註：斜線代表點位附近的斷層長度不足以造成所對應的地震規模。

環太平洋地震帶 126 區域點位發生 7.0 以上地震在蘇澳港外海造成的最大波高

點 位	地點	經度	緯度	蘇澳港最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	0.004	0.016	0.054	0.184	0.557
2		-176.51	-17.24	0.002	0.010	0.045	0.139	0.318
3		-176.64	-18.92	0.002	0.008	0.028	0.073	0.185
4		-177.26	-20.88	0.003	0.011	0.039	0.113	0.349
5		-177.64	-23.04	0.003	0.014	0.038	0.101	0.311
6		-177.72	-24.80	0.003	0.013	0.049	0.125	0.348
7		-177.00	-27.00	0.003	0.015	0.043	0.132	0.496
8		-177.43	-29.14	0.001	0.007	0.035	0.125	0.622
9		-178.14	-30.84	0.004	0.017	0.061	0.150	0.506
10		-178.67	-32.93	0.004	0.019	0.053	0.145	0.459
11		-179.15	-34.78	0.002	0.008	0.020	0.064	0.253
12		-179.55	-36.87	0.001	0.005	0.011	0.039	0.168
13	布千維爾海溝	138.36	0.70	0.022	0.074	0.380	1.259	2.651
14		137.49	-1.18	0.016	0.056	0.132	0.453	1.712
15		144.76	-3.20	0.014	0.052	0.134	0.352	1.388
16		148.95	-5.16	0.010	0.039	0.110	0.339	0.804
17		151.29	-6.67	0.001	0.006	0.034	0.128	0.793
18		156.38	-9.12	0.000	0.002	0.009	0.036	0.157
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	0.023	0.104	0.379	0.705	1.579
20		146.35	14.93	0.035	0.141	0.248	1.445	2.137
21		144.07	12.86	0.039	0.199	0.808	1.674	3.198
22		142.27	11.35	0.038	0.202	0.759	3.152	9.093
23		139.85	8.92	0.025	0.097	0.356	1.173	3.238
24		139.53	7.20	0.038	0.159	0.578	1.577	3.474
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	0.052	0.198	0.909		
26		123.00	16.80	0.062	0.214	0.622	1.602	5.490
27		122.68	14.81	0.012	0.055	0.236		
28		125.00	12.96	0.061	0.188	0.491		
29		127.00	10.91	0.029	0.107	0.264	1.087	3.589
30		127.00	9.31	0.013	0.061	0.307		
31		127.00	6.90	0.009	0.045	0.216	0.901	3.573
32		125.99	5.12	0.009	0.034	0.112	0.416	2.292

33		126.83	2.92	0.009	0.035	0.113	0.463	1.460
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.005	0.021	0.076		
35		133.40	33.13	0.003	0.010	0.033	0.102	0.467
36		131.46	31.03	0.004	0.022	0.099		
37		130.35	28.93	0.006	0.027	0.114		
38		128.52	27.13	0.015	0.070	0.324	1.150	3.143
39		126.61	25.13	0.080	0.298	0.625		
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	0.007	0.029	0.116	0.260	0.919
41		139.77	33.20	0.008	0.028	0.108	0.487	1.485
42		140.44	30.95	0.018	0.040	0.125	0.467	0.942
43		140.92	28.82	0.040	0.162	0.270	0.673	2.291
44		141.10	27.30	0.020	0.097	0.397	1.494	4.400
45		142.11	25.00	0.021	0.100	0.355	1.022	3.250
46		143.33	22.77	0.018	0.091	0.252	0.655	1.274
47		144.00	21.42	0.022	0.066	0.249	0.538	1.432
48		145.88	18.82	0.026	0.104	0.287	0.965	1.876
49		146.28	17.09	0.023	0.095	0.383	0.967	2.194
50	千島海溝と日本海溝	163.74	56.28	0.001	0.003	0.008	0.036	0.130
51		162.75	54.93	0.001	0.005	0.021	0.079	0.533
52		159.48	52.00	0.002	0.011	0.044	0.141	0.318
53		157.25	51.16	0.001	0.004	0.017	0.089	0.271
54		153.90	48.86	0.002	0.004	0.016	0.078	0.166
55		152.67	46.86	0.003	0.013	0.064	0.210	0.444
56		149.14	44.83	0.004	0.020	0.066	0.203	0.370
57		146.08	43.16	0.004	0.016	0.052	0.176	0.462
58		142.49	41.11	0.001	0.005	0.020	0.084	0.392
59		142.88	39.06	0.002	0.010	0.043	0.165	0.479
60		141.76	36.82	0.004	0.014	0.055	0.190	0.635
61		140.15	34.74	0.013	0.051	0.102	0.343	0.845
62	阿留申海溝	164.46	56.20	0.001	0.004	0.011	0.039	0.187
63		165.39	55.03	0.003	0.013	0.035	0.070	0.307
64		174.49	52.68	0.002	0.007	0.030	0.169	0.324
65		177.90	51.00	0.007	0.027	0.049	0.177	0.314
66		-154.41	55.00	0.001	0.002	0.008	0.029	0.110
67		-161.39	54.68	0.000	0.001	0.003	0.016	0.109
68		-167.66	52.91	0.001	0.004	0.014	0.038	0.136

69		-176.10	51.37	0.003	0.012	0.026	0.066	0.160
70		-177.68	49.88	0.005	0.015	0.027	0.059	0.211
71	美國 西岸 中美海溝	-141.36	55.00	0.002	0.006	0.012	0.038	0.068
72		-127.41	49.00	0.003	0.010	0.021	0.056	0.108
73		-129.39	50.67	0.003	0.007	0.011	0.051	0.198
74		-124.91	47.00	0.001	0.005	0.016	0.033	0.073
75		-126.00	46.94	0.003	0.011	0.027	0.068	0.159
76		-126.00	44.73	0.003	0.012	0.038	0.070	0.148
77		-126.00	43.01	0.002	0.005	0.021	0.050	0.144
78		-126.00	40.72	0.004	0.010	0.024	0.071	0.189
79		-123.00	36.81	0.001	0.005	0.014	0.041	0.137
80		-117.00	30.87	0.001	0.004	0.010	0.031	0.114
81		-116.00	29.29	0.001	0.006	0.018	0.049	0.104
82		-115.00	27.00	0.001	0.004	0.018	0.055	0.186
83		-109.06	24.96	0.000	0.001	0.005	0.013	0.038
84		-107.33	23.29	0.000	0.002	0.008	0.023	0.092
85		-108.32	20.55	0.001	0.005	0.014	0.043	0.111
86		-105.00	18.72	0.002	0.007	0.019	0.075	0.178
87		-98.00	15.00	0.001	0.006	0.017	0.063	0.131
88		-94.05	14.93	0.000	0.002	0.008	0.028	0.103
89		-89.15	12.95	0.001	0.003	0.007	0.021	0.088
90		-87.12	11.15	0.001	0.002	0.010	0.031	0.070
91		-86.50	8.78	0.002	0.006	0.015	0.045	0.113
92		-83.85	7.16	0.001	0.004	0.010	0.038	0.081
93		-83.90	5.08	0.001	0.005	0.011	0.034	0.085
94	秘魯 智利海溝	-79.00	7.01	0.001	0.003	0.009	0.036	0.128
95		-78.54	4.99	0.001	0.005	0.017	0.064	0.210
96		-80.03	3.02	0.002	0.006	0.021	0.059	0.249
97		-81.36	1.02	0.002	0.008	0.025	0.066	0.188
98		-82.00	-1.20	0.001	0.005	0.028	0.066	0.143
99		-82.00	-3.08	0.002	0.008	0.025	0.068	0.171
100		-82.00	-5.23	0.001	0.004	0.018	0.055	0.148
101		-80.00	-6.95	0.001	0.003	0.010	0.043	0.152
102		-79.00	-9.07	0.001	0.004	0.011	0.047	0.221
103		-78.00	-10.95	0.001	0.004	0.012	0.041	0.184
104		-77.00	-13.14	0.001	0.004	0.017	0.053	0.209

105		-75.76	-15.09	0.001	0.005	0.020	0.069	0.160
106		-73.03	-17.12	0.001	0.006	0.027	0.119	0.300
107		-71.21	-18.95	0.002	0.010	0.041	0.196	0.479
108		-70.76	-20.75	0.002	0.007	0.035	0.176	0.519
109		-70.73	-23.08	0.002	0.009	0.032	0.116	0.474
110		-70.90	-24.92	0.002	0.009	0.037	0.137	0.559
111		-71.31	-27.20	0.002	0.011	0.050	0.215	0.667
112		-71.80	-29.33	0.002	0.012	0.067	0.275	0.760
113		-71.92	-31.21	0.004	0.020	0.075	0.274	0.851
114		-71.98	-32.88	0.004	0.020	0.075	0.258	0.713
115		-72.43	-34.48	0.003	0.014	0.054	0.150	0.653
116		-73.60	-36.89	0.002	0.009	0.030	0.084	0.314
117		-74.34	-38.62	0.001	0.008	0.044	0.185	0.513
118		-83.01	-41.20	0.001	0.007	0.033	0.152	0.488
119		-81.27	-42.97	0.001	0.005	0.023	0.103	0.418
120		-77.75	-45.13	0.001	0.005	0.019	0.074	0.326
121	夏威夷	-155.50	19.16	0.001	0.006	0.035	0.133	0.426
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.076	0.363	1.216		
123		120.86	19.27	0.060	0.273	0.744	1.890	5.522
124		120.43	16.89	0.011	0.027	0.044		
125		119.99	15.06	0.010	0.038	0.121	0.330	1.444
126		120.60	13.47	0.003	0.016	0.058		

附註：斜線代表點位附近的斷層長度不足以造成所對應的地震規模。

環太平洋地震帶 126 區域點位發生 7.0 以上地震在花蓮港外海造成的最大波高

點 位	地點	經度	緯度	花蓮港最大波高(m)				
				MW				
				7	7.5	8	8.5	9
1	湯加海溝 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	0.004	0.013	0.034	0.095	0.269
2		-176.51	-17.24	0.002	0.008	0.027	0.084	0.300
3		-176.64	-18.92	0.003	0.007	0.019	0.050	0.145
4		-177.26	-20.88	0.002	0.008	0.021	0.072	0.244
5		-177.64	-23.04	0.002	0.010	0.027	0.072	0.319
6		-177.72	-24.80	0.002	0.007	0.026	0.088	0.297
7		-177.00	-27.00	0.003	0.010	0.025	0.099	0.307
8		-177.43	-29.14	0.002	0.006	0.023	0.096	0.425
9		-178.14	-30.84	0.004	0.017	0.053	0.086	0.300
10		-178.67	-32.93	0.003	0.011	0.033	0.096	0.279
11		-179.15	-34.78	0.001	0.005	0.012	0.044	0.174
12		-179.55	-36.87	0.001	0.002	0.008	0.031	0.118
13	布千維爾海溝	138.36	0.70	0.051	0.144	0.383	0.986	2.482
14		137.49	-1.18	0.012	0.041	0.122	0.374	1.103
15		144.76	-3.20	0.016	0.046	0.122	0.366	1.153
16		148.95	-5.16	0.010	0.034	0.110	0.244	0.537
17		151.29	-6.67	0.001	0.004	0.018	0.070	0.608
18		156.38	-9.12	0.000	0.002	0.006	0.033	0.113
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	0.031	0.134	0.253	0.691	1.598
20		146.35	14.93	0.032	0.096	0.287	0.653	1.678
21		144.07	12.86	0.068	0.275	0.516	1.465	2.214
22		142.27	11.35	0.036	0.166	0.479	2.073	6.165
23		139.85	8.92	0.038	0.151	0.338	0.842	2.293
24		139.53	7.20	0.043	0.155	0.645	1.038	3.012
25	菲律賓海溝	121.23	19.28	0.030	0.127	0.423		
26		123.00	16.80	0.064	0.224	0.418	1.112	3.623
27		122.68	14.81	0.008	0.038	0.170		
28		125.00	12.96	0.061	0.175	0.346		
29		127.00	10.91	0.064	0.115	0.371	1.000	2.772
30		127.00	9.31	0.028	0.111	0.421		
31		127.00	6.90	0.021	0.069	0.151	0.566	2.042
32		125.99	5.12	0.012	0.033	0.083	0.251	1.840

33		126.83	2.92	0.011	0.025	0.091	0.284	0.988
34	琉球海溝	139.07	34.62	0.004	0.015	0.063		
35		133.40	33.13	0.002	0.010	0.029	0.102	0.379
36		131.46	31.03	0.003	0.012	0.056		
37		130.35	28.93	0.008	0.024	0.079		
38		128.52	27.13	0.008	0.031	0.139	0.514	2.394
39		126.61	25.13	0.060	0.159	0.424		
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	0.007	0.034	0.072	0.184	0.582
41		139.77	33.20	0.006	0.022	0.079	0.283	0.857
42		140.44	30.95	0.016	0.034	0.072	0.253	0.789
43		140.92	28.82	0.027	0.081	0.169	0.446	1.766
44		141.10	27.30	0.018	0.073	0.219	0.825	2.983
45		142.11	25.00	0.016	0.060	0.210	0.655	2.568
46		143.33	22.77	0.027	0.085	0.244	0.419	0.973
47		144.00	21.42	0.022	0.074	0.191	0.427	1.288
48		145.88	18.82	0.024	0.070	0.309	0.507	1.411
49		146.28	17.09	0.031	0.132	0.238	0.625	1.432
50	千島海溝と日本海溝	163.74	56.28	0.001	0.002	0.007	0.026	0.117
51		162.75	54.93	0.001	0.005	0.019	0.051	0.520
52		159.48	52.00	0.002	0.009	0.021	0.063	0.235
53		157.25	51.16	0.001	0.003	0.013	0.057	0.213
54		153.90	48.86	0.001	0.002	0.009	0.044	0.118
55		152.67	46.86	0.004	0.013	0.035	0.094	0.285
56		149.14	44.83	0.003	0.010	0.034	0.110	0.324
57		146.08	43.16	0.003	0.009	0.031	0.113	0.381
58		142.49	41.11	0.001	0.004	0.017	0.068	0.306
59		142.88	39.06	0.002	0.006	0.027	0.119	0.387
60		141.76	36.82	0.004	0.016	0.049	0.149	0.543
61		140.15	34.74	0.021	0.053	0.078	0.321	0.805
62	阿留申海溝	164.46	56.20	0.001	0.003	0.009	0.033	0.142
63		165.39	55.03	0.004	0.019	0.037	0.082	0.282
64		174.49	52.68	0.001	0.006	0.018	0.085	0.311
65		177.90	51.00	0.007	0.018	0.051	0.120	0.312
66		-154.41	55.00	0.000	0.002	0.006	0.022	0.083
67		-161.39	54.68	0.000	0.001	0.003	0.012	0.064
68		-167.66	52.91	0.001	0.002	0.010	0.032	0.101

69		-176.10	51.37	0.004	0.007	0.021	0.059	0.132
70		-177.68	49.88	0.005	0.016	0.029	0.061	0.155
71	美國西岸 中美海溝	-141.36	55.00	0.001	0.003	0.009	0.023	0.052
72		-127.41	49.00	0.003	0.007	0.020	0.044	0.094
73		-129.39	50.67	0.001	0.003	0.009	0.026	0.124
74		-124.91	47.00	0.001	0.003	0.012	0.021	0.057
75		-126.00	46.94	0.002	0.006	0.015	0.045	0.142
76		-126.00	44.73	0.002	0.007	0.025	0.060	0.111
77		-126.00	43.01	0.002	0.005	0.017	0.060	0.120
78		-126.00	40.72	0.002	0.005	0.015	0.048	0.146
79		-123.00	36.81	0.001	0.004	0.011	0.035	0.104
80		-117.00	30.87	0.001	0.003	0.008	0.023	0.090
81		-116.00	29.29	0.001	0.005	0.014	0.044	0.099
82		-115.00	27.00	0.001	0.003	0.015	0.039	0.116
83		-109.06	24.96	0.000	0.001	0.004	0.010	0.030
84		-107.33	23.29	0.001	0.002	0.007	0.025	0.082
85		-108.32	20.55	0.002	0.004	0.012	0.030	0.129
86		-105.00	18.72	0.001	0.005	0.020	0.055	0.126
87		-98.00	15.00	0.001	0.003	0.012	0.050	0.128
88		-94.05	14.93	0.001	0.002	0.008	0.026	0.085
89		-89.15	12.95	0.001	0.002	0.006	0.021	0.072
90		-87.12	11.15	0.000	0.002	0.008	0.026	0.059
91		-86.50	8.78	0.001	0.004	0.011	0.034	0.090
92		-83.85	7.16	0.001	0.003	0.006	0.029	0.074
93		-83.90	5.08	0.001	0.003	0.007	0.027	0.106
94	秘魯 智利海溝	-79.00	7.01	0.001	0.002	0.006	0.028	0.117
95		-78.54	4.99	0.002	0.005	0.012	0.052	0.143
96		-80.03	3.02	0.002	0.005	0.015	0.048	0.145
97		-81.36	1.02	0.002	0.007	0.017	0.047	0.127
98		-82.00	-1.20	0.001	0.004	0.015	0.052	0.104
99		-82.00	-3.08	0.002	0.005	0.020	0.060	0.152
100		-82.00	-5.23	0.002	0.004	0.014	0.047	0.107
101		-80.00	-6.95	0.001	0.002	0.008	0.040	0.132
102		-79.00	-9.07	0.001	0.003	0.010	0.043	0.209
103		-78.00	-10.95	0.001	0.004	0.012	0.040	0.137
104		-77.00	-13.14	0.001	0.004	0.015	0.053	0.168

105		-75.76	-15.09	0.001	0.004	0.014	0.050	0.137
106		-73.03	-17.12	0.001	0.005	0.024	0.104	0.316
107		-71.21	-18.95	0.002	0.008	0.038	0.172	0.455
108		-70.76	-20.75	0.002	0.008	0.035	0.140	0.472
109		-70.73	-23.08	0.003	0.008	0.025	0.116	0.446
110		-70.90	-24.92	0.002	0.007	0.034	0.140	0.486
111		-71.31	-27.20	0.002	0.007	0.038	0.170	0.554
112		-71.80	-29.33	0.002	0.011	0.051	0.203	0.646
113		-71.92	-31.21	0.002	0.012	0.053	0.216	0.718
114		-71.98	-32.88	0.002	0.010	0.054	0.207	0.573
115		-72.43	-34.48	0.002	0.009	0.037	0.127	0.538
116		-73.60	-36.89	0.001	0.006	0.021	0.069	0.278
117		-74.34	-38.62	0.001	0.006	0.033	0.149	0.411
118		-83.01	-41.20	0.001	0.005	0.020	0.094	0.387
119		-81.27	-42.97	0.001	0.007	0.026	0.119	0.460
120		-77.75	-45.13	0.001	0.004	0.018	0.052	0.292
121	夏威夷	-155.50	19.16	0.001	0.005	0.019	0.063	0.308
122	馬尼拉	120.75	20.96	0.056	0.206	0.644		
123		120.86	19.27	0.039	0.128	0.340	1.023	3.786
124		120.43	16.89	0.004	0.013	0.025		
125		119.99	15.06	0.005	0.020	0.063	0.163	0.817
126		120.60	13.47	0.001	0.008	0.039		

附註：斜線代表點位附近的斷層長度不足以造成所對應的地震規模。

附錄三 短距離模擬 16 個位置最大水深

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=1600 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.59	1.99	3.34	0.00	1.47	3.24	4.70	0.00	2.87	5.01	6.55
	-2	1.17	1.34	2.30	3.49	0.98	1.99	3.92	4.98	0.93	3.27	5.26	6.35
	-4	1.72	1.83	2.46	3.69	1.44	2.08	4.51	5.20	1.56	4.02	5.53	6.50
	-6	2.14	2.24	2.77	3.81	1.82	2.32	5.03	5.45	2.37	4.59	5.79	6.73
	-8	2.52	2.60	3.09	4.07	2.14	2.51	5.84	5.98	1.73	5.09	6.14	6.93
3	0		0.66	2.07	3.59	0.00	1.43	3.38	4.53	0.00	2.48	4.94	6.96
	-2		1.40	2.28	3.60	1.02	2.21	3.59	4.96	0.95	3.29	5.24	6.89
	-4		1.89	2.52	3.87	1.45	2.12	3.83	5.08	1.39	3.92	5.71	6.96
	-6		2.28	2.87	3.90	1.82	2.37	4.19	5.48	1.50	4.63	6.02	7.40
	-8		2.64	3.17	4.10	2.14	2.60	4.04	6.05	1.73	5.20	6.47	7.83
4	0			2.01	3.90	0.00	1.61	3.14	5.18	0.00	2.46	5.52	7.23
	-2			2.40	3.68	1.11	2.27	3.65	4.79	1.22	3.31	4.74	7.01
	-4			2.67	3.90	1.48	2.29	3.90	4.89	1.56	4.16	5.60	7.57
	-6			2.95	3.93	1.83	2.44	4.58	5.37	2.02	4.70	5.93	7.76
	-8			3.25	4.12	2.14	2.68	4.11	5.77	1.73	5.46	6.40	7.83
5	0				3.62		1.60	3.22	4.45	0.00	2.60	4.93	7.14
	-2				3.72		2.50	3.61	4.88	1.44	3.49	5.08	6.91
	-4				4.06		2.46	3.97	5.20	1.78	4.20	5.72	7.31
	-6				4.10		2.53	4.47	5.65	1.72	4.70	5.97	7.54
	-8				4.24		2.80	4.09	5.95	1.73	5.29	6.46	7.78
6	0						1.68	3.19	4.79	0.00	2.79	4.86	7.96
	-2						2.59	3.65	4.81	1.66	3.53	5.22	7.38
	-4						2.61	4.04	5.09	1.98	4.24	5.68	7.41
	-6						2.71	4.59	5.51	2.63	4.76	6.09	7.33
	-8						2.92	4.85	6.06	1.72	5.24	6.55	7.69

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=1600 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.33	3.46	6.40	7.62	0.41	4.51	7.04	8.96
	-2	0.95	3.88	6.08	7.74	0.87	4.32	6.95	9.30
	-4	1.30	4.51	6.22	7.98	1.03	4.84	7.25	9.54
	-6	1.87	4.99	6.46	8.30	1.31	5.43	7.48	9.87
	-8	1.68	5.45	6.83	8.34	1.56	5.60	7.70	9.90
3	0	0.31	3.79	6.78	9.13	0.44	4.56	7.71	10.07
	-2	0.96	3.64	6.54	8.64	0.88	4.46	7.70	10.01
	-4	1.29	4.57	6.89	8.63	1.03	4.98	7.82	10.20
	-6	2.56	5.06	7.09	9.00	1.91	5.44	8.05	10.48
	-8	3.74	5.62	7.27	9.53	3.08	5.87	8.42	10.59
4	0	0.32	3.71	6.99	8.97	0.47	5.03	8.02	11.78
	-2	1.10	3.93	6.27	8.59	0.89	4.02	7.60	10.53
	-4	1.31	4.55	6.78	9.19	1.03	5.04	7.93	10.74
	-6	2.53	5.21	7.12	9.17	2.52	5.40	8.37	10.96
	-8	3.33	5.70	7.33	9.50	3.68	6.08	8.51	11.05
5	0	0.36	3.60	6.76	9.24	0.45	4.70	8.35	11.42
	-2	1.20	3.97	6.50	8.32	0.91	4.62	7.43	10.12
	-4	1.80	4.60	6.83	8.50	1.03	5.09	7.84	11.05
	-6	2.59	5.04	7.00	9.26	2.19	5.55	8.21	11.36
	-8	3.05	5.69	7.33	10.13	3.42	5.97	8.34	11.62
6	0	0.44	3.58	6.62	9.31	0.51	4.69	8.20	10.99
	-2	1.33	4.16	6.60	8.56	1.01	4.66	7.73	9.92
	-4	1.70	4.36	6.77	8.99	1.03	4.97	8.01	10.71
	-6	2.65	5.20	7.10	9.60	2.30	5.57	7.94	10.95
	-8	3.55	5.70	7.49	10.22	3.63	6.11	8.29	11.40

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=1700 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.48	1.84	3.22	0.00	1.14	2.97	4.65	0.00	2.40	4.71	6.54
	-2	1.16	1.28	2.15	3.39	0.96	1.68	3.59	4.85	0.89	2.90	4.66	6.05
	-4	1.69	1.81	2.37	3.55	1.42	1.90	4.27	5.07	1.33	3.71	5.32	6.29
	-6	2.12	2.22	2.69	3.72	1.78	2.13	5.05	5.32	1.69	4.35	5.49	6.41
	-8	2.51	2.59	3.03	3.97	2.14	2.35	5.60	5.98	1.99	5.09	6.02	6.73
3	0		0.53	1.90	3.44	0.00	1.15	3.09	4.31	0.00	2.06	4.36	6.57
	-2		1.34	2.15	3.55	0.97	1.80	3.43	4.69	0.89	2.92	4.37	6.42
	-4		1.85	2.43	3.70	1.43	1.94	3.60	4.87	1.33	3.53	5.15	6.68
	-6		2.26	2.81	3.84	1.79	2.20	3.90	5.40	1.68	4.40	5.72	7.25
	-8		2.62	3.10	4.03	2.14	2.44	3.76	6.06	1.99	4.98	6.35	7.56
4	0			1.88	3.71	0.00	1.20	2.85	4.99	0.00	2.05	4.23	6.80
	-2			2.27	3.52	1.02	1.91	3.48	4.52	0.90	3.06	4.40	6.71
	-4			2.56	3.76	1.44	2.08	3.70	4.69	1.33	3.93	5.39	6.98
	-6			2.88	3.80	1.82	2.26	4.49	5.26	1.68	4.40	5.78	7.17
	-8			3.19	4.02	2.14	2.51	3.82	5.79	1.99	4.84	6.14	7.55
5	0				3.46		1.29	2.92	4.28	0.00	2.10	4.39	6.80
	-2				3.63		2.15	3.47	4.59	0.98	3.08	4.66	6.72
	-4				3.92		2.26	3.79	5.01	1.36	3.86	5.43	7.13
	-6				3.97		2.37	4.20	5.59	1.68	4.45	5.76	7.16
	-8				4.15		2.63	3.81	5.89	1.99	5.12	6.20	7.39
6	0						1.42	2.88	4.56	0.00	2.42	4.32	7.08
	-2						2.26	3.47	4.60	1.13	3.34	5.02	6.99
	-4						2.30	3.86	4.96	1.52	3.95	5.47	6.99
	-6						2.52	4.39	5.34	1.70	4.56	5.76	7.10
	-8						2.73	4.32	5.82	1.99	5.26	6.20	7.41

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=1700 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	2.97	5.89	7.32	0.17	3.51	6.78	8.48
	-2	0.95	3.41	5.78	7.43	0.99	3.78	6.56	8.91
	-4	1.30	3.72	6.00	7.58	1.05	4.38	6.78	9.12
	-6	1.47	4.44	6.18	7.79	1.34	4.77	7.19	9.38
	-8	1.67	5.22	6.70	7.98	1.58	5.31	7.32	9.45
3	0	0.20	3.26	6.42	8.88	0.19	4.08	7.30	9.74
	-2	0.95	3.38	5.94	8.08	0.99	3.93	7.19	9.58
	-4	1.29	4.14	6.31	8.14	1.05	4.40	7.71	9.70
	-6	1.47	4.75	6.62	8.78	1.34	5.06	7.83	9.95
	-8	1.67	5.42	7.02	8.80	1.58	5.41	8.06	10.20
4	0	0.19	3.15	6.04	8.54	0.20	4.53	7.33	10.88
	-2	0.95	3.31	6.00	8.19	0.97	3.83	7.19	9.95
	-4	1.30	4.21	6.29	8.67	1.05	4.21	7.46	10.02
	-6	1.46	4.64	6.56	8.89	1.34	4.96	7.62	10.27
	-8	1.67	5.45	7.02	9.18	1.58	5.45	7.99	10.62
5	0	0.00	2.94	6.60	8.68	0.20	4.16	7.86	10.91
	-2	0.95	3.53	5.71	7.96	0.98	3.80	6.81	9.84
	-4	1.30	4.30	6.35	8.47	1.05	4.47	7.30	10.11
	-6	1.47	4.86	6.69	8.91	1.34	5.08	7.37	10.88
	-8	1.67	5.28	7.09	9.03	1.58	5.57	7.84	11.77
6	0	0.19	3.05	5.88	8.67	0.19	3.91	7.70	10.62
	-2	0.95	3.65	5.98	8.56	0.97	3.84	6.89	9.51
	-4	1.29	4.05	6.29	8.62	1.05	4.69	7.32	10.11
	-6	1.49	4.81	6.80	9.39	1.34	5.28	7.44	10.76
	-8	2.98	5.39	7.07	9.12	1.58	5.56	7.77	11.38

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=1800 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.36	1.69	3.08	0.00	0.88	2.58	4.25	0.00	1.99	4.33	6.22
	-2	1.24	1.24	1.99	3.27	0.95	1.46	3.49	4.74	0.96	2.25	4.26	5.83
	-4	1.78	1.78	2.30	3.42	1.42	1.72	4.15	5.00	1.37	3.11	4.80	5.96
	-6	2.22	2.20	2.64	3.60	1.78	1.98	4.80	5.36	1.60	4.10	5.23	6.19
	-8	2.62	2.58	2.97	3.83	2.14	2.24	5.61	5.93	1.83	4.91	5.87	6.65
3	0		0.41	1.72	3.27	0.00	0.89	2.75	4.08	0.00	1.56	4.10	6.28
	-2		1.29	2.03	3.43	0.96	1.58	3.39	4.61	0.96	2.55	4.11	6.32
	-4		1.82	2.35	3.57	1.42	1.77	3.34	4.73	1.37	3.06	4.92	6.63
	-6		2.23	2.74	3.73	1.78	2.05	3.47	5.38	1.60	4.27	5.52	6.97
	-8		2.61	3.04	3.96	2.14	2.29	3.54	6.04	1.83	4.93	5.96	7.29
4	0			1.76	3.52	0.00	0.89	2.54	4.83	0.00	1.55	3.80	6.41
	-2			2.15	3.45	0.97	1.64	3.27	4.30	0.96	2.65	4.25	6.56
	-4			2.45	3.62	1.43	1.91	3.48	4.69	1.37	3.23	5.01	6.55
	-6			2.80	3.69	1.78	2.09	4.14	5.24	1.60	4.23	5.55	6.89
	-8			3.12	3.92	2.14	2.35	3.55	5.72	1.83	4.80	6.05	7.33
5	0				3.29		0.99	2.59	3.97	0.00	1.61	3.96	6.54
	-2				3.51		1.82	3.22	4.41	0.96	2.84	4.36	6.29
	-4				3.78		2.05	3.49	4.94	1.38	3.69	4.99	6.66
	-6				3.84		2.21	3.87	5.44	1.60	4.42	5.54	6.89
	-8				4.04		2.46	3.52	5.95	1.83	5.09	5.98	7.21
6	0						1.10	2.55	4.32	0.00	1.86	4.05	6.20
	-2						2.03	3.27	4.38	0.98	2.84	4.51	6.78
	-4						2.14	3.64	4.75	1.39	3.70	5.06	6.67
	-6						2.35	4.07	5.27	1.60	4.43	5.57	6.83
	-8						2.56	3.90	5.91	1.83	4.87	6.00	7.18

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=1800 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	2.40	5.47	7.03	0.00	2.98	6.27	8.07
	-2	0.95	2.90	5.59	7.02	0.95	3.23	6.19	8.48
	-4	1.30	3.61	5.77	7.26	1.13	3.82	6.46	8.67
	-6	1.47	4.27	6.06	7.45	1.41	4.25	6.60	8.85
	-8	1.67	4.80	6.20	7.59	1.66	4.91	6.94	8.89
3	0	0.00	2.29	5.33	8.14	0.91	3.37	6.96	9.46
	-2	0.95	2.92	5.18	7.60	0.97	3.09	6.45	9.16
	-4	1.29	3.71	5.77	7.80	1.13	3.91	6.82	9.29
	-6	1.46	4.42	6.26	8.35	1.41	4.51	6.86	9.50
	-8	1.67	5.05	6.58	8.70	1.65	5.05	7.27	9.65
4	0	0.00	2.56	5.57	8.26	0.78	2.93	6.88	9.86
	-2	0.95	2.92	5.53	7.84	0.94	3.08	6.54	9.24
	-4	1.30	3.69	5.94	8.35	1.13	3.85	6.69	9.53
	-6	1.46	4.57	6.17	8.57	1.41	4.66	7.04	10.10
	-8	1.67	5.11	6.56	8.57	1.65	5.10	7.48	10.43
5	0	0.00	2.26	5.66	8.10	0.80	3.08	7.38	10.44
	-2	0.95	3.01	4.98	7.62	0.95	3.24	6.41	9.67
	-4	1.30	3.77	5.98	7.75	1.13	3.95	6.63	10.14
	-6	1.47	4.57	6.26	8.38	1.41	4.67	6.94	10.57
	-8	1.67	5.16	6.65	8.46	1.65	5.10	7.30	10.97
6	0	0.00	2.60	5.23	8.12	0.00	3.26	7.47	10.09
	-2	0.94	2.96	5.41	7.93	0.96	3.35	5.93	9.20
	-4	1.29	3.84	5.85	8.45	1.13	4.09	6.75	9.95
	-6	1.46	4.44	6.30	8.39	1.41	4.64	7.09	10.36
	-8	1.67	5.05	6.75	8.58	1.66	5.25	7.45	10.85

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=1900 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.24	1.54	2.95	0.00	0.61	2.31	3.95	0.00	1.18	3.53	5.83
	-2	1.14	1.22	1.89	3.15	0.95	1.26	3.21	4.54	0.89	1.77	3.99	5.56
	-4	1.68	1.76	2.23	3.33	1.42	1.57	4.07	4.99	1.33	2.46	4.55	5.78
	-6	2.11	2.19	2.57	3.47	1.78	1.87	4.68	5.25	1.68	3.63	5.12	6.05
	-8	2.50	2.57	2.92	3.80	2.14	2.16	5.49	5.81	1.99	4.50	5.61	6.44
3	0		0.28	1.57	3.12	0.00	0.64	2.37	3.81	0.00	1.04	3.86	5.86
	-2		1.25	1.94	3.29	0.95	1.28	3.21	4.42	0.89	2.17	4.05	6.05
	-4		1.79	2.28	3.43	1.42	1.62	2.94	4.67	1.33	2.30	4.61	6.43
	-6		2.22	2.68	3.58	1.78	1.91	3.14	5.29	1.68	4.26	5.32	6.54
	-8		2.62	2.99	3.85	2.14	2.20	3.37	5.87	1.99	4.82	5.79	7.02
4	0			1.59	3.33	0.00	0.64	2.18	3.59	0.00	1.10	3.50	6.00
	-2			2.05	3.31	0.95	1.37	3.14	4.04	0.89	2.10	3.93	6.00
	-4			2.36	3.47	1.42	1.72	3.10	4.68	1.33	2.70	4.57	6.15
	-6			2.73	3.59	1.78	1.96	3.91	5.20	1.68	4.06	5.20	6.77
	-8			3.06	3.83	2.14	2.24	3.35	5.76	1.99	4.56	5.71	7.16
5	0				3.13		0.71	2.23	3.72	0.00	1.08	3.62	6.34
	-2				3.40		1.55	3.01	4.20	0.89	2.25	4.07	5.92
	-4				3.64		1.90	3.18	4.83	1.33	3.38	4.79	6.31
	-6				3.73		2.05	3.49	5.43	1.68	4.07	5.42	6.61
	-8				3.93		2.31	3.31	5.87	1.99	4.89	5.86	6.95
6	0						0.82	2.21	4.06	0.00	1.14	3.63	5.67
	-2						1.71	3.10	4.16	0.89	2.63	4.10	5.78
	-4						1.94	3.37	4.59	1.33	3.33	4.79	6.39
	-6						2.16	3.75	5.36	1.68	3.97	5.35	6.59
	-8						2.40	3.66	5.85	1.99	4.82	5.82	7.11

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=1900 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	1.57	4.75	6.86	0.00	1.95	5.75	7.69
	-2	0.95	2.34	4.67	6.72	0.99	2.50	5.85	7.95
	-4	1.30	2.83	5.07	6.89	1.05	3.12	6.09	8.13
	-6	1.46	3.74	5.56	7.36	1.34	3.79	6.40	8.39
	-8	1.67	4.66	6.04	7.37	1.58	4.60	6.43	8.50
3	0	0.00	1.71	4.89	7.59	0.00	2.51	5.78	9.29
	-2	0.95	2.25	4.73	7.22	0.99	2.60	5.46	8.56
	-4	1.29	3.18	5.46	7.45	1.05	3.21	5.92	8.84
	-6	1.46	4.16	5.77	7.98	1.34	4.07	6.56	9.18
	-8	1.67	4.72	6.25	8.16	1.58	4.53	6.83	9.23
4	0	0.00	1.80	5.20	7.72	0.00	2.23	6.44	9.40
	-2	0.95	2.59	4.52	7.43	0.97	2.44	5.38	8.80
	-4	1.29	3.36	5.21	7.94	1.05	3.14	6.20	9.30
	-6	1.46	4.05	5.81	7.90	1.34	4.04	6.72	9.44
	-8	1.67	4.84	6.32	8.07	1.58	4.89	6.99	9.81
5	0	0.00	1.59	5.19	7.50	0.00	2.45	6.96	9.43
	-2	0.95	2.43	4.89	7.49	0.98	2.62	5.64	8.93
	-4	1.30	3.07	5.45	7.58	1.05	3.24	6.06	9.88
	-6	1.47	4.06	6.05	7.98	1.34	4.21	6.43	9.38
	-8	1.67	4.93	6.34	8.01	1.58	4.91	6.93	10.18
6	0	0.00	1.81	4.77	7.73	0.00	2.54	6.60	9.40
	-2	0.94	2.55	5.08	7.83	0.97	2.79	5.15	8.90
	-4	1.29	3.10	5.53	7.95	1.05	3.53	6.04	9.00
	-6	1.46	4.08	6.03	8.08	1.34	4.16	6.42	9.53
	-8	1.67	4.81	6.29	8.26	1.58	4.77	6.77	9.55

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2000 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.12	1.40	2.81	0.00	0.34	1.90	3.67	0.00	0.71	3.13	5.46
	-2	1.24	1.19	1.80	3.02	0.95	1.08	3.01	4.17	0.96	1.21	3.56	5.28
	-4	1.78	1.75	2.15	3.26	1.42	1.47	3.78	4.81	1.37	1.88	4.31	5.51
	-6	2.22	2.17	2.52	3.35	1.78	1.82	4.66	5.17	1.60	3.05	4.80	5.87
	-8	2.62	2.55	2.88	3.68	2.13	2.14	5.25	5.73	1.83	4.23	5.56	6.42
3	0		0.15	1.41	2.95	0.00	0.35	1.97	3.54	0.00	0.61	3.44	5.50
	-2		1.22	1.84	3.17	0.95	1.09	2.86	4.21	0.96	1.43	3.53	5.60
	-4		1.77	2.21	3.31	1.42	1.49	2.60	4.62	1.37	1.95	4.34	6.03
	-6		2.20	2.60	3.48	1.78	1.84	2.92	5.18	1.60	3.33	4.90	6.29
	-8		2.58	2.94	3.71	2.13	2.14	3.13	5.78	1.83	4.17	5.57	6.78
4	0			1.46	3.12	0.00	0.38	1.82	3.30	0.00	0.62	3.15	5.62
	-2			1.95	3.21	0.95	1.21	3.13	3.84	0.95	1.50	3.74	5.59
	-4			2.29	3.33	1.42	1.57	2.74	4.63	1.37	2.16	4.46	6.02
	-6			2.67	3.48	1.78	1.87	3.44	5.19	1.60	3.54	4.94	6.44
	-8			3.00	3.74	2.14	2.15	3.19	5.68	1.83	4.30	5.70	6.78
5	0				2.96		0.45	1.85	3.45	0.00	0.66	3.29	5.85
	-2				3.30		1.31	2.81	3.97	0.95	1.69	3.82	5.62
	-4				3.49		1.71	2.87	4.80	1.37	2.54	4.49	5.99
	-6				3.63		1.92	3.07	5.26	1.60	3.72	4.87	6.42
	-8				3.83		2.22	3.16	5.92	1.83	4.51	5.60	6.81
6	0						0.54	1.93	3.78	0.00	0.69	3.23	5.26
	-2						1.41	2.84	3.92	0.95	2.16	3.73	5.09
	-4						1.76	3.01	4.47	1.37	2.54	4.55	5.98
	-6						2.02	3.33	5.20	1.61	3.82	5.03	6.33
	-8						2.27	3.49	5.91	1.83	4.59	5.67	6.73

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2000 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.96	3.96	6.54	0.00	1.18	5.00	7.26
	-2	0.94	1.42	4.20	6.37	0.95	1.82	4.82	7.42
	-4	1.29	2.07	4.77	6.58	1.12	2.34	5.31	7.71
	-6	1.46	2.88	5.35	6.90	1.42	2.63	5.70	7.70
	-8	1.67	4.37	5.75	7.07	1.65	4.11	6.23	8.12
3	0	0.00	1.08	4.51	7.27	0.00	1.43	5.33	8.53
	-2	0.95	1.41	4.42	6.96	0.96	1.88	4.91	7.97
	-4	1.29	2.12	5.15	7.31	1.12	2.31	5.62	8.24
	-6	1.46	3.42	5.44	7.72	1.41	3.28	5.89	8.79
	-8	1.67	4.64	5.92	7.62	1.65	4.40	6.34	8.71
4	0	0.00	1.12	4.62	7.34	0.00	1.26	5.94	9.04
	-2	0.95	1.89	4.18	7.19	0.95	1.63	4.85	8.48
	-4	1.29	2.36	4.95	7.23	1.12	1.99	5.81	8.52
	-6	1.46	3.65	5.53	7.42	1.42	3.39	5.95	8.93
	-8	1.67	4.53	5.99	7.80	1.65	4.51	6.62	9.18
5	0	0.00	0.96	4.79	7.07	0.00	1.52	5.63	8.72
	-2	0.95	1.85	4.48	6.79	0.95	2.04	4.99	8.99
	-4	1.29	2.25	4.99	7.01	1.12	2.32	5.39	8.93
	-6	1.47	3.81	5.56	7.36	1.41	3.40	5.94	8.82
	-8	1.67	4.63	5.98	7.70	1.65	4.29	6.52	9.11
6	0	0.00	1.04	4.45	7.49	0.00	1.61	6.12	9.01
	-2	0.95	1.84	4.46	6.92	0.94	2.05	4.82	8.60
	-4	1.29	2.21	5.00	7.11	1.12	2.65	5.59	8.48
	-6	1.46	3.20	5.45	7.50	1.41	3.52	5.98	8.68
	-8	1.67	4.80	6.19	7.77	1.65	4.47	6.50	8.85

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2100 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	1.26	2.68	0.00	0.00	1.56	3.38	0.00	0.26	2.70	5.08
	-2	1.13	1.17	1.71	2.90	0.95	1.01	2.79	3.85	0.89	0.91	3.26	5.14
	-4	1.67	1.72	2.09	3.14	1.42	1.44	3.83	4.51	1.33	1.51	4.06	5.52
	-6	2.11	2.15	2.47	3.27	1.78	1.82	4.58	5.03	1.68	2.38	4.72	5.77
	-8	2.50	2.53	2.84	3.58	2.14	2.13	5.20	5.68	1.99	3.59	5.37	6.14
3	0		0.00	1.27	2.79	0.00	0.00	1.54	3.24	0.00	0.23	2.91	5.16
	-2		1.20	1.75	3.05	0.95	1.02	2.65	3.99	0.89	1.01	3.24	5.37
	-4		1.75	2.14	3.21	1.42	1.44	2.41	4.55	1.33	1.67	4.08	5.59
	-6		2.18	2.55	3.40	1.78	1.82	2.75	5.15	1.68	2.93	4.71	6.00
	-8		2.57	2.89	3.66	2.13	2.13	2.89	5.79	1.99	3.52	5.46	6.50
4	0			1.33	2.93	0.00	0.00	1.50	3.00	0.00	0.28	2.80	5.20
	-2			1.86	3.11	0.95	1.06	2.87	3.74	0.89	1.05	3.27	4.86
	-4			2.22	3.20	1.42	1.47	2.48	4.44	1.33	1.78	4.13	5.56
	-6			2.61	3.37	1.78	1.82	3.35	5.15	1.68	2.81	4.82	6.08
	-8			2.95	3.67	2.14	2.14	2.99	5.72	1.99	3.70	5.48	6.53
5	0				2.79		0.28	1.55	3.15	0.00	0.27	2.59	4.83
	-2				3.19		1.13	2.52	3.80	0.89	1.12	3.28	5.20
	-4				3.39		1.55	2.60	4.69	1.33	1.97	4.16	5.71
	-6				3.52		1.85	2.79	5.18	1.68	3.26	4.89	6.21
	-8				3.76		2.14	3.01	5.87	1.99	4.34	5.57	6.55
6	0						0.29	1.65	3.49	0.00	0.33	2.80	4.91
	-2						1.24	2.57	3.73	0.89	1.48	3.48	4.78
	-4						1.62	2.67	4.40	1.33	1.96	4.16	5.83
	-6						1.89	3.01	5.05	1.68	3.60	4.83	6.16
	-8						2.17	3.37	5.71	1.99	4.31	5.45	6.59

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2100 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.33	3.54	6.38	0.00	0.42	4.07	7.02
	-2	0.94	0.94	3.90	6.06	0.99	0.97	4.26	7.00
	-4	1.29	1.30	4.44	6.23	1.05	1.05	4.89	7.34
	-6	1.46	2.17	5.01	6.73	1.34	1.34	5.42	7.42
	-8	1.67	3.59	5.42	6.93	1.58	3.21	5.72	8.09
3	0	0.00	0.46	4.07	6.80	0.00	0.52	4.94	8.20
	-2	0.95	0.96	3.79	6.65	0.98	0.98	4.60	7.54
	-4	1.29	1.39	4.68	6.87	1.05	1.05	4.58	8.10
	-6	1.45	2.67	5.11	6.98	1.34	1.36	5.52	8.12
	-8	1.67	3.97	5.55	7.14	1.58	3.46	6.11	8.35
4	0	0.00	0.48	4.07	6.96	0.00	0.62	4.77	8.47
	-2	0.95	1.03	3.86	6.65	0.98	0.98	4.53	7.71
	-4	1.29	1.57	4.28	6.75	1.05	1.05	4.87	8.13
	-6	1.45	2.51	5.20	7.14	1.34	2.51	5.63	8.22
	-8	1.67	4.26	5.65	7.41	1.58	3.72	6.05	8.40
5	0	0.00	0.48	4.22	6.63	0.00	0.60	5.07	8.21
	-2	0.95	0.99	3.90	6.39	0.98	0.98	4.33	7.60
	-4	1.29	1.49	4.55	6.54	1.05	1.05	4.77	8.09
	-6	1.46	2.74	5.08	6.99	1.34	2.83	5.45	8.27
	-8	1.67	4.18	5.87	7.27	1.58	3.28	6.04	8.34
6	0	0.00	0.51	3.71	7.35	0.00	0.60	5.01	8.30
	-2	0.94	1.04	4.00	6.58	0.97	0.97	4.28	7.57
	-4	1.29	1.54	4.72	6.77	1.05	1.06	4.88	7.69
	-6	1.45	2.50	5.23	7.21	1.34	1.56	5.29	8.00
	-8	1.67	4.13	5.75	7.39	1.58	4.10	5.94	8.14

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2200 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	1.11	2.53	0.00	0.00	1.23	3.07	0.00	0.00	2.30	4.42
	-2	1.23	1.26	1.63	2.78	0.95	0.96	2.30	3.77	0.96	0.96	2.94	4.91
	-4	1.78	1.82	2.03	3.04	1.42	1.43	3.35	4.44	1.38	1.39	3.55	5.22
	-6	2.22	2.25	2.42	3.21	1.78	1.78	4.44	5.03	1.60	2.06	4.42	5.61
	-8	2.62	2.63	2.80	3.52	2.13	2.14	5.37	5.68	1.83	3.19	5.11	5.95
3	0		0.00	1.12	2.62	0.00	0.00	1.18	2.91	0.00	0.19	2.22	4.82
	-2		1.27	1.66	2.89	0.95	0.97	2.30	3.66	0.96	0.96	2.90	4.70
	-4		1.84	2.08	3.08	1.42	1.43	2.11	4.39	1.38	1.42	3.68	5.27
	-6		2.27	2.50	3.34	1.78	1.78	2.56	5.01	1.60	2.75	4.52	5.88
	-8		2.66	2.84	3.56	2.13	2.14	2.64	5.53	1.83	3.42	5.23	6.42
4	0			1.21	2.73	0.00	0.00	1.18	2.72	0.00	0.18	2.21	4.90
	-2			1.76	2.96	0.95	0.99	2.68	3.61	0.96	0.96	2.95	4.62
	-4			2.16	3.10	1.42	1.43	2.22	4.27	1.38	1.43	3.83	5.48
	-6			2.55	3.25	1.78	1.79	2.90	4.98	1.60	2.40	4.54	5.91
	-8			2.90	3.56	2.13	2.14	2.81	5.45	1.83	3.15	5.29	6.44
5	0				2.62		0.15	1.25	2.83	0.00	0.19	2.17	4.25
	-2				3.09		1.04	2.19	3.76	0.96	0.98	2.99	4.94
	-4				3.27		1.47	2.26	4.48	1.38	1.69	3.96	5.34
	-6				3.41		1.82	2.61	5.21	1.60	2.88	4.59	5.97
	-8				3.67		2.14	2.84	5.65	1.83	3.89	5.28	6.24
6	0						0.19	1.34	3.17	0.00	0.19	2.10	4.62
	-2						1.09	2.25	3.52	0.95	1.07	3.07	4.55
	-4						1.50	2.46	4.32	1.38	1.62	4.04	5.36
	-6						1.83	2.75	5.12	1.60	2.74	4.62	5.82
	-8						2.14	3.18	5.75	1.83	4.00	5.35	6.30

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2200 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.10	3.08	5.87	0.00	0.15	3.65	6.76
	-2	0.94	0.93	3.28	5.84	0.94	0.95	3.84	6.54
	-4	1.29	1.29	4.06	6.05	1.13	1.13	4.34	6.76
	-6	1.45	1.45	4.55	6.30	1.41	1.41	4.89	7.29
	-8	1.67	2.75	5.11	6.60	1.66	1.66	5.27	7.39
3	0	0.00	0.19	3.60	5.95	0.00	0.19	3.83	7.18
	-2	0.95	0.94	3.26	5.95	0.95	0.94	3.49	7.35
	-4	1.29	1.29	4.15	6.16	1.13	1.13	4.14	7.62
	-6	1.45	1.47	4.70	6.73	1.41	1.41	4.94	7.48
	-8	1.67	2.86	5.19	6.99	1.66	1.65	5.51	7.66
4	0	0.00	0.11	3.58	6.61	0.00	0.27	4.28	7.38
	-2	0.95	0.94	3.09	5.94	0.95	0.95	3.55	7.16
	-4	1.29	1.29	4.06	6.34	1.13	1.13	4.64	7.35
	-6	1.45	2.03	4.78	6.63	1.41	1.41	5.16	7.41
	-8	1.67	3.39	5.41	7.01	1.65	1.65	5.51	8.00
5	0	0.00	0.19	3.62	6.23	0.00	0.39	4.47	7.76
	-2	0.94	0.94	3.41	5.76	0.94	0.93	3.88	7.02
	-4	1.29	1.29	4.18	6.15	1.13	1.13	4.55	7.60
	-6	1.46	1.81	4.87	6.57	1.41	1.65	4.98	7.53
	-8	1.67	3.84	5.36	7.06	1.66	1.66	5.43	7.84
6	0	0.00	0.11	3.20	6.22	0.00	0.27	4.59	7.81
	-2	0.94	0.94	3.63	5.83	0.95	0.94	3.49	6.80
	-4	1.29	1.29	4.12	6.21	1.13	1.13	4.31	6.98
	-6	1.45	1.45	4.87	6.75	1.41	1.41	4.92	7.40
	-8	1.67	3.98	5.57	6.99	1.66	2.90	5.49	7.68

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2300 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	0.99	2.40	0.00	0.00	0.96	2.74	0.00	0.00	1.78	3.99
	-2	1.13	1.15	1.55	2.66	0.95	0.95	1.85	3.37	0.89	0.89	2.60	4.28
	-4	1.67	1.70	1.98	2.90	1.42	1.42	3.04	4.19	1.33	1.33	3.06	4.80
	-6	2.11	2.13	2.38	3.09	1.78	1.78	4.45	4.81	1.68	1.68	4.25	5.21
	-8	2.50	2.52	2.75	3.43	2.13	2.13	5.10	5.53	1.99	2.26	4.99	5.82
3	0		0.00	1.00	2.47	0.00	0.00	0.91	2.55	0.00	0.00	1.77	4.55
	-2		1.16	1.57	2.75	0.95	0.96	1.95	3.73	0.89	0.89	2.34	4.44
	-4		1.72	2.03	2.98	1.42	1.42	1.90	4.16	1.33	1.33	3.47	5.05
	-6		2.15	2.45	3.24	1.78	1.78	2.33	4.89	1.68	1.88	4.41	5.72
	-8		2.54	2.82	3.50	2.13	2.13	2.44	5.60	2.00	2.57	5.00	6.11
4	0			1.09	2.56	0.00	0.00	0.92	2.41	0.00	0.00	1.79	4.29
	-2			1.66	2.84	0.95	0.96	2.58	3.57	0.89	0.89	2.45	4.36
	-4			2.09	2.99	1.42	1.42	1.97	4.10	1.33	1.33	3.44	5.09
	-6			2.50	3.18	1.78	1.78	2.61	4.79	1.68	1.75	4.49	5.58
	-8			2.85	3.48	2.13	2.13	2.60	5.53	2.00	2.66	5.00	6.16
5	0				2.47		0.08	0.98	2.51	0.00	0.12	1.60	3.91
	-2				2.96		0.98	1.83	3.60	0.89	0.89	2.70	4.60
	-4				3.16		1.43	2.08	4.29	1.33	1.33	3.72	5.25
	-6				3.31		1.78	2.44	4.93	1.68	2.41	4.19	5.80
	-8				3.58		2.13	2.62	5.64	2.00	3.74	5.13	6.05
6	0						0.12	1.01	2.80	0.00	0.00	1.62	4.38
	-2						1.01	1.86	3.32	0.89	0.89	2.69	4.40
	-4						1.45	2.19	4.34	1.33	1.33	3.89	5.06
	-6						1.80	2.59	4.90	1.68	1.94	4.47	5.58
	-8						2.14	2.97	5.75	2.00	2.91	5.21	6.17

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2300 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.00	2.61	5.30	0.00	0.00	2.74	6.40
	-2	0.93	0.94	2.81	5.62	0.98	0.98	2.96	6.14
	-4	1.29	1.29	3.56	5.78	1.05	1.05	3.80	6.41
	-6	1.45	1.45	4.35	6.07	1.34	1.34	4.47	6.90
	-8	1.67	1.67	4.79	6.38	1.58	1.58	4.99	6.86
3	0	0.00	0.19	2.53	5.54	0.00	0.00	3.32	6.83
	-2	0.95	0.94	2.88	5.17	0.98	0.97	3.15	6.42
	-4	1.29	1.29	3.73	5.78	1.05	1.05	3.75	6.40
	-6	1.45	1.45	4.39	6.31	1.34	1.34	4.69	6.95
	-8	1.67	1.67	5.09	6.59	1.58	1.58	5.12	7.24
4	0	0.00	0.00	2.91	6.22	0.00	0.00	3.63	6.96
	-2	0.94	0.94	2.81	5.22	0.98	0.98	3.14	5.86
	-4	1.29	1.29	3.77	5.86	1.05	1.05	3.88	6.71
	-6	1.45	1.45	4.41	6.24	1.34	1.34	4.59	7.02
	-8	1.67	2.59	5.10	6.63	1.58	1.58	5.18	7.54
5	0	0.00	0.17	2.95	5.73	0.00	0.00	3.27	7.35
	-2	0.94	0.94	2.88	5.35	0.96	0.96	3.08	6.20
	-4	1.29	1.29	3.94	5.64	1.05	1.05	3.80	6.58
	-6	1.45	1.45	4.40	6.19	1.34	1.34	4.42	7.11
	-8	1.67	2.53	5.19	6.65	1.58	1.58	5.27	7.42
6	0	0.00	0.00	2.50	5.76	0.00	0.00	3.57	7.33
	-2	0.95	0.94	3.11	5.39	0.97	0.97	3.12	6.01
	-4	1.29	1.29	3.83	5.89	1.05	1.05	3.77	6.47
	-6	1.45	1.45	4.63	6.33	1.34	1.34	4.44	7.00
	-8	1.67	2.94	5.17	6.77	1.58	1.58	5.25	7.37

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2400 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	0.87	2.25	0.00	0.00	0.69	2.37	0.00	0.00	1.27	3.74
	-2	1.23	1.24	1.48	2.52	0.95	0.95	1.62	3.40	0.96	0.96	2.05	3.89
	-4	1.78	1.81	1.94	2.76	1.42	1.42	2.44	3.93	1.38	1.38	2.33	4.67
	-6	2.22	2.23	2.34	3.01	1.78	1.78	4.24	4.79	1.60	1.60	4.10	5.05
	-8	2.62	2.62	2.73	3.36	2.13	2.13	5.17	5.48	1.83	1.83	4.84	5.53
3	0		0.00	0.88	2.30	0.00	0.00	0.63	2.18	0.00	0.00	1.32	4.15
	-2		1.25	1.50	2.65	0.95	0.95	1.54	3.31	0.96	0.96	1.87	4.04
	-4		1.82	1.97	2.91	1.42	1.42	1.75	4.13	1.38	1.38	2.81	4.70
	-6		2.25	2.40	3.11	1.78	1.78	2.15	4.75	1.60	1.60	4.51	5.22
	-8		2.64	2.77	3.40	2.13	2.13	2.27	5.52	1.83	1.83	4.87	6.01
4	0			0.95	2.37	0.00	0.00	0.65	2.09	0.00	0.00	1.17	3.87
	-2			1.57	2.71	0.95	0.95	2.09	3.22	0.96	0.96	2.00	4.07
	-4			2.03	2.87	1.42	1.42	1.79	4.09	1.38	1.38	2.86	4.71
	-6			2.45	3.10	1.78	1.78	2.38	4.79	1.60	1.60	4.08	5.43
	-8			2.81	3.40	2.13	2.13	2.38	5.50	1.83	1.83	4.97	5.92
5	0				2.30		0.00	0.72	2.15	0.00	0.00	1.15	3.54
	-2				2.86		0.96	1.53	3.38	0.96	0.96	2.30	4.25
	-4				3.05		1.42	1.88	4.10	1.38	1.38	3.19	4.76
	-6				3.21		1.78	2.29	4.80	1.60	1.68	4.24	5.30
	-8				3.49		2.13	2.43	5.61	1.83	2.96	5.05	5.89
6	0						0.00	0.74	2.40	0.00	0.00	1.11	3.54
	-2						0.97	1.58	3.10	0.96	0.96	2.25	4.22
	-4						1.42	1.94	4.12	1.38	1.38	3.30	4.79
	-6						1.78	2.44	4.86	1.60	1.61	4.23	5.39
	-8						2.13	2.75	5.60	1.83	2.31	4.99	6.07

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2400 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.00	2.01	4.76	0.00	0.00	2.18	5.82
	-2	0.93	0.94	2.33	4.65	0.94	0.95	2.37	5.98
	-4	1.29	1.29	2.86	4.98	1.13	1.13	2.99	6.06
	-6	1.45	1.44	3.94	5.46	1.41	1.41	4.03	6.29
	-8	1.67	1.67	4.72	6.09	1.66	1.66	4.57	6.61
3	0	0.00	0.00	1.85	5.14	0.00	0.00	2.16	5.78
	-2	0.94	0.94	2.33	4.82	0.94	0.94	2.50	5.30
	-4	1.29	1.29	3.22	5.31	1.13	1.13	3.26	6.02
	-6	1.44	1.44	4.16	5.85	1.41	1.41	4.12	6.36
	-8	1.67	1.67	4.85	6.11	1.66	1.65	4.74	6.79
4	0	0.00	0.00	2.17	5.14	0.00	0.00	2.43	6.63
	-2	0.94	0.94	2.39	4.87	0.93	0.94	2.66	5.49
	-4	1.29	1.29	3.08	5.46	1.13	1.13	3.40	6.17
	-6	1.44	1.44	4.26	5.79	1.41	1.41	4.17	6.64
	-8	1.67	1.67	4.87	6.32	1.66	1.65	4.78	6.86
5	0	0.00	0.00	2.11	5.25	0.00	0.00	2.56	6.28
	-2	0.94	0.94	2.46	4.79	0.93	0.93	2.52	5.63
	-4	1.29	1.29	3.34	5.36	1.13	1.13	3.08	6.00
	-6	1.45	1.44	4.22	5.83	1.41	1.41	4.09	6.61
	-8	1.67	1.67	4.94	6.32	1.66	1.65	4.76	7.00
6	0	0.00	0.00	1.79	5.30	0.00	0.00	2.84	6.84
	-2	0.94	0.94	2.48	4.91	0.94	0.93	2.54	5.40
	-4	1.29	1.29	3.30	5.36	1.13	1.13	3.13	5.81
	-6	1.44	1.44	4.36	5.94	1.41	1.41	4.02	6.37
	-8	1.67	1.67	4.90	6.36	1.66	1.66	4.69	6.67

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2500 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	0.74	2.11	0.00	0.00	0.46	2.08	0.00	0.00	0.71	3.36
	-2	1.13	1.14	1.41	2.40	0.95	0.95	1.35	3.06	0.89	0.89	1.39	3.61
	-4	1.67	1.70	1.89	2.62	1.42	1.42	2.23	3.93	1.33	1.33	1.89	4.34
	-6	2.12	2.13	2.30	2.95	1.78	1.78	4.19	4.69	1.68	1.68	3.71	4.93
	-8	2.51	2.51	2.69	3.28	2.13	2.13	4.88	5.32	1.99	1.99	4.71	5.48
3	0		0.00	0.76	2.15	0.00	0.00	0.38	1.81	0.00	0.00	0.73	3.72
	-2		1.14	1.43	2.53	0.95	0.95	1.29	3.06	0.89	0.89	1.32	3.70
	-4		1.70	1.93	2.82	1.42	1.42	1.60	3.95	1.33	1.33	2.19	4.39
	-6		2.14	2.36	3.06	1.78	1.78	1.96	4.75	1.68	1.68	4.06	5.18
	-8		2.53	2.73	3.33	2.13	2.13	2.17	5.35	1.99	2.02	4.69	5.64
4	0			0.82	2.20	0.00	0.00	0.40	1.77	0.00	0.00	0.73	3.49
	-2			1.50	2.60	0.95	0.95	1.61	3.00	0.89	0.89	1.42	3.56
	-4			1.98	2.75	1.42	1.42	1.64	3.98	1.33	1.33	2.21	4.40
	-6			2.41	3.02	1.78	1.78	2.18	4.64	1.68	1.68	3.86	5.08
	-8			2.77	3.33	2.13	2.13	2.24	5.37	2.00	2.00	4.82	5.76
5	0				2.15		0.00	0.45	1.80	0.00	0.00	0.72	3.18
	-2				2.74		0.95	1.31	3.12	0.89	0.89	1.52	3.67
	-4				2.94		1.42	1.71	4.03	1.33	1.33	2.52	4.45
	-6				3.12		1.78	2.13	4.79	1.68	1.68	4.03	5.02
	-8				3.42		2.13	2.26	5.21	2.00	2.00	4.84	5.98
6	0						0.00	0.54	1.97	0.00	0.00	0.72	3.18
	-2						0.95	1.33	3.00	0.89	0.89	1.84	3.77
	-4						1.42	1.74	3.90	1.33	1.33	2.63	4.59
	-6						1.78	2.27	4.79	1.68	1.68	4.09	5.16
	-8						2.13	2.50	5.50	2.00	2.00	5.03	5.77

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2500 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.00	1.13	3.96	0.00	0.00	1.13	4.93
	-2	0.94	0.94	1.45	4.28	0.98	0.97	1.46	4.95
	-4	1.29	1.29	2.05	4.83	1.05	1.05	1.83	5.28
	-6	1.44	1.44	3.39	5.31	1.34	1.34	2.74	5.63
	-8	1.67	1.67	4.53	5.82	1.58	1.58	4.40	6.09
3	0	0.00	0.00	1.16	4.77	0.00	0.00	1.39	5.36
	-2	0.94	0.94	1.39	4.45	0.98	0.97	1.94	4.93
	-4	1.29	1.29	2.37	5.01	1.05	1.05	2.10	5.59
	-6	1.44	1.44	3.94	5.43	1.34	1.34	3.10	5.90
	-8	1.67	1.67	4.44	6.00	1.58	1.58	4.39	6.34
4	0	0.00	0.00	1.06	4.68	0.00	0.00	1.55	5.40
	-2	0.94	0.94	1.71	4.32	0.96	0.97	1.97	5.15
	-4	1.29	1.29	2.05	4.77	1.05	1.05	2.38	5.56
	-6	1.44	1.44	3.91	5.56	1.34	1.34	3.52	5.99
	-8	1.67	1.67	4.48	6.02	1.58	1.58	4.54	6.40
5	0	0.00	0.00	1.27	4.75	0.00	0.00	1.76	5.83
	-2	0.94	0.94	1.81	4.17	0.96	0.96	1.35	5.02
	-4	1.29	1.29	2.77	4.87	1.05	1.05	1.98	5.61
	-6	1.44	1.44	3.77	5.49	1.34	1.34	2.93	6.08
	-8	1.67	1.67	4.65	6.13	1.58	1.58	4.37	6.44
6	0	0.00	0.00	1.13	4.78	0.00	0.00	1.87	6.34
	-2	0.94	0.94	1.92	4.09	0.97	0.97	1.58	4.84
	-4	1.29	1.29	2.47	4.85	1.05	1.05	2.14	5.20
	-6	1.44	1.44	3.86	5.69	1.34	1.34	2.88	5.82
	-8	1.67	1.67	4.64	6.00	1.58	1.58	4.23	6.37

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2600 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	0.62	1.96	0.00	0.00	0.00	1.77	0.00	0.00	0.31	3.06
	-2	1.23	1.24	1.35	2.27	0.95	0.95	1.18	2.84	0.96	0.96	1.00	3.30
	-4	1.78	1.80	1.85	2.56	1.42	1.42	1.94	3.61	1.38	1.38	1.51	3.93
	-6	2.22	2.23	2.28	2.87	1.78	1.78	3.76	4.52	1.60	1.60	2.90	4.67
	-8	2.62	2.62	2.67	3.22	2.13	2.13	4.36	5.43	1.83	1.83	4.32	5.26
3	0		0.00	0.63	1.99	0.00	0.00	0.00	1.48	0.00	0.00	0.42	3.27
	-2		1.24	1.36	2.37	0.95	0.95	1.12	2.82	0.96	0.96	0.95	3.35
	-4		1.82	1.89	2.70	1.42	1.42	1.49	3.78	1.38	1.38	1.69	4.19
	-6		2.24	2.33	2.95	1.78	1.78	1.86	4.54	1.60	1.60	2.98	4.86
	-8		2.63	2.72	3.28	2.13	2.13	2.13	5.37	1.83	1.83	4.54	5.51
4	0			0.71	2.02	0.00	0.00	0.14	1.51	0.00	0.00	0.38	2.86
	-2			1.43	2.46	0.95	0.95	1.27	2.79	0.96	0.96	0.96	3.15
	-4			1.93	2.64	1.42	1.42	1.51	3.62	1.38	1.38	1.80	4.16
	-6			2.36	2.93	1.78	1.78	2.03	4.39	1.60	1.60	3.07	4.97
	-8			2.74	3.26	2.13	2.13	2.14	5.21	1.83	1.83	4.55	5.54
5	0				1.99		0.00	0.26	1.54	0.00	0.00	0.40	2.88
	-2				2.61		0.95	1.13	2.74	0.96	0.96	1.14	3.38
	-4				2.83		1.42	1.57	3.96	1.38	1.38	1.92	4.31
	-6				3.05		1.78	1.97	4.70	1.60	1.60	3.35	4.95
	-8				3.32		2.13	2.14	5.29	1.83	1.83	4.83	5.51
6	0						0.00	0.28	1.55	0.00	0.00	0.44	2.75
	-2						0.95	1.17	2.88	0.96	0.96	1.13	3.32
	-4						1.42	1.61	3.77	1.38	1.38	2.23	4.16
	-6						1.78	2.09	4.59	1.60	1.60	3.54	4.82
	-8						2.13	2.29	5.28	1.83	1.83	4.83	5.63

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2600 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.00	0.38	3.57	0.00	0.00	0.46	4.08
	-2	0.94	0.94	0.95	3.95	0.93	0.93	0.82	4.36
	-4	1.29	1.29	1.29	4.46	1.13	1.13	1.03	5.07
	-6	1.44	1.44	2.43	4.97	1.41	1.41	1.31	5.28
	-8	1.67	1.67	4.35	5.50	1.66	1.65	3.40	5.74
3	0	0.00	0.00	0.50	3.83	0.00	0.00	0.61	4.95
	-2	0.94	0.94	0.95	3.83	0.92	0.93	0.80	4.63
	-4	1.29	1.29	1.48	4.58	1.13	1.13	1.03	4.68
	-6	1.44	1.44	2.68	5.12	1.41	1.41	2.10	5.47
	-8	1.67	1.67	4.15	5.61	1.66	1.66	3.28	5.85
4	0	0.00	0.00	0.56	4.15	0.00	0.00	0.78	4.95
	-2	0.94	0.94	0.95	3.68	0.94	0.94	0.82	4.42
	-4	1.29	1.29	1.44	4.45	1.13	1.13	1.03	4.92
	-6	1.44	1.44	2.70	5.11	1.41	1.41	2.26	5.55
	-8	1.67	1.67	4.38	5.83	1.66	1.66	4.03	6.03
5	0	0.00	0.00	0.57	4.21	0.00	0.00	0.77	5.09
	-2	0.94	0.94	0.97	3.64	0.93	0.92	0.81	4.27
	-4	1.29	1.29	1.77	4.41	1.13	1.13	1.03	4.92
	-6	1.44	1.44	2.62	5.10	1.41	1.41	1.33	5.67
	-8	1.67	1.67	4.44	5.77	1.65	1.65	3.50	6.16
6	0	0.00	0.00	0.57	4.23	0.00	0.00	0.79	5.82
	-2	0.94	0.94	1.06	3.65	0.93	0.92	0.82	3.98
	-4	1.29	1.29	1.63	4.51	1.13	1.13	1.05	4.88
	-6	1.44	1.44	2.98	5.11	1.41	1.41	1.31	5.20
	-8	1.67	1.67	4.63	5.69	1.66	1.66	3.27	5.76

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2700 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	0.50	1.81	0.00	0.00	0.00	1.38	0.00	0.00	0.10	2.27
	-2	1.13	1.13	1.29	2.13	0.95	0.95	1.04	2.55	0.89	0.89	0.89	2.81
	-4	1.68	1.69	1.83	2.47	1.42	1.42	1.72	3.09	1.33	1.33	1.33	3.81
	-6	2.12	2.12	2.26	2.83	1.78	1.78	3.13	4.53	1.68	1.68	2.39	4.48
	-8	2.51	2.51	2.65	3.14	2.13	2.13	3.94	5.11	2.02	1.99	3.86	5.16
3	0		0.00	0.51	1.84	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.16	2.78
	-2		1.14	1.31	2.30	0.95	0.95	1.01	2.62	0.89	0.89	0.89	2.80
	-4		1.70	1.86	2.55	1.42	1.42	1.44	3.65	1.33	1.33	1.34	3.92
	-6		2.13	2.29	2.89	1.78	1.78	1.80	4.52	1.68	1.68	2.52	4.75
	-8		2.52	2.67	3.21	2.13	2.13	2.13	5.21	2.02	2.02	4.43	5.27
4	0			0.58	1.87	0.00	0.00	0.06	1.25	0.00	0.00	0.13	2.52
	-2			1.37	2.33	0.95	0.95	1.08	2.34	0.89	0.89	0.89	2.97
	-4			1.88	2.57	1.42	1.42	1.46	3.51	1.33	1.33	1.43	3.93
	-6			2.32	2.89	1.78	1.78	1.90	4.55	1.68	1.68	2.40	4.62
	-8			2.70	3.20	2.13	2.13	2.13	4.93	2.02	2.02	4.43	5.44
5	0				1.84		0.00	0.02	1.26	0.00	0.00	0.00	2.21
	-2				2.47		0.95	1.03	2.50	0.89	0.89	0.89	3.21
	-4				2.78		1.42	1.47	3.69	1.33	1.33	1.49	3.79
	-6				2.96		1.78	1.86	4.46	1.68	1.68	2.85	4.70
	-8				3.26		2.13	2.13	5.19	2.02	2.02	4.39	5.25
6	0						0.00	0.17	1.27	0.00	0.00	0.20	2.23
	-2						0.95	1.05	2.69	0.89	0.89	0.90	2.94
	-4						1.42	1.50	3.56	1.33	1.33	1.58	3.97
	-6						1.78	1.92	4.40	1.68	1.68	2.80	4.77
	-8						2.13	2.17	5.40	2.02	2.02	4.15	5.36

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2700 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.00	0.19	3.21	0.00	0.00	0.18	3.65
	-2	0.94	0.94	0.94	3.22	0.96	0.96	0.94	3.78
	-4	1.29	1.29	1.28	3.91	1.05	1.05	1.05	4.16
	-6	1.43	1.43	1.43	4.62	1.34	1.34	1.34	4.82
	-8	1.67	1.67	3.32	5.11	1.58	1.58	1.58	5.29
3	0	0.00	0.00	0.19	3.34	0.00	0.00	0.17	3.89
	-2	0.94	0.94	0.94	3.29	0.95	0.96	0.94	3.65
	-4	1.28	1.29	1.29	4.11	1.05	1.05	1.05	4.37
	-6	1.43	1.43	1.60	4.69	1.34	1.34	1.34	4.82
	-8	1.67	1.67	3.15	5.32	1.58	1.58	1.60	5.57
4	0	0.00	0.00	0.28	3.65	0.00	0.00	0.28	4.40
	-2	0.94	0.94	0.94	3.23	0.96	0.96	0.93	3.86
	-4	1.28	1.29	1.28	4.17	1.05	1.05	1.05	4.32
	-6	1.43	1.43	2.07	4.78	1.34	1.34	1.34	5.05
	-8	1.67	1.67	3.67	5.46	1.58	1.58	3.26	5.54
5	0	0.00	0.00	0.37	3.69	0.00	0.00	0.35	4.34
	-2	0.94	0.94	0.94	3.21	0.95	0.94	0.94	3.66
	-4	1.29	1.29	1.28	3.99	1.05	1.05	1.05	4.53
	-6	1.44	1.43	1.98	4.92	1.34	1.34	1.34	5.11
	-8	1.67	1.67	3.74	5.39	1.58	1.58	1.58	5.59
6	0	0.00	0.00	0.27	3.63	0.00	0.00	0.35	4.76
	-2	0.94	0.94	0.94	3.37	0.95	0.95	0.94	3.45
	-4	1.29	1.29	1.28	4.03	1.05	1.05	1.05	4.24
	-6	1.43	1.43	2.46	4.91	1.34	1.34	1.34	4.92
	-8	1.67	1.67	4.22	5.45	1.58	1.58	1.58	5.53

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2800 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	0.38	1.67	0.00	0.00	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	1.76
	-2	1.24	1.24	1.25	2.00	0.95	0.95	0.98	2.27	0.96	0.96	0.96	2.43
	-4	1.78	1.80	1.80	2.38	1.42	1.42	1.57	2.80	1.38	1.38	1.38	3.39
	-6	2.23	2.23	2.24	2.78	1.78	1.78	2.94	4.38	1.60	1.60	2.14	4.25
	-8	2.62	2.62	2.63	3.09	2.13	2.13	3.73	5.15	1.83	1.83	3.35	4.94
3	0		0.00	0.39	1.68	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	2.17
	-2		1.24	1.27	2.19	0.95	0.95	0.97	2.09	0.96	0.96	0.96	2.44
	-4		1.82	1.82	2.49	1.42	1.42	1.43	3.20	1.38	1.38	1.38	3.48
	-6		2.23	2.27	2.83	1.78	1.78	1.78	4.30	1.60	1.60	2.27	4.48
	-8		2.63	2.65	3.14	2.13	2.13	2.13	5.27	1.83	1.83	3.92	5.12
4	0			0.45	1.70	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	1.93
	-2			1.32	2.22	0.95	0.95	1.01	1.96	0.96	0.96	0.96	2.49
	-4			1.85	2.47	1.42	1.42	1.43	3.06	1.38	1.38	1.38	3.61
	-6			2.29	2.81	1.78	1.78	1.81	4.16	1.60	1.60	2.13	4.59
	-8			2.68	3.15	2.13	2.13	2.13	4.85	1.83	1.83	3.65	5.24
5	0				1.71		0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	1.89
	-2				2.33		0.95	0.98	2.10	0.96	0.96	0.96	2.73
	-4				2.62		1.42	1.44	3.22	1.38	1.38	1.38	3.68
	-6				2.88		1.78	1.78	4.44	1.60	1.60	2.43	4.57
	-8				3.20		2.13	2.13	5.24	1.83	1.83	4.20	5.17
6	0						0.00	0.19	1.03	0.00	0.00	0.18	1.82
	-2						0.95	0.99	2.32	0.96	0.96	0.96	2.52
	-4						1.42	1.45	3.27	1.38	1.38	1.38	3.76
	-6						1.78	1.83	4.06	1.60	1.60	2.23	4.52
	-8						2.13	2.13	5.19	1.83	1.83	4.07	5.28

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2800 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00	2.72
	-2	0.93	0.93	0.93	2.77	0.90	0.90	0.92	2.95
	-4	1.28	1.29	1.28	3.47	1.13	1.13	1.13	3.70
	-6	1.43	1.43	1.43	4.40	1.41	1.41	1.41	4.33
	-8	1.67	1.67	1.99	4.90	1.66	1.66	1.66	4.91
3	0	0.00	0.00	0.00	2.77	0.00	0.00	0.19	2.95
	-2	0.93	0.93	0.94	2.91	0.90	0.91	0.90	3.28
	-4	1.28	1.28	1.28	3.53	1.13	1.13	1.13	3.83
	-6	1.43	1.43	1.43	4.51	1.41	1.41	1.41	4.53
	-8	1.67	1.67	1.74	5.17	1.66	1.66	1.66	5.15
4	0	0.00	0.00	0.19	3.14	0.00	0.00	0.18	3.46
	-2	0.93	0.93	0.93	2.89	0.91	0.91	0.89	3.10
	-4	1.28	1.29	1.28	3.80	1.13	1.13	1.13	3.87
	-6	1.43	1.43	1.43	4.44	1.41	1.41	1.41	4.59
	-8	1.67	1.67	2.79	5.26	1.66	1.66	1.66	5.24
5	0	0.00	0.00	0.00	2.99	0.00	0.00	0.00	3.49
	-2	0.93	0.93	0.93	2.71	0.90	0.90	0.91	3.05
	-4	1.28	1.29	1.29	3.61	1.13	1.13	1.13	3.90
	-6	1.43	1.43	1.43	4.51	1.41	1.41	1.41	4.64
	-8	1.67	1.67	3.16	5.29	1.66	1.65	1.65	5.27
6	0	0.00	0.00	0.00	2.98	0.00	0.00	0.00	3.52
	-2	0.93	0.93	0.93	2.78	0.90	0.91	0.89	2.91
	-4	1.28	1.29	1.28	3.60	1.13	1.13	1.13	3.66
	-6	1.43	1.43	1.43	4.57	1.41	1.41	1.41	4.52
	-8	1.67	1.67	3.22	5.19	1.66	1.66	1.66	5.10

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=2900 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	0.26	1.53	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	1.36
	-2	1.14	1.13	1.22	1.89	0.95	0.95	0.96	1.77	0.89	0.89	0.89	1.96
	-4	1.68	1.70	1.78	2.31	1.42	1.42	1.47	2.33	1.33	1.33	1.33	2.69
	-6	2.12	2.12	2.22	2.69	1.78	1.78	2.85	4.53	1.68	1.68	1.68	4.17
	-8	2.52	2.51	2.62	3.02	2.13	2.13	3.42	5.23	2.02	2.02	2.75	4.86
3	0		0.00	0.27	1.54	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	1.72
	-2		1.13	1.24	2.06	0.95	0.95	0.95	1.76	0.89	0.89	0.89	2.04
	-4		1.70	1.79	2.41	1.42	1.42	1.42	2.73	1.33	1.33	1.33	2.94
	-6		2.13	2.24	2.75	1.78	1.78	1.79	4.01	1.68	1.68	1.69	4.34
	-8		2.52	2.63	3.05	2.13	2.13	2.13	5.25	2.02	2.02	2.90	5.01
4	0			0.32	1.55	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	1.35
	-2			1.27	2.10	0.95	0.95	0.96	1.77	0.89	0.89	0.89	1.90
	-4			1.82	2.41	1.42	1.42	1.42	2.52	1.33	1.33	1.33	3.23
	-6			2.26	2.71	1.78	1.78	1.78	4.19	1.68	1.68	1.69	4.19
	-8			2.65	3.08	2.13	2.13	2.13	4.66	2.02	2.02	3.26	5.02
5	0				1.61		0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	1.24
	-2				2.19		0.95	0.96	1.74	0.89	0.89	0.89	2.35
	-4				2.61		1.42	1.42	2.84	1.33	1.33	1.33	3.48
	-6				2.80		1.78	1.78	4.26	1.68	1.68	1.72	4.19
	-8				3.14		2.13	2.13	5.08	2.02	2.02	3.35	5.10
6	0						0.00	0.00	0.71	0.00	0.00	0.00	1.21
	-2						0.95	0.96	1.80	0.89	0.89	0.89	2.14
	-4						1.42	1.43	2.59	1.33	1.33	1.33	3.17
	-6						1.78	1.79	4.03	1.68	1.68	1.68	4.51
	-8						2.13	2.13	5.18	2.02	2.02	3.26	5.10

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=2900 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00	0.00	2.21
	-2	0.92	0.92	0.92	2.25	0.92	0.93	0.93	2.47
	-4	1.28	1.28	1.28	2.72	1.05	1.05	1.05	3.01
	-6	1.43	1.43	1.43	4.02	1.34	1.34	1.34	3.72
	-8	1.67	1.67	1.67	4.65	1.58	1.58	1.58	4.81
3	0	0.00	0.00	0.00	2.13	0.00	0.00	0.00	2.38
	-2	0.93	0.92	0.92	2.36	0.92	0.93	0.93	2.57
	-4	1.28	1.28	1.28	3.31	1.05	1.05	1.05	3.21
	-6	1.43	1.43	1.43	4.14	1.34	1.34	1.34	3.88
	-8	1.67	1.67	1.67	4.83	1.58	1.58	1.58	4.90
4	0	0.00	0.00	0.00	2.04	0.00	0.00	0.00	2.73
	-2	0.92	0.92	0.92	2.28	0.93	0.94	0.93	2.61
	-4	1.28	1.28	1.28	3.21	1.05	1.05	1.05	3.46
	-6	1.43	1.43	1.43	4.15	1.34	1.34	1.34	4.08
	-8	1.67	1.67	1.67	4.82	1.58	1.58	1.58	4.97
5	0	0.00	0.00	0.00	2.32	0.00	0.00	0.00	2.74
	-2	0.92	0.92	0.93	2.21	0.92	0.92	0.91	2.43
	-4	1.28	1.28	1.28	3.01	1.05	1.05	1.05	3.17
	-6	1.43	1.43	1.43	4.21	1.34	1.34	1.34	4.18
	-8	1.67	1.67	1.67	5.06	1.58	1.58	1.58	4.79
6	0	0.00	0.00	0.00	2.18	0.00	0.00	0.00	2.79
	-2	0.92	0.92	0.92	2.36	0.92	0.93	0.92	2.24
	-4	1.28	1.28	1.28	3.09	1.05	1.05	1.05	2.95
	-6	1.43	1.43	1.43	4.12	1.34	1.34	1.34	3.92
	-8	1.67	1.67	1.74	5.07	1.58	1.58	1.58	5.07

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=3000 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	0.12	1.39	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.74
	-2	1.24	1.24	1.19	1.81	0.95	0.95	0.95	1.40	0.96	0.96	0.96	1.36
	-4	1.78	1.81	1.76	2.29	1.42	1.42	1.43	2.14	1.38	1.38	1.38	2.29
	-6	2.23	2.23	2.20	2.62	1.78	1.78	2.12	3.96	1.60	1.60	1.60	3.70
	-8	2.63	2.62	2.59	2.96	2.13	2.13	2.72	4.85	1.83	1.83	2.27	4.86
3	0		0.00	0.14	1.40	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.77
	-2		1.24	1.20	1.88	0.95	0.95	0.95	1.48	0.96	0.96	0.96	1.44
	-4		1.82	1.77	2.30	1.42	1.42	1.42	2.44	1.38	1.38	1.38	2.35
	-6		2.23	2.22	2.68	1.78	1.78	1.78	3.38	1.60	1.60	1.60	4.10
	-8		2.63	2.61	3.01	2.13	2.13	2.13	4.93	1.83	1.83	2.70	4.80
4	0			0.18	1.42	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.90
	-2			1.23	1.97	0.95	0.95	0.95	1.34	0.96	0.96	0.96	1.55
	-4			1.79	2.31	1.42	1.42	1.42	2.14	1.38	1.38	1.38	2.64
	-6			2.24	2.67	1.78	1.78	1.78	3.82	1.60	1.60	1.60	3.59
	-8			2.63	3.02	2.13	2.13	2.13	4.47	1.83	1.83	2.70	5.01
5	0				1.47		0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.80
	-2				2.05		0.95	0.95	1.50	0.96	0.96	0.96	1.99
	-4				2.50		1.42	1.42	2.62	1.38	1.38	1.38	2.63
	-6				2.74		1.78	1.78	4.35	1.60	1.60	1.60	3.95
	-8				3.08		2.13	2.13	4.92	1.83	1.83	3.49	5.06
6	0						0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.80
	-2						0.95	0.95	1.53	0.96	0.96	0.96	1.64
	-4						1.42	1.42	2.43	1.38	1.38	1.38	2.41
	-6						1.78	1.78	3.55	1.60	1.60	1.60	3.87
	-8						2.13	2.13	4.97	1.83	1.83	3.64	4.91

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=3000 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	1.12
	-2	0.91	0.91	0.91	1.46	0.88	0.88	0.87	1.50
	-4	1.28	1.28	1.28	2.35	1.13	1.13	1.13	1.99
	-6	1.42	1.42	1.42	2.84	1.41	1.41	1.41	2.47
	-8	1.67	1.67	1.67	4.50	1.66	1.66	1.66	3.92
3	0	0.00	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	1.48
	-2	0.91	0.91	0.91	1.47	0.89	0.88	0.88	1.68
	-4	1.28	1.28	1.28	2.41	1.13	1.13	1.13	2.83
	-6	1.43	1.42	1.42	3.14	1.41	1.41	1.41	3.26
	-8	1.67	1.67	1.67	4.64	1.66	1.66	1.66	4.38
4	0	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	1.62
	-2	0.91	0.91	0.91	1.37	0.88	0.88	0.89	1.62
	-4	1.28	1.28	1.28	2.42	1.13	1.13	1.13	2.48
	-6	1.42	1.42	1.42	3.66	1.41	1.41	1.41	3.31
	-8	1.67	1.67	1.67	4.65	1.66	1.66	1.66	4.52
5	0	0.00	0.00	0.00	1.16	0.00	0.00	0.00	1.65
	-2	0.91	0.91	0.91	1.30	0.88	0.88	0.89	1.73
	-4	1.28	1.28	1.28	2.13	1.13	1.13	1.13	2.63
	-6	1.42	1.42	1.42	3.54	1.41	1.41	1.41	3.73
	-8	1.67	1.67	1.67	4.67	1.66	1.66	1.66	4.48
6	0	0.00	0.00	0.00	1.37	0.00	0.00	0.00	1.84
	-2	0.91	0.91	0.91	1.70	0.88	0.89	0.88	1.30
	-4	1.28	1.28	1.28	3.02	1.13	1.13	1.13	2.08
	-6	1.42	1.42	1.42	3.17	1.41	1.41	1.41	3.23
	-8	1.67	1.67	1.67	4.72	1.66	1.66	1.66	4.37

坡度 0.001 到 0.003 的短距離模擬在 X=3100 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		1.5	2	3	4	3	4	5	6	4.5	6	7.5	9
2	0	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.29
	-2	1.14	1.13	1.18	1.76	0.95	0.95	0.95	1.11	0.89	0.89	0.89	0.99
	-4	1.68	1.70	1.74	2.19	1.42	1.42	1.42	1.91	1.33	1.33	1.33	1.69
	-6	2.13	2.12	2.19	2.53	1.78	1.78	1.95	3.73	1.68	1.68	1.68	2.98
	-8	2.52	2.52	2.58	2.92	2.13	2.13	2.29	4.79	2.02	2.02	2.02	4.63
3	0		0.00	0.00	1.27	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.39
	-2		1.13	1.19	1.84	0.95	0.95	0.95	1.23	0.89	0.89	0.89	1.04
	-4		1.70	1.75	2.23	1.42	1.42	1.42	2.16	1.33	1.33	1.33	1.87
	-6		2.13	2.22	2.61	1.78	1.78	1.78	3.06	1.69	1.69	1.69	3.33
	-8		2.52	2.59	2.94	2.13	2.13	2.13	4.86	2.02	2.02	2.02	4.63
4	0			0.00	1.31	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.46
	-2			1.21	1.87	0.95	0.95	0.95	1.13	0.89	0.89	0.89	1.16
	-4			1.77	2.24	1.42	1.42	1.42	1.92	1.33	1.33	1.33	1.99
	-6			2.22	2.58	1.78	1.78	1.78	3.43	1.69	1.69	1.69	3.13
	-8			2.62	2.96	2.13	2.13	2.13	3.90	2.02	2.02	2.02	4.72
5	0				1.31		0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.45
	-2				1.95		0.95	0.95	1.23	0.89	0.89	0.89	1.14
	-4				2.35		1.42	1.42	2.22	1.33	1.33	1.33	2.05
	-6				2.67		1.78	1.78	4.16	1.68	1.69	1.69	3.06
	-8				3.02		2.13	2.13	5.10	2.02	2.02	2.02	5.14
6	0						0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.47
	-2						0.95	0.95	1.28	0.89	0.89	0.89	1.08
	-4						1.42	1.42	2.15	1.33	1.33	1.33	2.01
	-6						1.78	1.78	3.16	1.68	1.69	1.69	3.27
	-8						2.13	2.13	4.82	2.02	2.02	2.02	4.95

附註：斜線表示無模擬該條件。

坡度 0.004 和 0.005 的短距離模擬在 X=3100 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.004				坡度 0.005			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		6	8	10	12	7.5	10	12.5	15
2	0	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.38
	-2	0.88	0.88	0.88	1.12	0.90	0.89	0.90	1.13
	-4	1.28	1.28	1.28	1.28	1.05	1.05	1.05	1.05
	-6	1.42	1.42	1.42	2.12	1.34	1.34	1.34	1.34
	-8	1.68	1.68	1.68	4.22	1.59	1.59	1.59	3.28
3	0	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.61
	-2	0.88	0.88	0.89	0.98	0.89	0.90	0.90	0.99
	-4	1.28	1.28	1.28	1.52	1.05	1.05	1.05	1.05
	-6	1.42	1.42	1.42	2.33	1.34	1.34	1.34	1.34
	-8	1.68	1.68	1.68	4.39	1.59	1.59	1.59	3.48
4	0	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.80
	-2	0.88	0.88	0.88	1.00	0.89	0.89	0.90	1.05
	-4	1.28	1.28	1.28	1.53	1.05	1.05	1.05	1.05
	-6	1.42	1.42	1.42	2.72	1.34	1.34	1.34	2.30
	-8	1.68	1.68	1.68	4.45	1.59	1.59	1.58	3.51
5	0	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.79
	-2	0.88	0.88	0.89	1.28	0.90	0.89	0.89	1.07
	-4	1.28	1.28	1.28	2.35	1.05	1.05	1.05	2.29
	-6	1.42	1.42	1.42	2.45	1.34	1.34	1.34	2.28
	-8	1.68	1.68	1.68	4.48	1.59	1.59	1.58	3.84
6	0	0.00	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	0.94
	-2	0.88	0.88	0.88	0.98	0.90	0.90	0.90	1.01
	-4	1.28	1.28	1.28	2.04	1.05	1.05	1.05	2.74
	-6	1.42	1.42	1.42	2.68	1.34	1.34	1.34	1.34
	-8	1.68	1.68	1.68	4.17	1.59	1.58	1.58	3.78

附錄四 長距離模擬 16 個位置最大水深

長距離模擬在 X=4500 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.65	2.06	3.83	0.23	1.81	3.27	4.81	0.32	2.70	4.69	6.39
	-2	1.17	1.42	2.88	3.77	1.14	2.84	3.78	4.65	1.12	3.30	4.95	6.19
	-4	1.78	1.94	2.96	4.19	2.28	3.75	4.46	4.85	1.81	4.09	5.29	6.36
	-6	2.24	2.48	3.25	4.51	4.35	4.73	4.99	5.76	4.15	4.94	5.70	7.27
	-8	2.62	2.88	5.11	5.53	5.19	5.32	5.72	6.02	4.89	5.46	6.14	7.21
3	0	0.00	0.65	1.89	3.22	0.27	1.77	3.57	5.16	0.47	2.82	5.20	7.18
	-2	1.19	1.40	2.35	3.66	1.12	3.00	3.87	5.02	1.15	3.11	5.18	7.12
	-4	1.77	1.93	2.65	4.32	2.51	4.09	4.60	5.60	2.41	4.26	5.53	6.98
	-6	2.23	2.41	3.22	4.93	4.29	4.89	5.39	5.99	3.87	4.95	6.11	7.31
	-8	2.58	2.72	3.55	6.30	5.03	5.50	5.94	6.29	5.00	5.84	6.42	7.96
4	0	0.00	0.65	1.91	3.20	0.31	1.74	3.48	4.98	0.57	2.96	5.17	7.22
	-2	1.21	1.46	2.42	3.64	1.16	2.96	3.78	5.13	1.22	3.48	5.16	6.76
	-4	1.81	1.97	2.69	4.16	2.40	4.06	4.72	5.60	2.31	4.32	5.73	7.09
	-6	2.25	2.46	3.26	4.66	4.41	4.86	5.37	5.93	3.87	5.02	6.12	7.53
	-8	2.61	2.79	5.40	6.31	5.16	5.50	6.10	6.84	5.18	5.65	6.49	8.01

長距離模擬在 X=4600 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.53	1.91	3.70	0.15	1.50	2.98	4.40	0.00	2.32	4.45	6.20
	-2	1.16	1.36	2.75	3.73	1.03	2.49	3.65	4.61	0.89	2.98	4.68	5.89
	-4	1.76	1.90	2.80	4.18	1.97	3.39	4.41	4.72	1.42	3.80	5.13	6.25
	-6	2.23	2.44	3.15	4.39	4.11	4.80	4.94	5.65	3.69	4.75	5.45	6.73
	-8	2.62	2.84	5.04	5.50	5.13	5.38	5.70	6.03	4.84	5.47	5.92	6.71
3	0	0.00	0.53	1.78	3.11	0.19	1.51	3.22	4.92	0.00	2.36	4.90	6.59
	-2	1.17	1.34	2.21	3.55	1.01	2.56	3.79	4.84	0.89	2.81	4.78	6.34
	-4	1.76	1.88	2.55	4.26	2.10	3.83	4.48	5.30	1.88	3.99	5.23	6.67
	-6	2.22	2.38	3.13	4.86	3.99	4.81	5.32	6.00	3.15	4.79	5.78	7.11
	-8	2.57	2.67	3.47	6.24	5.12	5.51	5.84	6.30	4.93	5.73	6.18	7.65
4	0	0.00	0.54	1.78	3.08	0.00	1.45	3.13	4.67	0.25	2.46	4.79	6.92
	-2	1.19	1.40	2.28	3.53	1.04	2.79	3.67	4.80	0.91	3.07	4.70	6.40
	-4	1.78	1.92	2.59	4.06	2.04	3.88	4.66	5.53	1.89	4.03	5.36	6.93
	-6	2.24	2.42	3.17	4.55	4.22	4.95	5.33	5.94	3.50	4.91	5.93	7.22
	-8	2.60	2.75	5.30	6.46	5.10	5.28	5.95	6.73	5.08	5.58	6.38	7.59

長距離模擬在 X=4700 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.42	1.77	3.50	0.03	1.06	2.71	4.13	0.00	1.80	4.10	6.04
	-2	1.25	1.32	2.57	3.64	0.98	2.06	3.40	4.41	0.95	2.65	4.15	5.63
	-4	1.85	1.86	2.64	4.09	1.74	3.11	4.28	4.66	1.36	3.57	4.74	5.96
	-6	2.31	2.40	3.06	4.27	3.59	4.68	4.95	5.41	2.96	4.59	5.39	6.30
	-8	2.69	2.79	4.92	5.46	5.27	5.24	5.65	6.03	4.92	5.17	5.76	6.78
3	0	0.00	0.42	1.65	2.97	0.09	1.20	2.91	4.65	0.00	1.84	4.08	6.33
	-2	1.25	1.29	2.09	3.45	0.96	2.20	3.66	4.61	0.95	2.54	4.48	6.15
	-4	1.85	1.85	2.47	4.13	1.89	3.77	4.34	5.13	1.51	3.76	4.97	6.44
	-6	2.32	2.35	3.04	4.76	3.79	4.74	5.12	5.89	2.86	4.57	5.66	6.91
	-8	2.67	2.65	3.40	6.19	5.22	5.44	5.81	6.12	4.76	5.55	6.13	7.19
4	0	0.00	0.42	1.65	2.94	0.00	1.20	2.66	4.33	0.19	1.98	4.39	6.60
	-2	1.27	1.34	2.15	3.40	0.98	2.64	3.62	4.83	0.95	2.72	4.25	6.11
	-4	1.86	1.89	2.50	3.94	1.85	3.31	4.49	5.36	1.57	3.74	5.08	6.53
	-6	2.33	2.38	3.09	4.42	4.12	4.83	5.27	5.86	3.02	4.78	5.54	6.81
	-8	2.69	2.73	5.10	6.34	5.05	5.39	5.87	6.60	5.09	5.56	6.16	7.33

長距離模擬在 X=4800 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.29	1.64	3.40	0.00	0.87	2.38	3.92	0.00	1.17	3.45	5.58
	-2	1.14	1.27	2.25	3.56	0.95	1.81	3.13	4.16	0.89	2.25	3.93	5.44
	-4	1.73	1.84	2.57	4.00	1.57	2.65	4.11	4.72	1.31	3.03	4.67	5.92
	-6	2.22	2.36	2.98	4.12	3.02	4.79	4.91	5.21	2.43	4.45	5.25	6.13
	-8	2.58	2.76	4.79	5.39	5.11	5.37	5.48	5.87	4.80	5.12	5.61	6.54
3	0	0.00	0.29	1.54	2.84	0.00	0.90	2.53	4.40	0.00	1.34	3.69	6.06
	-2	1.15	1.25	1.99	3.34	0.95	1.74	3.38	4.33	0.89	2.21	4.05	5.63
	-4	1.73	1.83	2.39	4.04	1.71	3.51	4.30	4.94	1.32	3.35	4.66	6.09
	-6	2.22	2.31	2.97	4.71	3.41	4.57	5.02	5.62	2.19	4.51	5.32	6.62
	-8	2.56	2.63	3.33	6.06	5.11	5.53	5.65	6.03	4.55	5.23	5.73	7.19
4	0	0.00	0.29	1.53	2.82	0.00	0.99	2.36	4.00	0.00	1.48	3.95	6.28
	-2	1.16	1.28	2.04	3.31	0.95	2.28	3.23	4.42	0.89	2.41	4.00	5.68
	-4	1.74	1.85	2.42	3.83	1.65	3.10	4.43	5.06	1.32	3.41	4.89	6.14
	-6	2.22	2.35	3.02	4.29	3.59	4.92	5.12	5.79	2.37	4.60	5.50	6.54
	-8	2.58	2.70	4.86	6.26	5.03	5.27	5.83	6.31	4.69	5.20	5.96	7.37

長距離模擬在 X=4900 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.15	1.53	3.27	0.00	0.52	2.03	3.65	0.00	0.72	3.11	5.17
	-2	1.24	1.23	2.21	3.44	0.95	1.47	2.91	3.99	0.95	1.60	3.56	5.24
	-4	1.83	1.81	2.47	4.04	1.48	2.31	4.11	4.61	1.35	2.29	4.45	5.38
	-6	2.30	2.33	2.91	3.96	2.82	4.58	4.83	5.08	2.06	4.25	5.01	5.95
	-8	2.68	2.73	4.61	5.32	5.09	5.25	5.27	5.84	4.68	4.93	5.64	6.38
3	0	0.00	0.14	1.42	2.70	0.00	0.53	2.17	4.12	0.00	0.87	3.28	5.38
	-2	1.24	1.22	1.89	3.24	0.95	1.41	3.14	4.21	0.95	1.52	3.69	5.46
	-4	1.83	1.80	2.32	3.93	1.57	3.12	4.00	4.91	1.36	2.69	4.34	5.83
	-6	2.30	2.29	2.89	4.61	2.91	4.73	4.84	5.53	1.77	4.29	5.13	6.32
	-8	2.66	2.61	3.27	5.97	4.86	5.33	5.65	5.94	3.93	5.18	5.64	6.62
4	0	0.00	0.14	1.39	2.68	0.00	0.60	2.31	3.66	0.00	0.99	3.49	5.97
	-2	1.25	1.25	1.93	3.23	0.95	1.81	3.03	4.18	0.95	2.08	3.62	5.38
	-4	1.84	1.82	2.34	3.70	1.51	2.77	4.17	4.94	1.36	2.91	4.58	5.80
	-6	2.31	2.33	2.93	4.15	3.11	4.62	5.03	5.67	2.01	4.40	5.14	6.47
	-8	2.67	2.68	4.62	6.27	4.81	5.23	5.77	6.35	4.62	5.10	5.72	6.83

長距離模擬在 X=5000 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	1.40	3.02	0.00	0.23	1.81	3.46	0.00	0.26	2.77	4.84
	-2	1.14	1.21	2.10	3.64	0.95	1.22	2.82	3.76	0.89	1.17	3.28	5.00
	-4	1.72	1.79	2.36	3.92	1.45	2.07	4.02	4.43	1.31	1.90	4.23	5.24
	-6	2.20	2.30	2.83	3.81	2.63	4.44	4.65	4.88	1.67	4.11	4.82	5.81
	-8	2.57	2.70	4.41	5.21	5.00	5.05	5.07	5.80	4.28	4.91	5.27	6.22
3	0	0.00	0.00	1.29	2.58	0.00	0.30	1.81	3.79	0.00	0.47	2.83	5.10
	-2	1.14	1.20	1.81	3.15	0.95	1.20	2.82	3.79	0.89	1.07	3.54	5.04
	-4	1.72	1.78	2.24	3.85	1.47	2.52	3.99	4.69	1.32	2.16	4.17	5.56
	-6	2.20	2.27	2.83	4.48	2.47	4.38	4.88	5.32	1.68	4.20	5.13	5.99
	-8	2.55	2.62	3.22	5.88	4.73	5.40	5.60	5.88	3.28	5.10	5.58	6.40
4	0	0.00	0.00	1.27	2.55	0.00	0.36	1.83	3.36	0.00	0.58	2.99	5.11
	-2	1.14	1.22	1.84	3.11	0.95	1.48	2.90	3.94	0.89	1.33	3.37	5.14
	-4	1.73	1.82	2.27	3.55	1.46	2.27	4.22	4.76	1.32	2.83	4.37	5.64
	-6	2.22	2.30	2.87	4.00	2.71	4.71	4.98	5.42	1.69	4.19	5.00	6.16
	-8	2.57	2.66	4.41	6.15	4.97	5.19	5.70	6.17	4.05	5.03	5.60	6.70

長距離模擬在 X=5100 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	1.25	2.89	0.00	0.18	1.47	3.20	0.00	0.15	2.30	4.29
	-2	1.24	1.28	1.99	3.51	0.95	1.06	2.52	3.61	0.95	0.99	3.03	4.59
	-4	1.82	1.87	2.29	3.76	1.43	1.81	3.76	4.35	1.35	1.53	3.90	5.06
	-6	2.29	2.38	2.76	3.67	2.35	4.41	4.45	4.68	1.59	3.82	4.62	5.58
	-8	2.67	2.77	4.23	5.11	4.82	4.86	4.87	5.53	3.61	4.92	5.09	5.98
3	0	0.00	0.00	1.15	2.48	0.00	0.00	1.53	3.44	0.00	0.28	2.33	4.81
	-2	1.24	1.27	1.73	3.01	0.95	1.06	2.59	3.67	0.95	0.97	3.11	4.64
	-4	1.82	1.87	2.18	3.73	1.44	2.21	3.93	4.58	1.36	1.78	3.90	5.37
	-6	2.29	2.36	2.77	4.35	2.27	4.19	4.68	5.39	1.61	4.00	4.84	5.91
	-8	2.66	2.69	3.15	5.79	4.38	5.45	5.48	5.72	2.98	5.17	5.40	6.40
4	0	0.00	0.00	1.14	2.43	0.00	0.00	1.58	2.99	0.00	0.41	2.47	4.73
	-2	1.24	1.29	1.74	2.98	0.95	1.18	2.51	3.79	0.95	1.03	2.90	4.67
	-4	1.83	1.88	2.20	3.40	1.43	2.04	3.92	4.73	1.36	1.98	4.13	5.42
	-6	2.30	2.38	2.80	3.84	2.58	4.29	4.80	5.31	1.61	3.75	4.86	5.62
	-8	2.66	2.75	4.20	6.09	4.85	5.11	5.68	6.01	3.45	5.09	5.57	6.36

長距離模擬在 X=5200 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	1.11	2.61	0.00	0.05	1.06	2.89	0.00	0.00	1.78	4.03
	-2	1.14	1.17	1.88	3.42	0.95	0.99	2.02	3.43	0.89	0.89	2.47	4.17
	-4	1.72	1.76	2.23	3.62	1.43	1.63	3.50	4.25	1.31	1.31	3.61	4.83
	-6	2.19	2.27	2.69	3.54	2.12	3.90	4.26	4.49	1.67	3.20	4.50	5.24
	-8	2.57	2.65	4.03	5.01	4.63	4.65	4.65	5.60	3.04	4.73	5.04	5.68
3	0	0.00	0.00	1.06	2.37	0.00	0.00	1.20	3.06	0.00	0.00	1.81	4.04
	-2	1.14	1.16	1.65	2.88	0.95	0.99	2.26	3.39	0.89	0.89	2.67	4.46
	-4	1.72	1.75	2.11	3.60	1.42	1.99	3.95	4.40	1.32	1.35	3.80	4.97
	-6	2.19	2.25	2.70	4.22	1.95	3.77	4.72	5.34	1.69	3.32	4.61	5.58
	-8	2.55	2.58	3.08	5.74	4.00	5.30	5.56	5.49	2.26	4.85	5.20	6.23
4	0	0.00	0.00	1.06	2.31	0.00	0.00	1.24	2.68	0.00	0.00	1.95	4.32
	-2	1.14	1.17	1.65	2.86	0.95	1.05	2.27	3.47	0.89	0.89	2.60	4.30
	-4	1.72	1.77	2.14	3.24	1.42	1.79	3.77	4.45	1.32	1.45	3.81	5.02
	-6	2.20	2.26	2.74	3.70	2.37	4.44	4.79	5.29	1.69	3.13	4.71	5.41
	-8	2.56	2.64	4.03	6.22	4.58	5.17	5.75	6.02	2.95	4.83	5.21	6.30

長距離模擬在 X=5300 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	0.97	2.44	0.00	0.00	0.83	2.52	0.00	0.00	1.17	3.39
	-2	1.24	1.26	1.70	3.27	0.95	0.96	1.81	3.14	0.95	0.95	2.06	3.86
	-4	1.82	1.85	2.16	3.46	1.43	1.50	3.03	4.18	1.35	1.35	3.16	4.58
	-6	2.29	2.35	2.63	3.44	1.95	3.62	4.05	4.26	1.60	2.60	4.32	4.98
	-8	2.67	2.70	3.85	4.90	4.37	4.44	4.46	5.55	2.71	4.84	4.92	5.38
3	0	0.00	0.00	0.93	2.24	0.00	0.00	0.91	2.73	0.00	0.00	1.33	3.65
	-2	1.24	1.25	1.56	2.75	0.95	0.96	1.84	3.10	0.95	0.95	2.24	4.16
	-4	1.82	1.85	2.06	3.43	1.42	1.71	3.41	4.17	1.37	1.37	3.44	4.76
	-6	2.29	2.33	2.64	4.07	1.86	3.36	4.69	5.27	1.61	2.69	4.52	5.34
	-8	2.65	2.67	3.03	5.61	3.58	5.35	5.51	5.30	1.84	4.98	5.10	6.12
4	0	0.00	0.00	0.95	2.18	0.00	0.00	0.99	2.63	0.00	0.00	1.45	3.87
	-2	1.24	1.26	1.57	2.69	0.95	0.96	1.80	3.24	0.95	0.95	2.26	3.93
	-4	1.82	1.86	2.08	3.09	1.42	1.63	3.69	4.35	1.36	1.37	3.68	4.70
	-6	2.29	2.35	2.68	3.56	2.09	4.04	4.80	5.05	1.61	2.64	4.44	5.17
	-8	2.66	2.72	3.87	6.11	4.45	5.07	5.41	5.88	2.42	4.80	5.18	6.23

長距離模擬在 X=5400 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	0.84	2.27	0.00	0.00	0.50	2.14	0.00	0.00	0.68	3.02
	-2	1.14	1.15	1.57	3.34	0.95	0.95	1.47	2.94	0.89	0.89	1.44	3.60
	-4	1.71	1.74	2.07	3.31	1.43	1.46	2.64	4.03	1.31	1.31	2.41	4.41
	-6	2.19	2.24	2.57	3.34	1.82	3.24	3.83	4.02	1.67	2.01	3.92	4.66
	-8	2.56	2.59	3.70	4.81	3.96	4.25	4.22	5.74	1.97	4.14	4.90	5.10
3	0	0.00	0.00	0.78	2.11	0.00	0.00	0.62	2.30	0.00	0.00	0.87	3.27
	-2	1.14	1.15	1.48	2.60	0.95	0.95	1.61	3.14	0.89	0.89	1.77	3.67
	-4	1.71	1.73	2.01	3.24	1.42	1.55	2.86	4.06	1.32	1.32	2.88	4.60
	-6	2.19	2.23	2.59	3.90	1.79	3.10	4.60	5.06	1.69	2.14	4.41	5.32
	-8	2.55	2.56	2.98	5.46	3.22	5.20	5.58	5.14	1.99	4.22	5.06	6.23
4	0	0.00	0.00	0.80	2.06	0.00	0.00	0.69	2.24	0.00	0.00	0.97	3.40
	-2	1.14	1.15	1.49	2.55	0.95	0.95	1.50	3.05	0.89	0.89	1.85	3.70
	-4	1.71	1.74	2.03	2.95	1.42	1.50	3.04	4.17	1.32	1.32	3.07	4.56
	-6	2.19	2.24	2.62	3.47	1.82	3.73	4.60	5.23	1.69	2.13	4.49	4.93
	-8	2.55	2.62	4.02	5.87	4.19	4.84	5.37	5.70	1.98	4.35	5.07	6.00

長距離模擬在 X=5500 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	0.73	2.09	0.00	0.00	0.23	1.75	0.00	0.00	0.29	2.68
	-2	1.24	1.24	1.47	3.13	0.95	0.95	1.22	2.78	0.95	0.95	0.98	3.24
	-4	1.82	1.83	2.03	3.13	1.43	1.44	2.37	3.83	1.35	1.35	1.91	4.08
	-6	2.29	2.32	2.52	3.24	1.78	2.82	3.53	3.83	1.59	1.73	3.16	4.35
	-8	2.67	2.69	3.55	4.68	3.68	3.99	4.02	5.50	1.82	3.76	4.75	4.77
3	0	0.00	0.00	0.66	1.97	0.00	0.00	0.33	1.88	0.00	0.00	0.55	2.86
	-2	1.24	1.24	1.41	2.45	0.95	0.95	1.31	2.94	0.95	0.95	1.27	3.48
	-4	1.82	1.83	1.96	3.07	1.42	1.47	2.45	3.87	1.37	1.37	2.40	4.25
	-6	2.29	2.31	2.54	3.70	1.79	2.74	4.46	4.88	1.61	1.84	4.05	5.08
	-8	2.65	2.66	2.93	5.38	3.19	5.07	5.50	4.90	1.83	3.88	4.95	5.83
4	0	0.00	0.00	0.66	1.93	0.00	0.00	0.37	1.82	0.00	0.00	0.63	2.92
	-2	1.24	1.25	1.43	2.41	0.95	0.95	1.22	2.81	0.95	0.95	1.47	3.15
	-4	1.82	1.84	1.98	2.83	1.42	1.45	2.58	4.14	1.37	1.36	2.36	4.28
	-6	2.29	2.33	2.57	3.38	1.82	3.29	4.48	4.97	1.61	1.77	4.22	4.55
	-8	2.66	2.69	4.22	5.93	3.77	5.02	5.23	5.54	1.84	4.10	5.11	5.95

長距離模擬在 X=5600 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	0.66	1.95	0.00	0.00	0.11	1.48	0.00	0.00	0.00	2.24
	-2	1.14	1.14	1.39	3.00	0.95	0.95	1.05	2.56	0.89	0.89	0.89	2.79
	-4	1.71	1.72	1.97	2.96	1.43	1.43	2.03	3.58	1.31	1.31	1.48	3.80
	-6	2.19	2.22	2.46	3.14	1.78	2.75	3.10	3.55	1.67	1.67	2.78	4.05
	-8	2.56	2.58	3.46	4.54	3.29	3.78	3.71	5.29	1.97	3.00	4.43	4.45
3	0	0.00	0.00	0.55	1.84	0.00	0.00	0.09	1.67	0.00	0.00	0.27	2.37
	-2	1.14	1.14	1.35	2.29	0.95	0.95	1.12	2.62	0.89	0.89	0.90	2.94
	-4	1.71	1.72	1.92	2.91	1.42	1.44	2.10	3.87	1.32	1.32	1.77	4.02
	-6	2.19	2.22	2.49	3.52	1.79	2.41	4.23	4.67	1.69	1.69	4.06	4.97
	-8	2.55	2.56	2.88	5.31	2.80	5.02	5.28	4.68	1.99	3.25	4.87	5.46
4	0	0.00	0.00	0.56	1.83	0.00	0.00	0.00	1.51	0.00	0.00	0.34	2.42
	-2	1.14	1.14	1.37	2.27	0.95	0.95	1.06	2.58	0.89	0.89	1.12	3.01
	-4	1.71	1.73	1.94	2.71	1.42	1.43	2.35	3.98	1.32	1.32	2.10	3.95
	-6	2.19	2.22	2.52	3.29	1.82	3.11	4.25	4.96	1.69	1.69	3.77	4.24
	-8	2.55	2.59	4.12	5.88	3.52	4.68	5.25	5.29	1.99	3.32	5.00	5.75

長距離模擬在 X=5700 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	0.50	1.81	0.00	0.00	0.09	1.03	0.00	0.00	0.00	1.75
	-2	1.24	1.24	1.33	2.74	0.95	0.95	0.98	2.21	0.95	0.95	0.95	2.57
	-4	1.82	1.83	1.92	2.81	1.43	1.43	1.78	3.38	1.35	1.35	1.36	3.38
	-6	2.29	2.30	2.42	3.05	1.78	2.45	2.77	3.25	1.59	1.59	2.41	3.72
	-8	2.67	2.68	3.39	4.37	2.91	3.62	3.34	5.10	1.82	2.95	4.21	4.12
3	0	0.00	0.00	0.44	1.70	0.00	0.00	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	1.84
	-2	1.24	1.24	1.30	2.20	0.95	0.95	1.02	2.18	0.95	0.95	0.96	2.55
	-4	1.82	1.82	1.89	2.76	1.42	1.42	1.94	3.54	1.37	1.37	1.46	3.83
	-6	2.29	2.31	2.45	3.38	1.79	2.23	4.00	4.49	1.61	1.61	3.66	4.61
	-8	2.65	2.66	2.84	5.16	2.37	5.00	5.06	4.45	1.84	2.84	5.06	5.44
4	0	0.00	0.00	0.44	1.71	0.00	0.00	0.00	1.24	0.00	0.00	0.00	1.92
	-2	1.24	1.24	1.32	2.15	0.95	0.95	0.99	2.29	0.95	0.95	0.98	2.72
	-4	1.82	1.83	1.91	2.61	1.42	1.43	2.05	3.66	1.37	1.37	1.61	3.72
	-6	2.29	2.31	2.47	3.19	1.82	2.97	4.02	5.03	1.61	1.61	3.22	4.08
	-8	2.66	2.69	3.97	5.77	3.30	4.36	5.04	5.10	1.84	3.33	4.93	5.52

長距離模擬在 X=5800 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	0.33	1.65	0.00	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	1.13
	-2	1.14	1.14	1.29	2.67	0.95	0.95	0.95	1.99	0.89	0.89	0.89	2.15
	-4	1.71	1.72	1.87	2.66	1.43	1.43	1.61	2.85	1.31	1.31	1.31	2.72
	-6	2.19	2.20	2.37	2.98	1.78	2.17	2.54	2.83	1.67	1.67	1.87	3.34
	-8	2.57	2.58	3.31	4.30	2.70	3.20	3.07	4.86	1.97	2.00	3.65	3.75
3	0	0.00	0.00	0.31	1.56	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	1.32
	-2	1.14	1.14	1.25	2.19	0.95	0.95	0.97	1.93	0.89	0.89	0.89	2.12
	-4	1.71	1.72	1.85	2.64	1.42	1.42	1.73	3.11	1.32	1.32	1.32	3.18
	-6	2.19	2.22	2.42	3.27	1.79	2.00	3.51	4.34	1.69	1.69	3.19	4.38
	-8	2.55	2.55	2.68	5.14	2.15	4.81	4.89	4.24	1.99	2.06	4.74	5.27
4	0	0.00	0.00	0.30	1.58	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.45
	-2	1.14	1.14	1.27	2.06	0.95	0.95	0.96	2.19	0.89	0.89	0.89	2.36
	-4	1.71	1.72	1.86	2.52	1.42	1.42	1.73	3.40	1.32	1.32	1.33	3.31
	-6	2.19	2.22	2.44	3.10	1.82	2.51	3.73	4.87	1.69	1.69	2.64	3.69
	-8	2.55	2.58	3.85	5.66	2.49	4.08	4.86	4.89	1.99	2.05	4.72	5.29

長距離模擬在 X=5900 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	0.17	1.50	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.65
	-2	1.24	1.24	1.27	2.64	0.95	0.95	0.95	1.82	0.95	0.95	0.95	1.82
	-4	1.82	1.82	1.84	2.53	1.43	1.43	1.49	2.64	1.35	1.35	1.35	2.20
	-6	2.29	2.30	2.34	2.90	1.78	1.97	2.32	2.71	1.59	1.60	1.59	2.79
	-8	2.68	2.68	3.26	4.19	2.12	2.80	2.83	4.68	1.82	1.84	3.38	3.59
3	0	0.00	0.00	0.15	1.43	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.83
	-2	1.24	1.24	1.22	2.21	0.95	0.95	0.95	1.60	0.95	0.95	0.95	2.11
	-4	1.82	1.82	1.83	2.54	1.42	1.42	1.58	2.90	1.37	1.37	1.37	2.70
	-6	2.30	2.31	2.38	3.20	1.82	1.87	3.20	4.05	1.62	1.61	2.54	4.15
	-8	2.66	2.65	2.66	4.98	2.15	4.06	4.65	4.02	1.84	1.84	4.42	4.97
4	0	0.00	0.00	0.16	1.44	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.99
	-2	1.24	1.24	1.23	2.06	0.95	0.95	0.95	1.77	0.95	0.95	0.95	2.04
	-4	1.82	1.82	1.84	2.43	1.42	1.42	1.55	3.08	1.37	1.37	1.37	3.07
	-6	2.30	2.30	2.40	3.02	1.82	2.11	3.36	4.65	1.62	1.62	2.30	3.44
	-8	2.66	2.68	3.75	5.65	2.16	3.70	4.63	4.64	1.84	1.85	4.60	4.99

長距離模擬在 X=6000 m 的最大水深(公尺)

入射 波高 (m)	流量 (m ³ /s)	坡度 0.001				坡度 0.002				坡度 0.003			
		初始水位 (m)				初始水位 (m)				初始水位 (m)			
		4.5	5	6	7	9	10	11	12	13.5	15	16.5	18
2	0	0.00	0.00	0.00	1.37	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.25
	-2	1.14	1.14	1.24	2.45	0.95	0.95	0.95	1.71	0.89	0.89	0.89	1.32
	-4	1.71	1.71	1.82	2.46	1.43	1.43	1.45	2.25	1.31	1.31	1.31	1.66
	-6	2.19	2.20	2.30	2.82	1.78	1.81	2.13	2.40	1.67	1.67	1.67	2.27
	-8	2.57	2.57	3.26	4.06	2.12	2.68	2.66	4.53	1.97	2.00	2.55	2.66
3	0	0.00	0.00	0.00	1.34	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.49
	-2	1.14	1.14	1.20	2.13	0.95	0.95	0.95	1.29	0.89	0.89	0.89	1.69
	-4	1.71	1.71	1.81	2.44	1.42	1.42	1.47	2.50	1.32	1.32	1.32	2.00
	-6	2.20	2.21	2.35	3.11	1.80	1.82	2.93	3.84	1.70	1.70	1.72	3.86
	-8	2.55	2.55	2.64	4.84	2.15	4.05	4.41	3.81	2.00	2.00	3.85	4.67
4	0	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.64
	-2	1.14	1.14	1.21	2.06	0.95	0.95	0.95	1.26	0.89	0.89	0.89	1.85
	-4	1.71	1.71	1.82	2.36	1.42	1.42	1.47	2.64	1.32	1.32	1.32	2.76
	-6	2.20	2.20	2.37	2.94	1.82	1.87	3.06	4.44	1.70	1.70	1.82	3.13
	-8	2.56	2.58	3.62	5.49	2.16	3.27	4.46	4.49	2.00	1.99	3.78	4.65

附錄五 ■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：

異常氣候下跨河橋梁與港區水位溢淹預警系統之建置研究

執行單位：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. 許榮庭 委員	意見答覆	
1.第 2-16 頁與 2-17 頁，內文參照的公式編號有誤，請再檢查。	感謝委員指教及建議，已修改	同意
2.預警系統有訊息公布時效性的需求，海嘯、暴潮、波浪、河川洪峰流量等條件的更新頻率可能不同，且這些外力條件的來源是採用觀測值還是從其他模式推估而來？水利署的河川流量測站往往距離河口數十公里遠，且不是所有主要河川主流均有測站，建議針對預警系統輸入條件的需求再探討。	感謝委員指教及建議，本研究透過模式來評估橋樑附近的最大水位和距樑底淨空的距離來了解對跨河橋樑通行安全之可能影響。未來如能結合水利署所提供在跨河橋梁的水位與流量的河川流量測站往往距離河口數十公里遠，且不是所有主要河川主流均有測站，建議針對預警系統輸入條件的需求再探討。	同意
3.本計畫屬於研究計畫，海嘯預警已經有前期成果，而暴潮、波浪、流量的預警系統架構，建議蒐集目前水利署既有的預警系	感謝委員指教及建議，本研究係依中心需求所建構主要以港灣地區暴潮及波浪預報資料為主，為來取得其他單位如國家災害防救科	同意

統架構，再依交通單位的需求探討本計畫預警系統的架構。	技中心對跨河橋梁上游的水位及流量預報資料即可透過此預警系統提供距樑底淨空值的短期預報，詳見期末報告見 p4-2 頁說明。	
4.由於預警訊息發布有其時效，研究團隊是否將採用預擬各種可能發生條件，建立預擬數據資料庫？此部分建議先進行探討，針對暴潮、波浪與流量的組合，不同的預警系統架構，在預警訊息的時效性是否有顯著影響？	感謝委員指教及建議。本研究係採模擬 5 種入射波高分別在 5 種坡度地形、4 種初始水位以及 5 流量條件下的傳播情況共 440 種情境模擬以建立預擬數據資料庫。希望可以在取得相關資料後快速得到預警訊息，詳見期末報告見 p4-5 頁說明。	同意
5.各地沿海跨河橋梁地形差異頗大，例如臺南的四草大橋、二仁溪橋位在河口，高雄林園大橋、屏東林邊大橋等距離河口不到三公里，亦有曾文溪國姓橋等距離河口數十公里，但是仍在感潮範圍。由於本計畫屬於研究計畫，因此建議先檢討不同條件的橋梁，對於預警模式的適用性，未來再持續針對不同條件，發展區域性預警模式。	感謝委員指教及建議。颱風來臨時，常造成河川水位的暴漲，尤其在出海口附近又受到暴潮及長浪的影響，可能對跨河橋梁通行安全形成威脅。本研究情境模擬模式設定區域為河口 3.4 公里為主，詳見期末報告 p4-1 及 p4-5 頁說明。	同意

二. 李兆芳 委員	意見答覆	意見答覆
1. 溢淹圖結果，如圖3.6~3.9，在呈現上建議調整顏色，能夠有效地把現象顯示。	感謝委員的指教與建議。詳細了解後係為印刷之因素，期末報告印製時會在特別注意。	同意
2. P3-3 提及“大量自動與人工植生濾除”，請增加說明。	感謝委員的建議。DEM 經由以人工或影像自動匹配的方式，在立體模型內量測出地表上足夠密度的離散高程點及用以描述地表特殊起伏形狀的地形特徵線(地形結構線、地形斷線)、特徵點(局部最高或最低點)，然後以適當的運算法則將這些量測的數據，過濾量測誤差後內差計算出等間距的網格，得到原始地表高程。詳見期末報告 p3-3	同意
3. 可以把考慮使用 COBRAS 模式的想法，增加說明。	感謝委員的建議。COBRAS 模式為一 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，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	同意

	(overtopping)的體積。詳見 期末報告 p4-2	
4.採用 P4-6 模擬流程的作法，和想要模擬的問題之 關連性，增加說明。	感謝委員的建議，詳見期末 報告 p4-7	同意
5. 期中報告可以加入後續 到期末要完成工作內容	感謝委員的建議。	同意
三. 劉景毅 委員	意見答覆	
1.海嘯為長波，尺度相當大， 港灣結構物之長度尺度 則相對小。模式模擬條件 應加強說明如何使用 multi-grid 解決不同尺度的 問題，外海深水處與港 灣附近使用之網格大小 約為多少？	感謝委員的指教與建議。已 增加說明，請見期末報告4- 5頁4.2.2節及4.2.4節	同意
2. 建議應先說明溢淹潛勢 圖的可能應用，讓研究成 果更貼近實際應用。	感謝委員的指教與建議。 已說明其應用，請見期末報 告2-7頁2.3節及2.4節。	同意
3. 為何選用 COBRAS(X- Z2D)，是否要模擬水深方 向的變化，或者較小時段 (intra-wave)之成果，否則 模式模擬範圍與時間長 度會受到很大的限制，建 議成果呈現上應集中在 波浪對水位的影響。	感謝委員指教與建議。 COBRAS模式為一2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，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	同意

	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。詳見期末報告p4-2	
4. 外海邊界條件使用 u 和 η 。若模擬過程使用不同邊界條件容易產生誤差。模擬結果應有更多的驗證。	感謝委員指教與建議。遵照辦理。已有計畫部署相關量測儀器，希望可做為未來模擬結果之驗證數據。	同意
5. 模式中波浪碎波條件為何？	感謝委員指教。波浪碎波條件係指波高過大而破碎，其波高僅剩原來的一半，詳見期末報告p4-19	同意
6. 圖 4.5、4.11 之 X 軸變數應為時間。	感謝委員指教，已修正。	同意
四. 蘇青和 委員	意見答覆	
1. 第二章海嘯速報系統方面，海嘯溢淹潛勢圖整合地理資訊系統之成果，例如港區溢淹圖，建議考量納入速報系統配合展示。其次現僅提供主要商港之外海波高，海嘯進入近岸及港區附近之水位抬升現象，於溢淹較大之處，建議考量納入速報系統展示(數值大小即可)。	感謝委員的指教與建議。遵照辦理。	同意

2. 第三章溢淹潛勢圖整合地理資訊系統之應用，幾點建議：(1)完整溢淹潛勢圖建議放置於報告附錄；(2)應包括全期8港區之溢淹潛勢圖；(3)溢淹潛勢圖應增加標示地震級數、機率等資訊。	感謝委員的指教與建議。遵照辦理。	同意
3. 第四章跨河橋梁通行安全評估，模式驗證方面，在颱風或強降雨期間，因上游暴雨河川水位暴漲，河川下游暴潮及長浪衝擊，個別因素之影響或交互作用等現象，建議以本年度尼伯特颱風之相關觀測成果做一檢驗說明。	感謝委員的指教與建議。目前只取得國家災害防救科技中心後龍溪之水位資料，若其相關單位，已有計畫部署相關量測儀器，希望可做為未來模擬結果之驗證數據。	同意
4. 第四章跨河橋梁通行安全評估，跨河橋梁預警系統，視窗畫面輸入之重要參數，建議再考慮靈活性及實用性，例如邊界位置或參數最大值。	感謝委員的指教與建議。因情境模擬需花費許多模擬時間，今年以情境模擬模式設定區域為河口3.4公里為主，詳見期末報告 p4-1 及 p4-5 頁說明。	同意

五. 李俊穎 委員 1. 溢淹圖資內河口區部份(淡水河口等)建議可刪除或其他方式呈現。 2. 港區地形改變能否重新快速模擬。 3. 建議蒐集本年度颱風及河川水位流量相關資訊納入案例分析。	意見答覆 感謝委員建議。遵照辦理。 感謝委員的指教與建議。本速報系統利用預模擬之資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間，若地形改變是需要重新模擬並更新資料庫的。 感謝委員的指教與建議。已經完成今年度颱風相關新聞資訊的蒐集，將納入未來的研究作為案例分析。	同意 同意 同意
六. 林柏青 委員 1. 海嘯與異常氣候常嚴重威脅人類生命財產，因此本計畫建立防災預警系統，有其必要性，成果也值得肯定。 2. 環太平洋海嘯警報有美國預警中心監測發布，距離遠我們有充分應變時間。	意見答覆 感謝委員肯定。 感謝委員指教及建議。本速報系統可在海嘯發生初期即可利用資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間，可大幅地提高防災應變之時效性。	同意 同意

3.本系統針對台灣附近海嘯，距離太近，必須能即時發布警報，才能讓近海人員與設施有應變與逃離時間。但本系統必須輸入海嘯初始水位才能據以計算各港溢淹潛勢，而中央氣象局在地震發生當下只能提供地震規模與震源位置可能無法立即獲得抬昇水位，請問本系統如何處理？	感謝委員指教與建議。以資料庫之概念製作海嘯波高資料庫，以期在海嘯發生初期即可利用資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間	同意
4.極端氣候下跨河橋梁的水位預警系統亦有相同問題，輸入條件有下游示性波高、上游流量與水位差，這些資料獲得可能有問題，因為目前台灣各河口鮮有波浪測站能提供即時水位與波高，中央氣象局預報波浪都為大範圍海域的推算值，只能參考，不能當實際近岸波浪使用，而水利局似乎也沒有即時流量通報，請問系統如何運算？	感謝委員指教與建議。不論是異常氣候下跨河橋梁何時封橋，抑或海嘯發生時民眾應往何處疏散避難，都依據數值模擬所得之各地淹水的深度來決定，目前已知國家災害防治中心有計畫模擬異常氣候在河川的水位與流量，若搭配港灣研究中心在橋梁附近的港灣地區暴潮及波浪預報資料即可運算。	同意
5.如果只針對跨河橋梁安全示警，為何不乾脆在橋梁上安裝水位計，不就能隨	感謝委員指教與建議。於跨河橋梁安裝水位計係為方法之一，但其經費及維	同意

時獲得橋梁水位監測資料，並適時發布警報。	護不易，數值模擬是最快速最便利之方法。	
----------------------	---------------------	--

附錄六 ☐期中 ☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：

異常氣候下跨河橋梁與港區水位溢淹預警系統之建置研究

執行單位：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. 劉景毅 委員	意見答覆	
1. 預警系統的建置需有許多資源配合。本計畫經費有限，很難完整呈現預警系統。建議在結論可以對本計畫的工作範圍有所說明(例如水位僅考慮洪水高波)。	感謝委員指教及建議，請見報 p5.2 頁說明。	同意
2. 港的溢淹潛勢圖各港務分公司如何應用？研究成果的呈現應讓港務分公司可以據以擬定逃生路線圖。	感謝委員指教及建議，本研究是透過預報系統輸出 kmz 檔，港務分公司可透過查表並由系統輸出溢淹潛勢圖，可直接透過 Google Earth 軟體直接針對港區重點位置來判斷溢淹情形，詳見期末報告見 p3-15 頁說明。	同意
3. 因臺灣河川特性不一，建議應收集臺灣主要海洋附近橋梁資訊，再據以選取代表性模擬條件。	感謝委員指教及建議，本研究係依中心需求所建構，未來再將模擬成果與中心討論。	同意

4. 4.2 節的模擬結果，宜刪除有多邊界影響的部份。	感謝委員指教及建議。本研究在邊界條件不同上分別為不同之模擬條件。模式的模擬根據右邊界有、無流量而分成兩種流程，請見報告 p4-7 頁。	同意
5. 傳統橋梁安全設計水位，以平均洪水位為之，不考慮波浪影響。本計畫可以嘗試說明分析颱風波浪的影響。	感謝委員指教及建議。颱風來臨時，常造成河川水位的暴漲，尤其在出海口附近又受到暴潮及長浪的影響，已經計畫佈放儀器未來將透過實測資料來分析其影響。	同意
二. 曹登皓 委員	意見答覆	意見答覆
1. P3-3 提及以“無建物之地形資料來模擬，以代表所有建築物被一掃而空之最糟情形”，可能值得商榷？	感謝委員指教及建議，確實 DEM 不能代表最糟情形，已修改為較糟情形。請見報告 p3-3 頁。	同意
2. 雖然結合 Google Earth 之溢淹圖更清楚些，但預警單位需預警的範圍，如何界定是否可以明確？	感謝委員指教及建議，本研究是透過預報系統輸出 kmz 檔，港務分公司可透過查表並由系統輸出溢淹潛勢圖，可直接透過 Google Earth 軟體直接針對港區重點位置來判斷溢淹情形，預警單位也可以再疊加該港區邊界圖資以利判斷。	同意

3. COBRAS 模式是 2 維垂直方向的水動利模式，裡面使用了一些參數是別的研究者之建議值，但是否適用於臺灣的情況？	感謝委員指教及建議，目前是參考 Rodi (1980) 的建議經驗參數值，最常見的紊流模式是 $k-\varepsilon$ 模式，此為最簡單的完整紊流模式，其適用範圍廣、耗費計算資源相對經濟，且有合理的精度，因此在實際問題的模擬有十分廣泛的應用。	同意
4. 跨河橋梁預警系統的計算中波浪觀測點的示性波高與橋梁上游流量、平均水深等資料的取得時間如果不一致會如何？	感謝委員指教及建議，未來如能結合水利署所提供在跨河橋梁的水位與流量 24 小時預報資料，搭配港灣研究中心在橋梁附近的港灣地區暴潮及波浪預報資料，則可對跨河橋梁提供距樑底淨空值的短期預報。	同意
5. 橋梁至波浪觀測點的距離是否為直線距離，如果波浪觀點不在河口，如何計算？	感謝委員指教及建議，本研究主要以橋梁至波浪觀測點的距離為直線距離為考量，目前系統為初步建構之系統，未來的確還要在精細化。	同意
二. 李兆芳 委員	意見答覆	意見答覆
1. 模擬 2004 年南亞海嘯的敘述內容，建議更完整些，如表 2.3 參數和所表示的現象，以及比較結果潮位站的位置。	感謝委員的指教與建議。表 2.3 參考 Wang and Liu(2006) 所使用的參數已在報告加入詳細模擬資料及說明請見報告 P2-18~P2-	同意

	20	
2. P3-3 DSM 中文(英文)應在第一次提及時出現	感謝委員的指教與建議。已修正，詳見期末報告 p3-3	同意
3. P3-13 彩色圖印出效果，建議確認。	感謝委員的指教與建議。已再次確認在電腦顯示均為清晰，印刷之因素已建議中心在印製成果報告時要注意。	同意
4.P5-1 在文字敘述上，“特定風浪在一個極端的暴潮位”，以及“將結合視覺化之防災”，建議釐清說明	感謝委員的指教與建議。已修正，詳見期末報告 p5-1	同意
5. 提及參考文獻，一般需要在文章內容出現	感謝委員的指教與建議。已修正。	同意
四. 蘇青和 委員	意見答覆	
1 溢淹潛勢圖整合地理資訊系統，完整之溢淹潛勢圖建議放置於報告附錄，應包括全期完整 8 個港區之溢淹潛勢圖，溢淹潛勢圖應增加標示地震級數，機率…等資訊或製作對照表。	感謝委員指教與建議。因計畫提供的溢淹潛勢圖為入射波高範圍 0 到 10 公尺，間隔 0.1 公尺 1 張的溢淹潛勢圖，目的是搭配海嘯預警系統計算出的 8 個港外海的海嘯入射波高，因溢淹潛勢圖無法一一放進報告，以部分展示其成果，因系統可	同意

	直接匯出 kmz 檔，則可以直接透過 Google Earth 軟體放大至局部位置，並彙整先前研究成果，海嘯查詢手冊及太平洋地區 126 個震源發生 MW7.0 以上的海源淺層地震 100 年的期望次數，以及其地震所造成 8 個港外海的最大波高表(如附錄一及附錄二)，請見報告 p3-15	
2. 跨河橋梁通行安全評估，濱海跨河橋梁預警系統，視窗畫面輸入之重要參數，建議應考慮工程單位使用之實用性，參數名稱或需輸入內容應簡單易懂為原則。	感謝委員的指教與建議，已修正，請見報告 4.2.6	同意
3. 海嘯速報系統與海嘯溢淹潛勢圖整合成果，為重要計畫成果，建議報告作較詳細說明。	感謝委員的指教與建議，請見報告 3.2 節。	同意
4. 結論與建議宜加強較重要之計畫具體成果。	感謝委員建議。遵照辦理，請見報告第五章。	同意
五. 李俊穎 委員	意見答覆	
1. 溢淹圖資內應增加港區範圍線，在報告內建議擷	感謝委員建議。遵照辦理。如圖 3-10，請見報告 p3-14	同意

取並展示部份區域較細緻圖，以凸顯圖資細緻度。		
2. 跨河橋梁系統內有關初始水位定義為何？	感謝委員的指教與建議。原應該向相關單位取得，惟目前只取得國家災害防救科技中心後龍溪之水位資料，若其相關單位，可以快速結合此系統作為初始條件之輸入條件。	同意
3. 當入射波大於跨河橋梁現有模組範圍時，模式適用性為何？	感謝委員的指教與建議。目前已將橋樑至波浪觀測據理範圍擴增至 6000 公尺。	同意
六. 林柏青 委員 1. 由於全球暖化已証實是必然趨勢，因此異常氣候造成水位溢淹也必然會發生，尤其是海嘯，臺灣沿海對此更是毫無戒心與防範措施，一但發生必災情慘重。 2. 本研究藉由情境模擬，揭露可能溢淹狀況以提醒大眾並建立相關資料庫藉此提供風險評估及研擬因應措施，研究工作已	意見答覆 感謝委員的指教。 感謝委員的肯定。	同意 同意

有相當成果值得肯定。		
3. 由於異常氣候或海嘯災害對人民生命財產安全有極大威脅，建議繼續相關研究以提高大眾的災害意識與防災能力。	感謝委員的建議與肯定。	同意
4. 第四章跨河橋梁通行安全評估，跨河橋梁預警系統，視窗畫面輸入之重要參數，建議再考慮靈活性及實用性，例如邊界位置或參數最大值。	感謝委員的指教與建議。目前只取得國家災害防救科技中心後龍溪之水位資料，若其相關單位，已有計畫部署相關量測儀器，希望可做為未來模擬結果之驗證數據。 感謝委員的指教與建議。因情境模擬需花費許多模擬時間，今年以情境模擬模式設定區域為河口 3.4 公里為主，詳見期末報告 p4-1 及 p4-5 頁說明。	
五. 李俊穎 委員	意見答覆	
1. 溢淹圖資內河口區部份(淡水河口等)建議可刪除或其它方式呈現。	感謝委員建議。遵照辦理。	
2. 港區地形改變能否重新快	感謝委員的指教與建議。本	

速模擬。	速報系統利用預模擬之資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間，若地形改變是需要重新模擬並更新資料庫的。	
3. 建議蒐集本年度颱風及河川水位流量相關資訊納入案例分析。	感謝委員的指教與建議。已經完成今年度颱風相關新聞資訊的蒐集，將納入未來的研究作為案例分析。	
六. 林柏青 委員	意見答覆	
1. 海嘯與異常氣候常嚴重威脅人類生命財產，因此本計畫建立防災預警系統，有其必要性，成果也值得肯定。	感謝委員肯定。	
2. 環太平洋海嘯警報有美國預警中心監測發布，距離遠我們有充分應變時間。	感謝委員指教及建議。本速報系統可在海嘯發生初期即可利用資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間，可大幅地提高防災應變之時效性。	
3. 本系統針對台灣附近海嘯，距離太近，必須能即時發布警報，才能讓近海人員與設施有應變與逃離時間。但本系統必須輸入海嘯初始水位才能據	感謝委員指教與建議。以資料庫之概念製作海嘯波高資料庫，以期在海嘯發生初期即可利用資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間	

以計算各港溢淹潛勢，而中央氣象局在地震發生當下只能提供地震規模與震源位置可能無法立即獲得抬昇水位，請問本系統如何處理？		
4.極端氣候下跨河橋梁的水位預警系統亦有相同問題，輸入條件有下游示性波高、上游流量與水位差，這些資料獲得可能有問題，因為目前台灣各河口鮮有波浪測站能提供即時水位與波高，中央氣象局預報波浪都為大範圍海域的推算值，只能參考，不能當實際近岸波浪使用，而水利局似乎也沒有即時流量通報，請問系統如何運算？	感謝委員指教與建議。不論是異常氣候下跨河橋梁何時封橋，抑或海嘯發生時民眾應往何處疏散避難，都依據數值模擬所得之各地淹水的深度來決定，目前已知國家災害防治中心有計畫模擬異常氣候在河川的水位與流量，若搭配港灣研究中心在橋梁附近的港灣地區暴潮及波浪預報資料即可運算。	
5.如果只針對跨河橋梁安全示警，為何不乾脆在橋梁上安裝水位計，不就能隨時獲得橋梁水位監測資料，並適時發布警報。	感謝委員指教與建議。於跨河橋梁安裝水位計係為方法之一，但其經費及維護不易，數值模擬是最快速最便利之方法。	

附錄七 期末審查簡報

MOTC-IOT-105-H3DB001a

異常氣候下跨河橋梁與港區水位 溢淹預警系統之建置研究

Constructing an Early Warning Systems for Inundation
of Bridges across Rivers and Harbors Area under Severe
Weather



計畫主持人：陳冠宇
參與人員：劉俊志、張義偉、姚建中

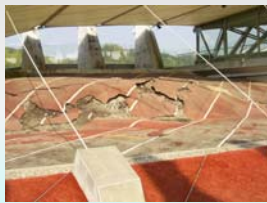
■研究內容與工作項目

本年度之工作內容為：

1. 建立異常氣候下(包括颱風暴潮、長浪以及河川水位等複合條件)，跨河橋梁水位溢淹之數值模式。
2. 建置颱風或強降雨期間，因上游暴雨造成的河川水位暴漲、河川下游暴潮及長浪衝擊，等複合影響之資料庫，據以評估極限狀況對臺灣海岸跨河橋梁通行安全影響。
3. 建置異常氣候下橋梁通行安全評估之視窗化操作介面。
4. 建置颱風暴潮或海嘯等長浪作用下，臺北、基隆、花蓮、蘇澳等4個港區的水位溢淹圖資。
5. 整合臺北、基隆、花蓮、蘇澳等4個港區的水位溢淹圖資，並轉為Google Earth地理資訊系統之圖資，以建立Google Earth地理資訊系統圖資之視窗化操作介面。

■海嘯災害與溢淹潛勢圖之必要性

一般以地震斷層運動造成之情形最常見。臺灣位於環太平洋地震帶，地震頻仍；較近的例子如九二一大地震，地表斷層上下運動最大可達十公尺，同樣的斷層運動萬一發生在海上，將產生大海嘯，造成重大傷亡。因此須正視臺灣可能的海嘯風險。



九二一大地震造成地表斷層上下錯動



板塊交界處發生錯動後引起海嘯之示意圖(邱等, 2005)

■海嘯災害與溢淹潛勢圖之必要性

Date	Country	Name	Max. wave height (m)	Death
2004/12/26	Indonesia	Sumatra	50.9	226,898
2005/3/28	Indonesia	Indonesia	3	10
2006/7/17	Indonesia	Java	10	802
2007/4/1	Solomon	Solomon	12.1	52
2007/4/21	Chile	Chile	7.6	10
2009/9/29	Samoa	Samoa	22.35	192
2010/2/27	Chile	Chile	29	156
2010/10/25	Indonesia	Sumatra	7	431
2011/3/11	Japan	Honshu	38.9	15,854
2013/2/6	Solomon	Solomon Islands		10
2014/4/1	Chile	Chile	4.40	
2015/10/18	Chile	Chile		8
2016/3/2	Indonesia	Sumatra	0.21	0



2009 Samoa



2011 Eastern Ocean (Tsunami)



2011 Great Eastern Japan (Tohoku) tsunami

■海嘯數值模式介紹

雖說海嘯有較多之應變時間，但依我國週遭之海嘯潛勢震源分布特性而言，**近域海嘯**在20-30分鐘即可到達陸地，應變時間略顯急迫；因此本計畫以資料庫之概念製作海嘯波高資料庫，以期在海嘯發生初期即可利用資料庫得知各港口可能之水位變化及到達時間，可大幅度提高防災應變之時效性。要建置波高資料庫、溢淹模擬及機率分析必需借重海嘯數值模式。

本計畫採用美國康乃爾大學土木與環境工程學系團隊發展出的Cornell Multigrid COupled Tsunami model(COMCOT)模式作為主要模擬工具。經過智利海嘯、花蓮海嘯以及南亞海嘯之實例驗證，其成效尚稱滿意；其研究成果也常發表於國內外知名期刊，該模式也為國內其他相關學術單位所使用。故在台灣地區海嘯實測資料缺乏情況之下，本計畫後續利用南亞海嘯之案例作為校正之用及以2011東日本海嘯驗證。

■海嘯數值模式介紹-海嘯水動力數值模式

COMCOT 數值模式提供計算由斷層錯動產生的海床垂直位移量以及海嘯波傳播的計算。與其它相似之模式相較之下，擁有下列之特點：

1. 使用巢狀網格系統(multi-grid nested system)計算，可保持遠域及近岸之計算速度與精確度。
2. 可依計算區域，選擇使用球狀或直角座標系統計算。
3. 可依計算區域，選擇使用線性或非線性方程式計算。
4. 使用蛙跳法(leap-frog)及有限差分方法來解淺水方程式(shallow water equation)。
5. 提供不同初始波形之方式：(例如地震、海底山崩、人工造波或起始水面資料檔等)。

球面座標下之淺水方程式可表示為：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left[\frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \phi} (\cos \phi Q) \right] = 0$$
$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \phi} \frac{\partial \zeta}{\partial \psi} - fQ = \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left[\frac{h^3}{3R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial P}{\partial \psi} \right) + \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\cos \phi \frac{\partial Q}{\partial \psi} \right) \right]$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \phi} - fP = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left[\frac{h^3}{3R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial P}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\cos \phi \frac{\partial Q}{\partial \phi} \right) \right]$$

ψ 、 ϕ 和 t 各代表經度、緯度和時間， ζ 為水面高， P 與 Q 為經度方向與緯度方向的質量通量， h 為平均水深。

■海嘯數值模式介紹-海嘯水動力數值模式

若近岸地區時，改採卡氏座標系統，考慮底部摩擦作用之非線性淺水方程式可以下列各式表示之

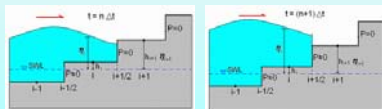
$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} P + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fQ + \tau_x H = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} Q + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + fP + \tau_y H = 0$$

式中 t 是時間， ζ 為自由表面之變動水位， H 為全水深， P 與 Q 為 x 方向與 y 方向的流量， g 為重力加速度， f 為科氏力參數， τ_x 、 τ_y 分別為 x 與 y 方向底部摩擦力。

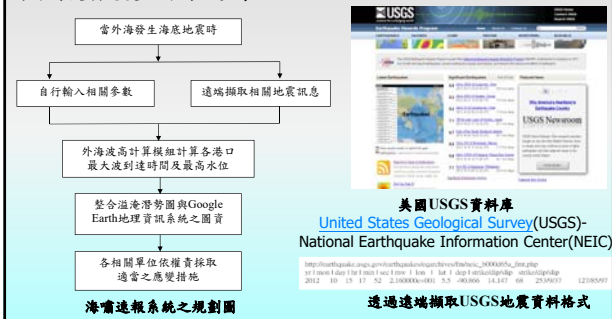
COMCOT 模式在近岸海陸(乾陸)交界處採用移動邊界條件；若波高足以進入陸地時，則容許海水進入陸地網格，則可模擬出長波於陸地上之溢淹範圍及溯上高度。



移動邊界示意圖

■系統建構-地震資料來源與擷取

本計劃海嘯波高資料庫之建置構想及初始概念，即是尋找一個方法能提高海嘯計算之效率，在遠/近域海嘯發生後，能夠快速掌握可能的最大波高以及到達時間，並轉為 Google Earth 地理資訊系統之圖資，提供給各港務局作為後續應變之作為之參考。



美國USGS資料庫
United States Geological Survey(USGS)-
National Earthquake Information Center(NEIC)

透過遠端擷取USGS地震資料格式

■系統建構-地震資料來源與擷取

目前計畫完成之即時地震擷取系統之資料來源為USGS、BATS，並增設日本防災科學技術研究所(National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention NIED)所提供之F-net (Full Range Seismograph Network of Japan)，其範圍在東經120度到156度，北緯20度到49度，以供地震資料參考。

	機構名稱	網址及資料提供範圍
美國	地質調查所(USGS)	http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/cqinthenews/ 資料提供範圍：全球(2013/10網址更新)
台灣	中研院地地所 寬頻地震網(BATS)	http://bats.earth.sinica.edu.tw 資料提供範圍：東經119-123度，北緯21-26度
日本	防災科學技術研究所 (NIED)	http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=en 資料提供範圍：東經120-156度，北緯20-49度

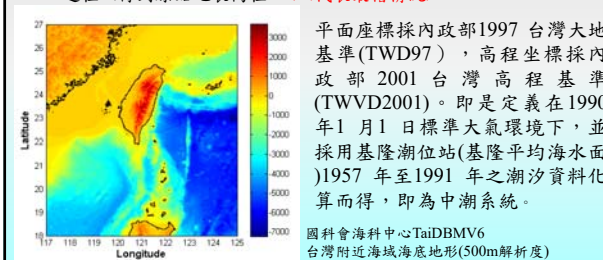
本系統主要地震資料之網址及對應之資料提供範圍



目前完成之即時地震擷取系統介面

■系統建構-數值地形

- 陸域資料：內政部地政司所提供之5mx5m之DSM及DEM數值地形資料
- 海域資料：海科中心網格間距為500公尺之水深資料(TaiDBMV6)
 - DSM (Digital Surface Model) 則指的是地表上所有地物，包含人工構造物或自然森林或人工工作物覆蓋地面的高程。
 - DEM(Digital Elevation Model) 經由大量自動與人工的植生濾除過程以得到原始地表高程。〈以代表最糟情況〉



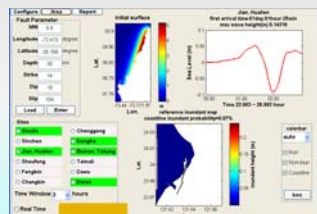
國科會海科中心TaiDBMV6
台灣附近海域海底地形(500m解析度)

■系統建構-圖形使用者介面

本計畫利用Matlab內建的介面設計模組GUIDE (Graphic User Interface Design Environment)，提供使用者一個「圖形使用者介面」(Graphical User Interface, GUI) 的程式設計環境，建立近域之海嘯預警系統。它可以產生每一個控制物件的標準反應函式，使用者只要填入所需的指令或敘述。並利用滑鼠快速地拖曳出所需的介面物件及其大小；類似VB的物件導向概念。

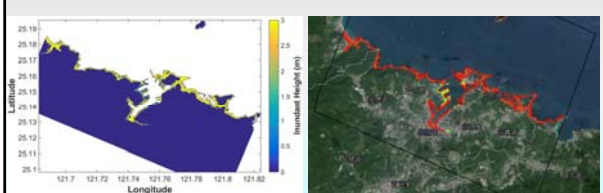


Chen, G. Y., C. C. Liu, and C. C. Yao, (2015), "Forecast System for Offshore Water Surface Elevation With Inundation Map Integrated for Tsunami Early Warning", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, DOI: 10.1109/OJE.2013.2295948



■結合地理資訊系統(GIS)

溢淹潛勢圖可分為實體圖與電子圖；前者不易臨時改變，後者則可依需要增減或局部改變所呈現的圖資。本研究使用COMCOT溢淹模式，以不同波高(0.5m、1m、2m、3m、4m、6m、10m)模擬海嘯波垂直岸線入射，並結合地理資訊系統(GIS)，呈現視覺化之防災溢淹潛勢圖(Inundation Map)。

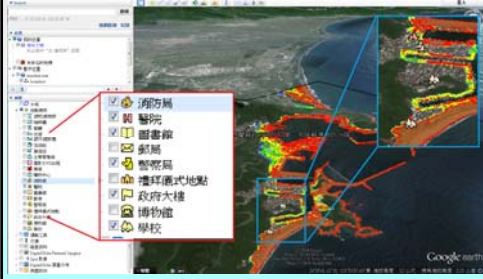


溢淹潛勢圖(實體圖)

溢淹潛勢圖(電子圖)

■結合地理資訊系統(GIS)

電子圖可以和地理資訊系統(GIS)相結合，配合各種圖層，依照每個淹浸潛勢圖的功能，以最一目了然的方式呈現。各地理資訊系統中尤其以 Google Earth 最方便經濟，系統使用者可直接於網路上下載使用應用軟體，同時可以免除建立基本圖層及數位資料之困擾；其強大之多圖層功能可應用於防災圖資之建立，做為淹浸潛勢圖的展示平臺。因此本研究為使淹浸圖資應用性更為廣泛。

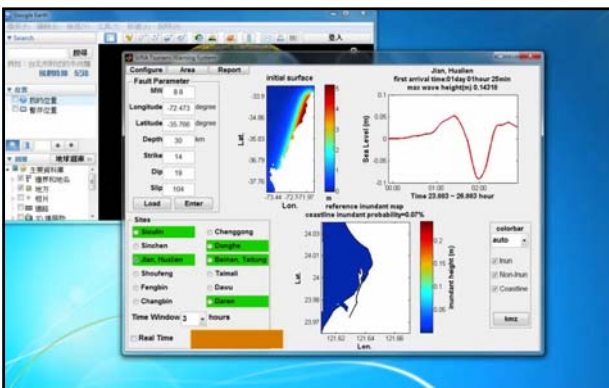


■結合地理資訊系統(GIS)

將數值圖資與Google Earth結合，目的為瞭解海岸及港灣地區(包括臨海地區之道路或橋梁)受影響範圍，據以提高港灣防災能力及建立民眾自救知識與緊急逃生用。(系統所產生的kml檔可以很方便的傳遞給相關單位)



Chen, G. Y., C. C. Liu, and C. C. Yao, (2015), "Forecast System for Offshore Water Surface Elevation With Inundation Map Integrated for Tsunami Early Warning", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, DOI: 10.1109/OJE.2013.2295948



系統展示

兩種災害潛勢地圖

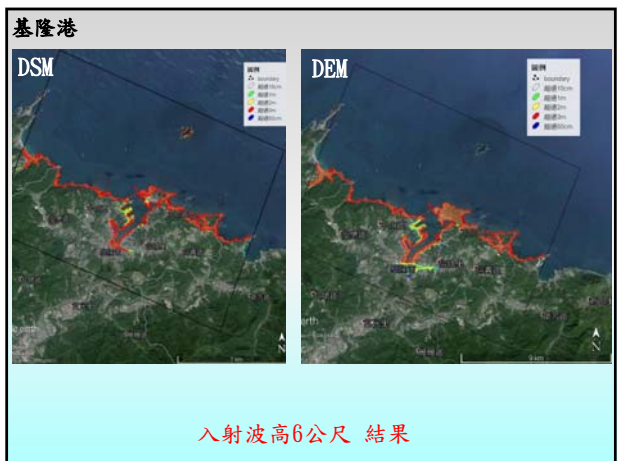
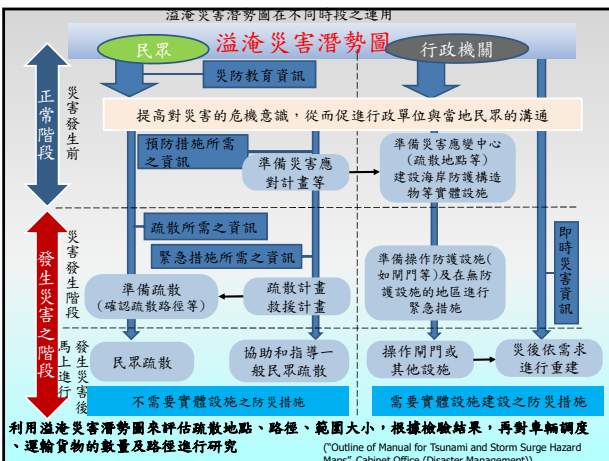
一般民眾疏散應注意之內容

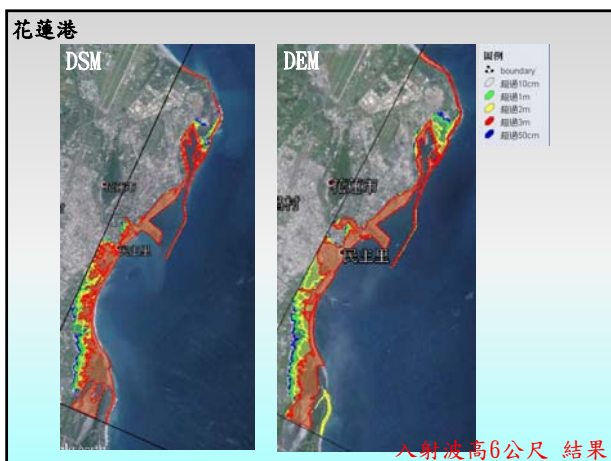
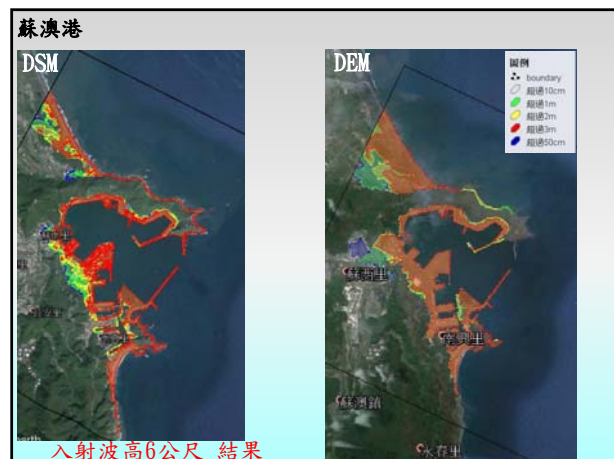
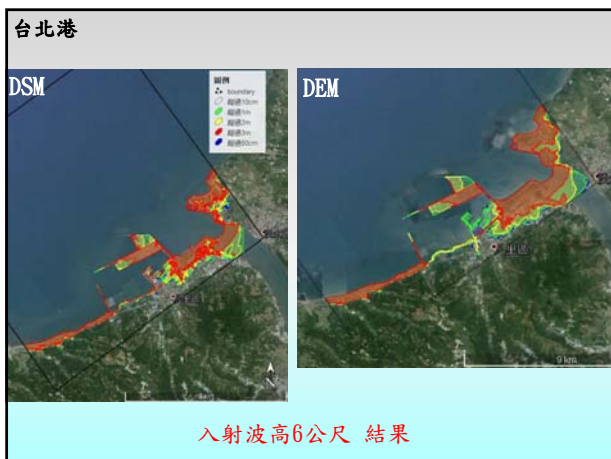
- 安全疏散資訊
民眾疏散地點、疏散路徑及其他必要的疏散資訊
- 防災教育資訊
提高民眾區域災害意識的資訊

災害行政管理應注意之內容

- 根據各行政機構之災害預防措施及應變措施計劃的相關資訊
- 淹浸地圖與數值資料，依據不同目的而相疊加，並據以呈現所需資訊。

("Outline of Manual for Tsunami and Storm Surge Hazard Maps", Cabinet Office (Disaster Management))





■跨河橋樑通行安全評估

2013年海燕颱風雖然遠在菲律賓外海，但卻在龍洞產生瘋狗浪，造成八死八傷的慘劇；2008年熱帶氣旋納吉斯引起的暴潮更是造成緬甸大區域的傷亡與破壞；可見颱風的威脅不容小覷。颱風來臨造成河川水位暴漲，出海口附近又受暴潮及長浪衝擊，可能對跨河橋樑通行安全形成威脅。

- 本研究將透過2維垂直的水動力模式以情境模擬方式，來評估橋樑附近的最大水位和距梁底淨高的距離來了解對跨河橋樑通行安全之可能影響，藉以提供橋樑安全性的參考。

挪威大西洋海濱公路(64號公路)

2005年8月美國卡崔娜(Katrina)颶風導致暴潮(Storm surge)持續數小時，嚴重損壞海岸結構物 (Roertson et al., 2007)

■跨河橋樑通行安全評估

巨浪來襲 連人帶車打落海

【蘋果日報】2014年10月13日，基市1名40歲王姓遊客，下午騎機車前往海洋大學前方防波堤，抵達前端綠燈塔處，因空無一人，王男待不到30秒時間，隨即轉身想離去，但看到一波大浪 越過約2樓高防波堤面時，王男便停了下來，心裡計算幾秒後，起身往外騎去，詎料才幾步路，又來了一陣10米高巨浪，連車帶人衝落內側消波塊間，王男回想說，當時心想糟了！隨即放掉把手，「真幸運，還好掉在水裡！」，否則撞到消波塊就不堪想像，王男隨即自行爬上消波塊待援。。

➤ 封橋案例

2011年8月30日

- ◆ 南瑪都颱風來襲期間，正逢滿潮期，在強風吹襲下造成大浪越過南彰化大城與芳苑沿海地層下陷區，一度危及西港橋行車安全，經縣府緊急執行封橋管制，會同第四河川局勘查後，初步擬定整治漁寮溪、改建西港橋以及加高堤岸等計畫，確保民眾安全。
- ◆ 大城鄉西港大橋改建工程，歷經18個月完工，昨天由彰化縣長卓伯源主持通車

【聯合報／記者凌筠婷／大城報導 2014.01.22】

➤ 封橋案例

2013-09-22天兔颱風侵襲台東，南迴公路南興段受災嚴重，因離海岸近，有被大浪打到公路上的沙石



- ◆ 南迴公路香蘭段等著通車的車輛越來越多，大排長龍
- ◆ 蘭嶼迎風面的東清村大浪打上五十公尺遠的環島公路上，路旁停放拼板舟的簡易船屋也被強風吹毀

➤ 封橋案例

2012-06-21輕颱泰利由西南方向接近台灣，白沙通梁三十人公廟前觀海木製棧道遭大浪吹毀



- ◆ 海上長浪達五公尺以上，澎湖跨海大橋一度因積水封橋

➤ 封橋案例

2003-09-03颱風“杜鵑”橫掠汕頭海面

- ◆ 汕頭沿線海岸都出現了罕見的大浪。昨天傍晚恰逢漲潮高潮期，晚上6時記者在海濱長廊看到，呼嘯的海風捲起幾米高的大浪，隨著大浪噴濺而起的海水不時的漫過長廊，使海濱路的許多路段都出現了水浸。不少汽車、摩托車由於排氣管進水而不得不“拋錨”在水中。
- ◆ 2007年09月02日07:50 【青島新聞網】棧橋封橋！三百遊客緊急疏散 巨浪昨天傍晚突襲棧橋110民警將警車開上橋勸回冒險看海遊客



➤ 封橋(路)案例

2015-08-07中度颱風蘇迪勒

- ◆ 行駛台九線往南接近441公里處時，突然一個長浪打上岸朝車輛直撲，車輛擋風玻璃應聲碎裂

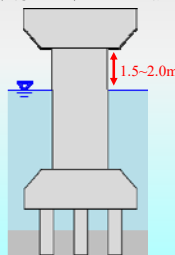


2016-09-13強度颱風莫蘭蒂



■ 跨河橋樑通行安全評估

依據國內相關之橋樑設計規範，設計洪水水位不可高於橋梁上構(一般係以大梁梁底下方1.5~2.0m淨高處作為設計洪水水位)、甚至產生越流之情形，然而近年來於暴雨時期經常發生洪水量遠大於設計洪水量之Q100或Q200，且部分橋梁位於土石堆積之河段，往往也因為土石堆積、河床抬升，使得梁下淨高縮減及通水斷面不足，而發生水位幾乎到達橋梁底或高於橋梁上構等災況。當水位持續升高，水流漫淹過橋面版，水流直接作用於大梁及橋面版，對橋體而言將產生壓力流之現象，則橋梁上構受到拖曳力(drag force)及側向力(lateral force)等將驟增，致使橋梁穩定性降低，可能產生沉陷、變位、傾倒等災害(林呈，2012)



■COBRAS模式介紹

本計畫使用COBRAS (Cornell BReaking wave And Structure)流體模式以美國 Los Alamos 國家實驗室發展的二维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, 為一二维垂直方向(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)。

◆ COBRAS(Cornell Breaking Wave and Structures) 模式為二维垂直方向(2DV)的水動力模式, 主要求解雷諾平均Navier Stokes (RANS) 方程式和一個非線性的k-ε模型。本模式以NASA的RIPPLE模式為基礎, 經康乃爾大學對程式碼進行特定調整來處理碎波和孔隙流的問題。

連續方程式:

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0$$

動量方程式:

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

■COBRAS模式介紹

k-ε 紊流閉合模式的控制方程如下:

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

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

其中

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

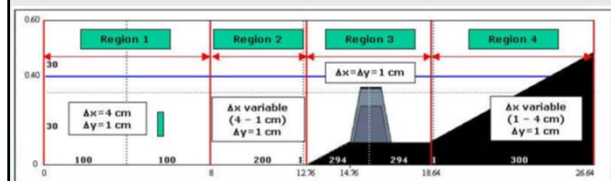
$\epsilon = \nu \left\langle \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \right\rangle$ 為紊流消散率 (turbulence dissipation rate)

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

■COBRAS模式介紹-模式特徵

- ◆ 以FORTRAN撰寫
- ◆ 使用VOF(Volume of Fluid)法來追蹤自由表面
- ◆ 提供的連續維形方程組來定義模式區域內的任意障礙物和孔隙物。
- ◆ 提供5種造波方式 Linear、Stokes II、solitary、Cnoidal、Stokes V
- ◆ 內建汙染濃度擴散模式
- ◆ 由模式輸出資料可知壓力、渦度、紊流黏滯力、動能、紊流消散、水平和垂直流速、自由表面的構成、質量守恆以及水漫(overtopping)的體積。
- ◆ 可設置障礙物和孔隙物質
由下列圓錐函數設定物質的範圍, 孔隙物質另須設定滲透性和孔隙率

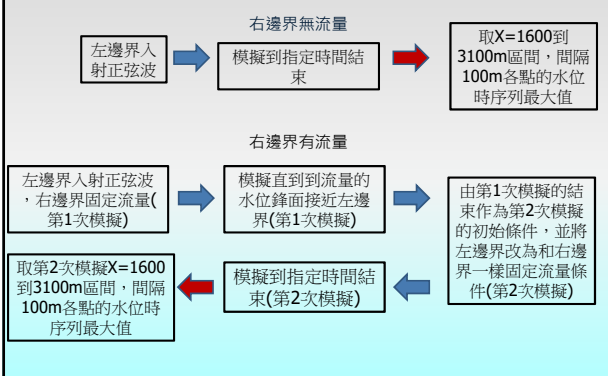
- ◆ 模式區域可由數個解析不同的子網格區域來建構, 可依研究區域的特性需求設定較高解析度的網格。如下圖為4個子區域, 有各自的x和y方向解析設定



取自 COBRAS User's manual Version 1.01

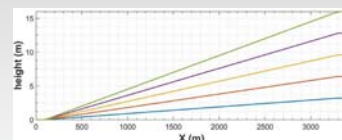
■模式設定

COBRAS模式應用於本計畫之模擬流程



■短距離模式設定

本研究模擬5種入射波高分別在5種坡度地形、4種初始水位以及5種流量條件下的傳播情況。由於當入射波高大於初始水深時, 會導致入射波高從邊界入射後直接破碎, 所以本研究在扣除這些情況後所作的情境模擬共有440個。

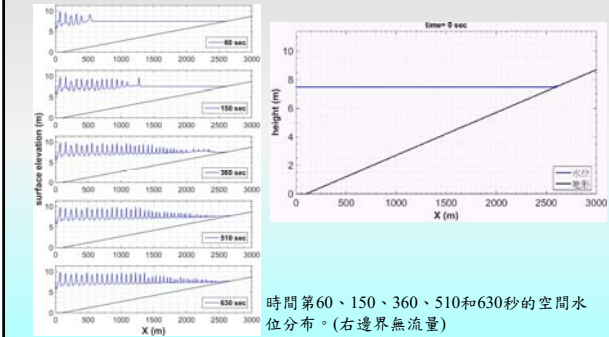


模式的5種坡度地形(坡度0.001到0.005)

5種入射波高	3種地形坡度	4種初始水位 (依坡度而定)	5種流量
2米	0.001		0 平方米每秒
3米	0.002		-2 平方米每秒
4米	0.003		-4 平方米每秒
5米	0.004		-6 平方米每秒
6米	0.005		-8 平方米每秒

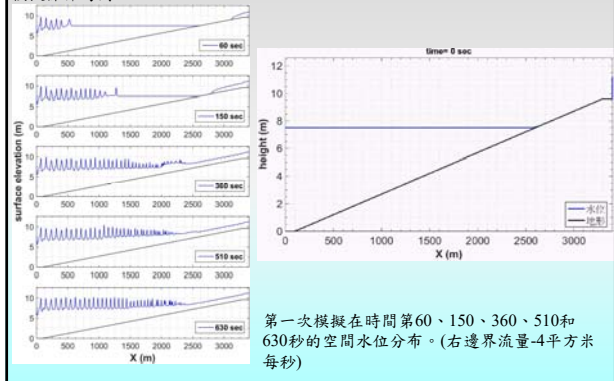
■短距離模擬設定(無流量情況)

在無流量的情況下，由左邊界持續入射10秒週期的正弦波直到模擬結束後，從X=1600到3100 m 每隔100 m取一個點，共取16個位置。最後從每個位置記錄的水位時序序列中，分別取出最大水位值。以左邊界波高4 m，坡度0.003，初始水位7.5 m且右邊界無流量的模擬條件為例



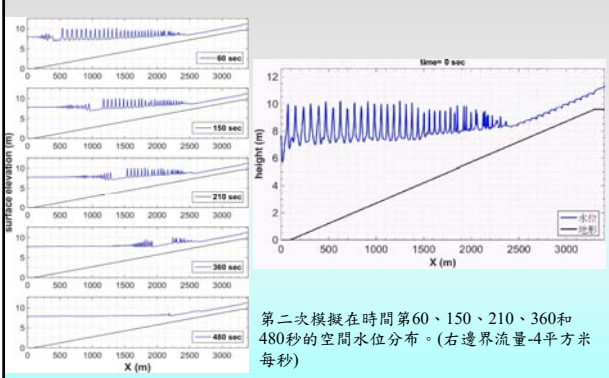
■模擬測試(右邊界-4m²/s流量)

以左邊界波高4 m，坡度0.003，初始水位7.5 m且右邊界流量-4平方米每秒的模擬條件為例



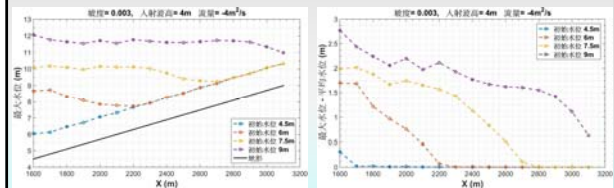
■模擬測試(右邊界-4m²/s流量)

第二次的模擬以第一次模擬結束時間第630秒時的流速和水位作為初始條件，同時將左邊界條件更改為流量-4平方米每秒後，繼續模擬750秒。



■短距離模擬結果

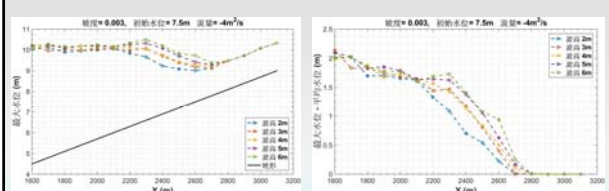
以了解空間上的最大水位變化，從440個模擬取幾個例子作探討。下圖為坡度0.003，入射波高4 m，流量-4平方米每秒在4種不同初始水位的模擬結果中，16個X座標點所對應的水位時序序列最大值。該圖顯示流量為各點提供了約1.4米的水深。將最大值扣除各自的平均水位後，非零值的部分可視為由波浪造成水位影響。由圖可知每種初始水位條件皆呈現越往上坡，水位值皆呈現下降的趨勢



坡度0.003，入射波高4 m，流量-4平方米每秒在不同初始水位的16個定點最大水位減平均水位值。

■短距離模擬結果

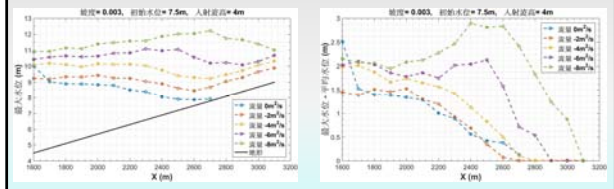
比較不同入射波高的影響，在此從坡度0.003，初始水位7.5 m，流量-4平方米每秒對5種入射波高的模擬結果中，取16個X座標點所對應的水位時序序列最大值作比較。不同入射波高的影響可能僅在某些特定區間才有較大的差別性



坡度0.003，入射波高4 m，流量-4平方米每秒在不同初始水位的16個定點最大水位減平均水位值。

■短距離模擬結果

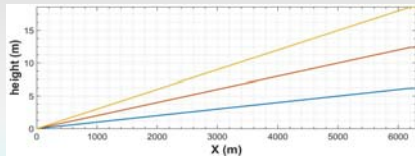
以坡度0.003，初始水位7.5 m且入射波高4m對5種不同流量的模擬結果中，取16個X座標點所對應的水位時序序列最大值作比較，藉以了解流量帶來的可能影響，以最大值扣除各自的平均水位後的波浪影響值，變化趨勢大致呈現當流量越大，水位受波浪的影響越大，且影響距離越長。由入射波群的第一個波受地形影響而快速淺化所造成，但當波群傳播到X=1700 m時，第一波因波高過大而破碎，其波高僅剩原來的一半。



坡度0.003，初始水位 7.5 m，入射波高4 m在不同流量的16個定點最大水位減平均水位值。

■長距離模式設定

為了瞭解當同樣條件的入射波較長距離入射時所產生的不同影響，在此將模式區域設定的水平長度由原本的3.4km增加為6.3km模擬3種入射波高分別在3種坡度地形、4種初始水位以及5種流量條件下的傳播情況。由於當入射波高大於初始水深時，會導致入射波高從邊界入射後直接破碎，所以本研究在扣除這些情況後所作的情境模擬共有180個。

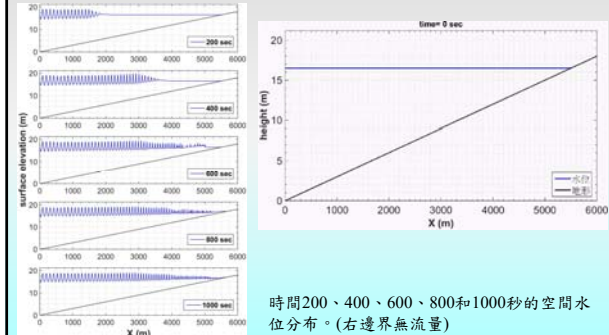


模式的3種坡度地形(坡度0.001到0.003)

3種入射波高 2米 3米 4米	×	3種地形坡度 0.001 0.002 0.003	×	4種初始水位 (依坡度而定)	×	5種流量 0 平方米每秒 -2 平方米每秒 -4 平方米每秒 -6 平方米每秒 -8 平方米每秒
--------------------------	---	-----------------------------------	---	-------------------	---	---

■長距離模擬設定(無流量情況)

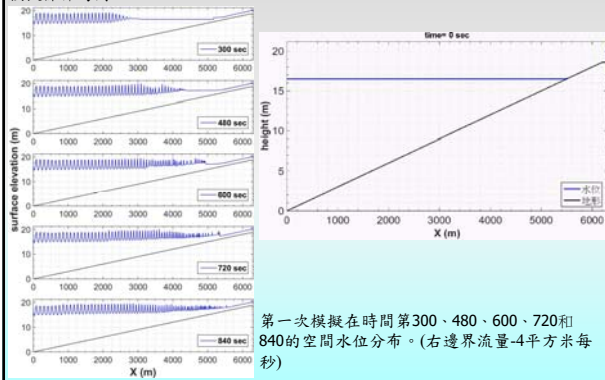
在無流量的情況下，由左邊界持續入射10秒週期的正弦波直到模擬結束後，從X=4500到6000 m 每間隔100 m取一個點，共取16個位置。最後從每個位置記錄的水位時序列中，分別取出最大水位值。以左邊界波高4 m，坡度0.003，初始水位16.5 m且右邊界無流量的模擬條件為例



時間200、400、600、800和1000秒的空間水位分布。(右邊界無流量)

■長距離模擬測試(右邊界-4m²/s流量)

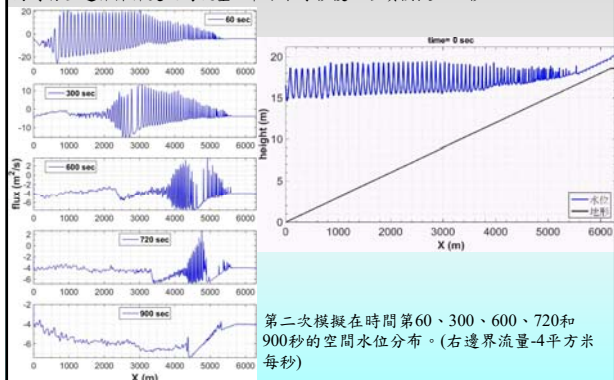
以左邊界波高4 m，坡度0.003，初始水位16.5 m且右邊界流量-4平方米每秒的模擬條件為例



第一次模擬在時間第300、480、600、720和840秒的空間水位分布。(右邊界流量-4平方米每秒)

■模擬測試(右邊界-4m²/s流量)

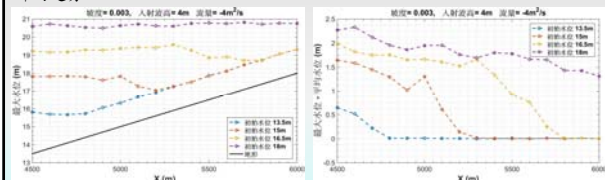
第二次的模擬以第一次模擬結束時間第840秒時的流速和水位作為初始條件，同時將左邊界條件更改為流量-4平方米每秒後，繼續模擬1000秒。



第二次模擬在時間第60、300、600、720和900秒的空間水位分布。(右邊界流量-4平方米每秒)

■長距離模擬結果

以了解空間上的最大水位變化，從180個模擬取幾個例子作探討。下圖為坡度0.003，入射波高4 m，流量-4平方米每秒在4種不同初始水位的模擬結果中，16個X座標點所對應的水位時序列最大值。該圖顯示流量為各點提供了約1.4米的水深。將最大值扣除各自的平均水位後，非零值的部分可視為由波浪造成水位影響。由圖可知每種初始水位條件皆呈現越往上坡，水位值皆呈現下降的趨勢

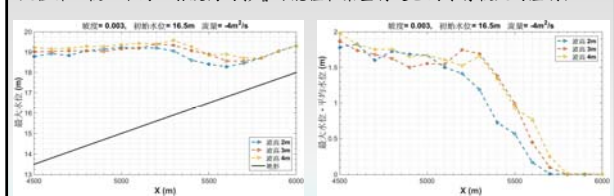


坡度0.003，入射波高4 m，流量-4平方米每秒在不同初始水位的16個定點水位時序列最大值。

坡度0.003，入射波高4 m，流量-4平方米每秒在不同初始水位的16個定點最大水位減平均水位值。

■短距離模擬結果

比較不同入射波高的影響，在此從坡度0.003，初始水位16.5 m，流量-4平方米每秒對3種入射波高的模擬結果中，取16個X座標點所對應的水位時序列最大值作比較。不同入射波高的影響可能僅在某些特定區間才有較大的差別性

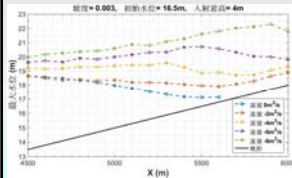


坡度0.003，初始水位 16.5 m，流量-4平方米每秒在不同波高的16個定點水位時序列最大值。

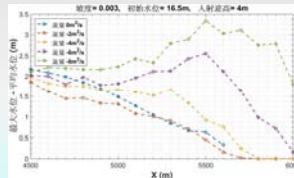
坡度0.003，入射波高4 m，流量-4平方米每秒在不同初始水位的16個定點最大水位減平均水位值。

■長距離模擬結果

以坡度0.003，初始水位16.5 m且入射波高4m對5種流量的模擬結果中，取16個X座標點所對應的水位時序列最大值作比較，藉以了解流量帶來的可能影響。如左下圖所示，大致的趨勢皆為流量越大，水位越高。



坡度0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m在不同流量的16個定點水位時序列最大值。



坡度0.003，初始水位 7.5 m，入射波高 4 m在不同流量的16個定點最大水位減平均水位值。

表4.3 坡度0.004到0.005的短距離情境模擬在座標X=2000 m的最大水位(單位: m)

入射波高 (m)	流量 (m³/s)	坡度0.004	坡度0.005
0	0.00	8.56 11.56 14.14 0.00 10.68 14.50 16.76	
2	8.54	9.02 11.80 13.97 10.65 11.22 14.32 16.52	
4	8.89	9.67 12.37 14.18 10.62 11.84 14.81 17.21	
6	9.06	10.48 12.95 14.50 10.91 12.13 15.20 17.20	
8	9.27	11.97 13.35 14.67 11.15 12.63 15.29 17.62	
0	0.00	8.68 12.11 14.87 0.00 10.93 14.83 18.03	
2	8.55	9.01 12.02 14.56 10.46 11.38 14.41 17.47	
4	8.89	9.72 12.75 14.91 10.62 11.81 15.12 17.74	
6	9.06	11.02 13.04 15.32 10.91 12.78 15.39 18.29	
8	9.27	12.24 13.52 15.22 11.15 13.90 15.84 18.21	
0	0.00	8.72 12.22 14.94 0.00 10.76 15.44 18.54	
2	8.55	9.49 11.78 14.79 10.44 11.13 14.35 17.90	
4	8.89	9.96 12.55 14.83 10.62 11.49 15.31 18.02	
6	9.06	11.25 13.13 15.02 10.91 12.89 15.45 18.43	
8	9.27	12.33 13.59 15.40 11.15 14.01 16.32 18.68	
0	0.00	8.56 12.39 14.67 0.00 11.02 15.13 18.22	
2	8.55	9.45 12.08 14.39 10.45 11.54 14.49 18.49	
4	8.89	9.85 12.59 14.61 10.62 11.82 14.89 18.43	
6	9.07	11.41 13.16 14.96 10.91 12.90 15.44 18.32	
8	9.27	12.23 13.58 15.30 11.15 13.79 16.02 18.61	
0	0.00	8.64 12.85 15.09 0.00 11.11 15.62 18.51	
2	8.55	9.44 12.86 14.52 10.44 11.55 14.32 18.10	
4	8.89	9.81 12.60 14.71 10.62 12.15 15.09 17.98	
6	9.06	10.80 13.05 15.10 10.91 13.02 15.48 18.18	
8	9.27	12.40 13.79 15.37 11.15 13.97 16.00 18.35	

表4.5 坡度0.001到0.003的短距離情境模擬在16個X座標水位時序列扣除平均水位後，發生最大差值的X座標。

入射波高 (m)	流量 (m³/s)	坡度0.001	坡度0.003
0	0.00	1600 1600 1600 2100 1600 1600 1700 2300	
2	1800	1600 1800 1800 2300 1600 1600 1700 2400	
4	1600	1600 1800 2300 1600 1600 1900 2400	
6	1600	1600 1800 2100 2000 1600 1900 2300	
8	1600	2000 2500 2000 1600 1600 2500 2900	
0	0.00	1600 1600 1700 1800 1700 1800 1900	
2	1600	1700 1600 1600 1600 1600 1600 2200	
4	1600	1600 1600 2000 1600 1600 1700 2100	
6	1600	1900 1600 1700 1600 1600 1700 2000	
8	1600	2000 2500 1600 1600 2000 1700 3000	
0	0.00	1600 1600 1600 1800 1600 1600 1600	
2	1600	1600 1700 1700 1600 1700 1700 1600	
4	1600	1600 1600 1600 1600 1600 1600 1600	
6	1600	1600 1600 1800 1600 1600 1600 1600	
8	1600	1600 1600 1800 1600 1600 1600 1600	
0	0.00	1600 1600 1600 1600 2000 1600 1800	
2	1600	1600 1700 1700 1600 1600 1600 1800	
4	1600	1600 1600 1600 1600 1600 1600 1600	
6	1600	1600 1600 1600 1600 1600 1600 1600	
8	1600	1600 1600 1600 1600 1600 1600 1600	
0	0.00	1600 1600 1600 1600 1600 1600 1600	
2	1600	1600 1600 1600 1600 1600 1600 1600	
4	1600	1600 1600 1600 1600 1600 1600 1600	
6	1600	1600 1600 1600 1600 1600 1600 1600	
8	1600	1600 1600 1600 1600 1600 1600 1600	

表4.7 長距離情境模擬在座標X=5000 m的最大水位(單位: m)

入射波高 (m)	流量 (m³/s)	坡度0.001	坡度0.002	坡度0.003
0	0.00	0.00 0.00 6.40 8.02 0.00 10.23 11.81 13.46 0.00 15.26 17.77 19.84		
2	-4	6.72 6.79 7.36 8.92 11.45 12.07 14.02 14.43 16.31 16.90 19.23 20.24		
4	-6	7.20 7.30 7.83 8.91 12.63 14.44 14.65 14.88 16.67 19.11 19.82 20.81		
6	-8	7.57 7.70 9.41 10.21 15.00 15.05 15.07 15.90 19.20 19.91 20.27 21.22		
0	0.00	0.00 6.29 7.58 0.00 10.30 11.81 13.79 0.00 15.47 17.83 20.10		
2	-2	6.14 6.20 6.81 8.15 10.95 11.20 12.82 13.79 15.89 16.07 18.54 20.04		
4	-4	6.72 6.78 7.24 8.85 11.47 12.52 13.99 14.69 16.32 17.16 19.17 20.56		
6	-6	7.20 7.27 7.83 9.48 12.47 14.38 14.88 15.32 16.68 19.20 20.13 20.99		
8	-8	7.55 7.62 8.22 10.88 14.73 15.40 15.60 15.88 18.28 20.10 20.58 21.40		
0	0.00	0.00 6.27 7.55 0.00 10.36 11.83 13.36 0.00 15.58 17.99 20.11		
2	-2	6.14 6.22 6.84 8.11 10.95 11.48 12.90 13.94 15.89 16.33 18.37 20.14		
4	-4	6.73 6.82 7.27 8.55 11.46 12.27 14.22 14.76 16.32 17.83 19.37 20.64		
6	-6	7.22 7.30 7.87 9.00 12.71 14.71 14.90 15.42 16.69 19.19 20.00 21.16		
8	-8	7.57 7.66 9.41 11.15 14.97 15.19 15.70 16.17 19.05 20.03 20.60 21.70		

由於對跨河橋梁的通行安全而言，水位距梁底的距離較為重要，故在此分別將16個X點的最大水位扣除地形高程所得的最大水深值製作成表格列於附錄以供參考。之後可利用梁底距河床高度扣除最大水深值取得水位距梁底淨空以作為封橋標準的參考。

■跨河橋梁預警系統建構

本計畫預計所建立的跨河橋梁預警系統主要介面如下圖，介面所需提供的參數共有5項包括：

1. 梁底距河床高度 (梁底到乾河床的垂直距離)
2. 橋梁至波浪觀測點的距離 (1600~3100;4500~6000)
3. 橋梁到波浪觀測點的平均坡度 (1600~3100:0.001~0.005) (4500~6000:0.001~0.003)
4. 波浪觀測點的示性波高 (1600~3100:2m~6m) (4500~6000:2m~4m)
5. 橋梁流量
6. 橋梁平均水深

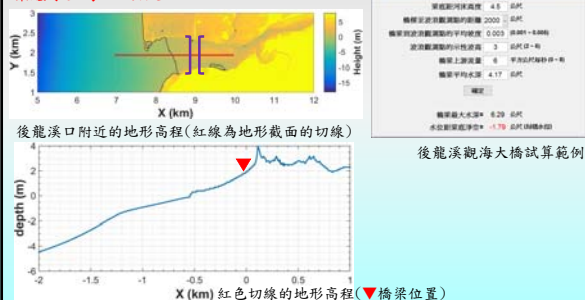
1. 橋梁最大水深
2. 水位距梁底淨空橋梁

目前已取得國家災害防救科技中心所提供之後龍溪及北勢大橋之預報水位，資料將傳送至交通部運研所港灣研究中心之FTP。

以水位距梁底淨空橋梁作為是否影響橋梁通行安全的考量

■跨河橋梁預警系統-以後龍溪為例

以苗栗的後龍觀海大橋作為本程式的應用範例，在此計算X在-2到0公里之間的平均坡度作為橋梁與往下游2公里間的平均坡度，計算結果約0.003。此切線較接近觀海大橋的第11號立柱位置，其梁底距河床高度約為4.5公尺。假設橋梁往下游2公里處的示性波高和水位差各為3、0.6公尺，橋梁往下游1公里處上游流量為6平方米每秒，則可得到橋梁最大水深為1.61公尺，亦即水位距梁底淨空為2.89公尺。



後龍溪觀海大橋試算範例

■結論

本研究以數值溢淹模擬並整合地理資訊系統之圖資以展現溢淹模擬結果，分別評估臺北、基隆、花蓮、蘇澳等主要商港。

使用COBRAS(Cornell BRaking wave And Structure) 2維垂直的水動力模式進行特定風浪在一個極端的暴潮位，以及與河川產生波流交互作用的情況之下之境況模擬，模擬5種入射波高分別在5種坡度地形、4種初始水位以及5流量條件下的傳播情況，並建構跨河橋梁預警系統主要介面。

◆ 已完成臺北、基隆、花蓮及蘇澳港區受不同高度地震海嘯的溢淹圖資，並可透過原有的海嘯速報系統介面輸出Google Earth地理資訊系統之kml檔

◆ 利用COBRAS流體模式，模擬5種入射波高分別在5種坡度地形、4種初始水位以及5種流量條件下之境況模擬來探討特定風浪在一個極端的暴潮位，以及與河川產生波流交互作用的情況，並建構出跨河橋梁預警系統之介面，以後龍溪觀海大橋為應用範例，藉由模擬各條件下波浪從邊界入射到抵達橋墩時的波高變化，水位距梁底淨空橋梁作為是否影響橋梁通行安全的考量，從而了解其威脅性，以提供橋梁安全性的參考。

■建議與後續研究方向

- 本研究以2維垂直的水動力模式來評估橋樑附近的最大水位和距樑底淨空的距離來了解對跨河橋樑通行安全之可能影響，以供運輸單位作為警戒或封橋的參考，未來如能結合水利署所提供在跨河橋樑的水位與流量24小時預報資料，再搭配港灣研究中心在橋樑附近的港灣地區暴潮及波浪預報資料，則可對跨河橋樑提供距樑底淨空值的短期預報。
- 颱風來臨造成颱風暴潮與異常波浪，海岸公路又受暴潮及長波衝擊，可能對海岸公路通行安全或遊憩區災害形成威脅，未來可針對海岸地區的公路與遊憩區進行進一步的研究，蒐集發掘海岸公路或遊憩區中異常波浪容易致災之區段資訊，分析鄰近之海岸異常波浪的特性，以建立異常波浪容易致災之區段，據以評估其對海岸公路通行安全之可能影響。

莫拉克颱風-台東中華大橋 (2009/08/09)



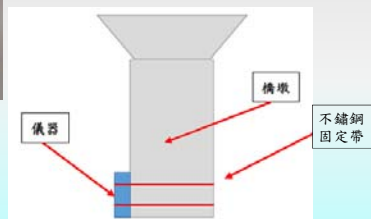
■東部流域探勘及儀器裝設

選定東部流域跨河橋樑距離河口300m-1300m之橋樑進行探勘及儀器裝設

- ◆ 大竹溪-大竹高橋
- ◆ 金崙溪-阡仔崙橋
- ◆ 卑南溪-中華大橋



壓力式波浪儀
(溫度及壓力感測器)

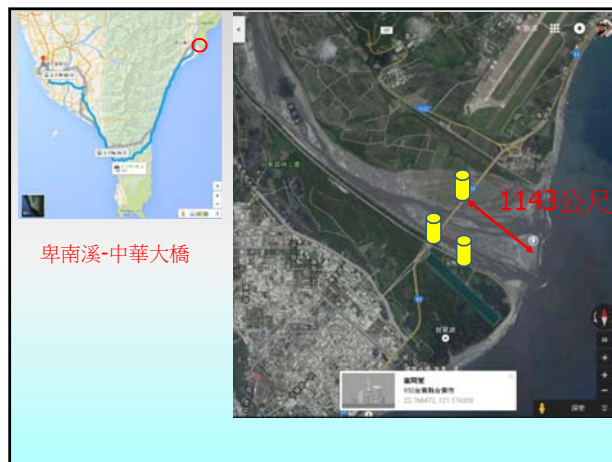


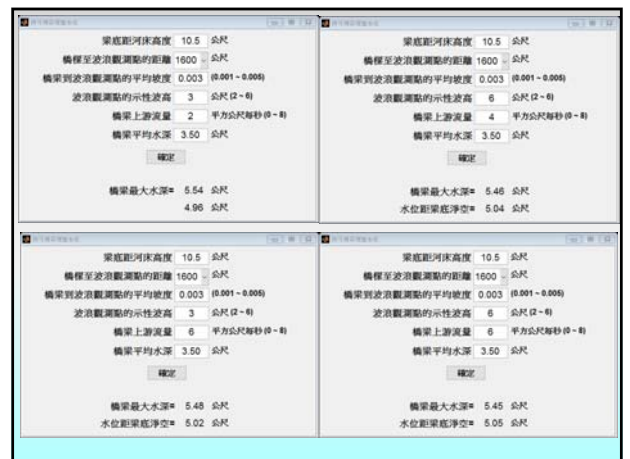
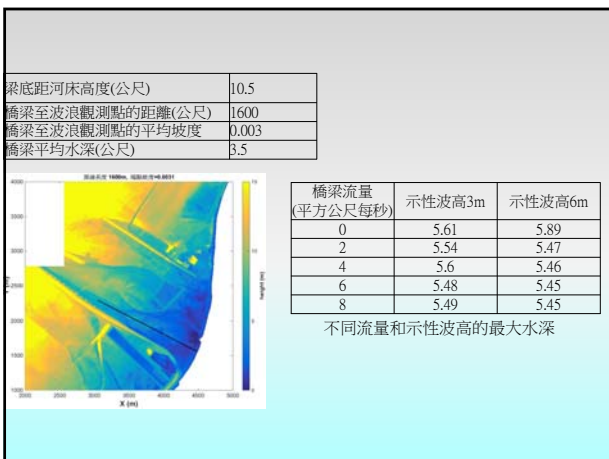
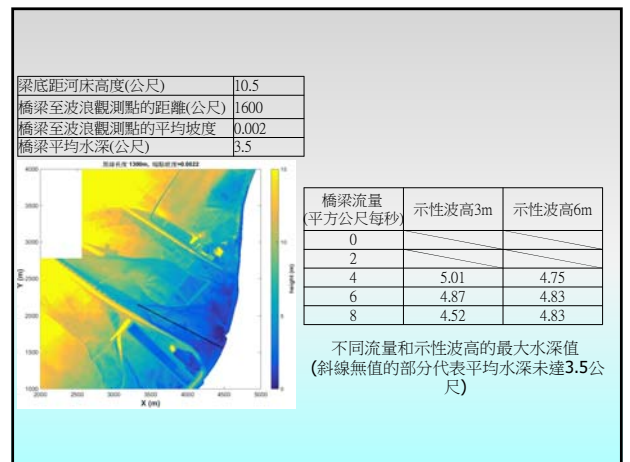
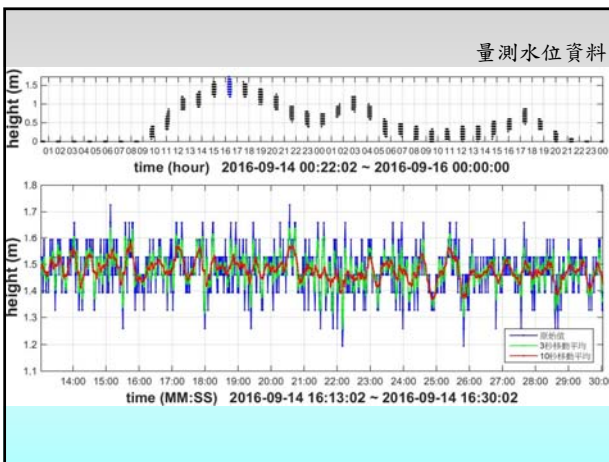
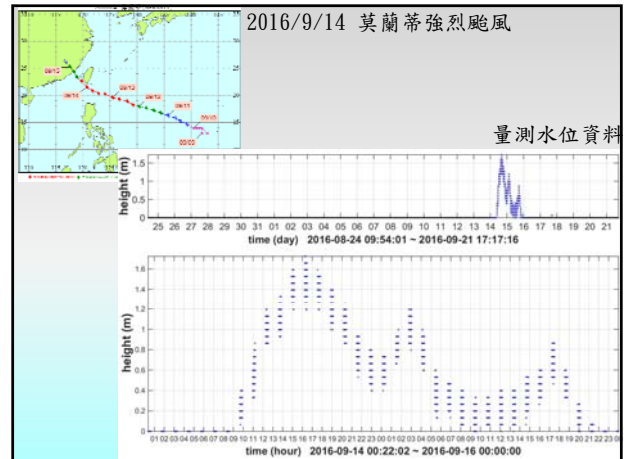
安裝情形 大竹溪-大竹高橋



大竹溪-大竹高橋







謝謝聆聽 歡迎提問