

101-18-7592

MOTC-IOT-100-H3DB005c

提昇海岸及港灣海嘯模擬技術 與淹水潛勢分析(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 3 月

101-18-7592

MOTC-IOT-100-H3DB005c

提昇海岸及港灣海嘯模擬技術 與淹水潛勢分析(1/4)

著者：陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)

/陳冠宇等著.

--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，民 101.03
面；公分

ISBN 978-986-03-1747-3 (平裝)

1. 海嘯 2. 數值分析 3. 生態模擬

351.9791

101002161

提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)

著者：陳冠宇、陳陽益、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：10458 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 101 年 3 月

印刷者：群彩印刷科技股份有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 80 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站

定價：300 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：1010100275

ISBN：978-986-03-1747-3 (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：提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN：978-986-03-1747-3（平裝）	政府出版品統一編號 1010100275	運輸研究所出版品編號 101-18-7592	計畫編號 100-H3DB005c
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：蘇青和、單誠基 李俊穎 參與人員：馬維倫 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、陳陽益 研究人員：姚建中、林敬樺、連政佳 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 100 年 3 月 至 100 年 12 月
關鍵詞： 海嘯早期預警系統、台北港、基隆港、海嘯風險			
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一：建置資訊蒐集系統，發展標準作業環境，加速運輸資訊基礎建設及運輸安全政策六：加強海上交通安全管理，進行法規與問題研究，促進海運安全等事項辦理。 一個實用且有效之海嘯早期預警系統/程序能有效地減少海嘯對近岸地區所造成之傷亡。2004 年南亞海嘯造成的重大傷亡，使得印度洋周邊國家開始設置海嘯預警系統。但近年來之數起海嘯事件，證明了現行之海嘯預警系統/程序仍有問題需要改進。2009 年薩摩亞海嘯事件顯示現行之海嘯預警作業對近岸之海嘯發揮之功能極為有限；2010 年下半年北印尼海嘯事件，則是曝露了海嘯預警系統後續管理及維護等問題。因此，一個具實用性可在海嘯發生初期即快速計算出到達時間及波高之海嘯早期預警系統對於近岸地區以及港口是有幫助的。另外，來自於琉球群島、馬尼拉海溝、呂宋島以及太平洋東部之海嘯對台灣地區而言是值得注意的。 目前國外發佈海嘯警報時，只提供地震規模，未能提供海嘯波高；故各港務局皆無所依循。為爭取時效並提高海嘯數值模擬之精度，本研究後續將建構海嘯預警系統以及台北、基隆兩港之子系統，使能自動擷取太平洋海嘯預警系統 (Pacific Tsunami Warning Center) 的檔案，或是太平洋海嘯預警系統所根據的 USGS (United States Geological Society) 網站來更新，再自動進行海嘯模擬。另一方面，本計劃利用機率之概念評估台北港及基隆港在未來 50 年及 100 年所可能遭受之海嘯風險，其結果將對現有港灣結構物設計準則有所幫助。除此之外，台北與基隆兩港之海嘯早期預警子系統已辦理教育訓練並將技術移轉至兩港務局。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
101 年 3 月	212	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
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: Advance tsunami simulation technology in coast and harbor areas with risk analysis (1/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-03-1747-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100275	IOT SERIAL NUMBER 101-18-7592	PROJECT NUMBER 100-H3DB005c
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) 26564415			PROJECT PERIOD FROM March 2011 TO December 2011
RESEARCH AGENCY: NATIONAL SUN-YAT-SEN UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen Guan-yu; Chen Yang-yih PROJECT STAFF: Yao Chien-chung; Lin, Jing-hua; Lien Cheng-chia ADDRESS: No.70, Lianhai Rd., Gushan District, Kaohsiung City 804, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (07) 5252000 ext.5353			
KEY WORDS: tsunami early warning system, Taipei Harbor, Keelung Harbor, tsunami risk			
Abstract According to the Transportation Policy White Book, this project aims to promote safety management of marine transportation system based on a standardized information structure. A tsunami can induce huge damage in a coastal area, but this devastating disaster will be mitigated if a practical tsunami warning system is implemented. After the Indian Ocean Tsunami of Dec. 2004, a tsunami warning system was established in the counties around the Indian Ocean. However, recent tsunami events, such as the Samoa tsunami of 2009 and the Indonesia tsunami of 2010, show that there are some problems in the present tsunami warning systems and/or processes. Additionally, in the neighboring area of Taiwan, the Ryukyu Islands, the Manila Trench, Luzon Island and the Eastern Pacific Ocean all have frequent earthquakes and hence an applicable tsunami early warning system is of special importance to Taiwan. In the existing tsunami warning system of the Pacific Ocean, only the scale of earthquake, instead of the tsunami wave height, is provided. The information is not useful for harbor companies. In order to accelerate the warning process and improve the accuracy of the tsunami, the original tsunami early warning system is improved and developed in this project. This system can automatically get the earthquake parameters of the United States Geological Society. Then, the tsunami warning system can automatically estimate the arrival time of leading wave and the maximum wave height after these parameters are obtained. Furthermore, the estimation of tsunami risk in future 50 and 100 years, two specific times, for Taipei and Keelung Harbors are also determined in this project.			
DATE OF PUBLICATION March 2012	NUMBER OF PAGES 212	PRICE 300	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

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
圖目錄	V
表目錄	IX
第一章 緒論	
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
1.4 前期結果	1-3
第二章 海嘯資料蒐集與地震規模表示法	
2.1 台灣鄰近海域海嘯記錄	2-1
2.2 遠海域海嘯記錄	2-4
2.3 地震資料來源	2-9
2.4 地震表示方法	2-9
第三章 精進預報子系統之格林函數與實例驗證	
3.1 互逆格林函數	3-1
3.2 系統建構	3-4
3.3 精進系統數值模式之格林函數	3-8
3.4 基隆港域及台北港域海嘯預警子系統	3-11
3.5 系統驗證	3-15

第四章	海嘯災害風險評估	
4.1	前言	4-1
4.2	海嘯地震發生次數期望值	4-2
4.3	波高計算	4-13
4.4	溢淹模擬	4-27
4.5	海嘯地震且溢淹機率	4-35
第五章	基隆港域與台北港域海嘯災害風險評估	
5.1	前言	5-1
5.2	海嘯且溢淹機率風險評估	5-3
5.3	台北港、基隆港海嘯風險評估	5-14
5.4	台北港新舊地形比較	5-15
5.5	台北港不同週期入射波溢淹比較	5-16
第六章	結論	
6.1	結論	6-1
6.2	建議與後續研究方向	6-2
	參考文獻	參-1
	附錄	附錄-1

圖 目 錄

圖 2.1 對基隆港影響較大之海嘯波源區	2-1
圖 2.2 對台北港影響較大之海嘯波源區	2-1
圖 2.3 臺灣海嘯事件之震源分佈	2-3
圖 2.4 環太平洋地震帶主要海溝	2-5
圖 2.5 海嘯事件中之地震規模分佈圖	2-6
圖 2.6 海嘯事件中之震源深度分佈圖	2-6
圖 2.7 M_S 規模轉換之 M_W 規模之對應圖 (Scordilis 2006)	2-14
圖 2.8 m_B 規模轉換至 M_W 規模之對應圖 (Scordilis 2006)	2-15
圖 3.1 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖	3-2
圖 3.2 台北港之預報點位圖	3-4
圖 3.3 海嘯預警系統之規劃圖	3-5
圖 3.4 GUI 程式設計環境	3-6
圖 3.5 視窗化操作系統之建立與排版	3-7
圖 3.6 視窗化介面之編譯完成圖	3-7
圖 3.7 視窗化介面之計算成果圖	3-8
圖 3.8 視窗化系統之計算範圍圖	3-9
圖 3.9 單點格林函數數值資料在時間上之分布型態	3-9
圖 3.10 單點格林函數數值資料在空間上之分布型態(紅色部分為水域，藍色為陸域)	3-10
圖 3.11 高雄港格林函數變更前後之水位變化驗證	3-11
圖 3.12 美國 USGS 資料庫	3-12
圖 3.13 中央氣象局網站之即時地震資料	3-13
圖 3.14 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料	3-14

圖 3.15 建構完成之即時地震資料擷取系統	3-15
圖 3.16 海嘯預警系統	3-17
圖 3.17 USGS 日本 311 宮城海嘯參數	3-18
圖 3.18 台北港系統模擬水位(紅線)與濾潮後的實測水位(藍線)比較	3-19
圖 3.19 以速算系統及新公佈之地震參數計算蘇澳港之海嘯波到達時間及水位時序分佈	3-20
圖 3.20 以速算系統及地震發生後一小時美國地質調查所公佈之地震參數計算(a)基隆港、(b)花蓮港、(c)高雄港、(d)安平港、(e)布袋港、(f)台中港及(g)台北港水位時序分佈與實測資料比較	3-21
圖 3.21 以速算系統根據地震發生後一小時美國地質調查所公佈之地震參數(地震矩規模 M_w 8.9)及新公佈之地震參數(地震矩規模 M_w 9.0)計算蘇澳港水位時序分佈與實測資料比較	3-25
圖 4.1 規劃流程圖	4-2
圖 4.2 環太平洋地震數量分佈圖	4-3
圖 4.3 太平洋區域之主要海溝分佈及劃分建議(Gusiakov, 2005)	4-4
圖 4.4 本研究主要海溝分佈圖及名稱	4-5
圖 4.5 研究區域與點位劃分	4-7
圖 4.6 USGS-NEIC 地震資料庫	4-8
圖 4.7 日本東側東經 133 到 139，北緯 34 到 36，G-R 關係式	4-10
圖 4.8 挑選海源且震源深度小於 30 公里地震資料	4-12
圖 4.9 斷層幾何形狀及座標系統	4-14
圖 4.10 斷層及映像斷層座標系統	4-15
圖 4.11 傳統海嘯模式所計算出之水位時序列資料即為格林函數	4-17
圖 4.12 互逆格林函數與傳統海嘯模式之水位變化驗證	4-19
圖 4.13 台北港格林函數點位位置	4-19

圖 4.14 基隆港格林函數點位位置	4-20
圖 4.15 太平洋區對台北港之格林函數	4-21
圖 4.16 上圖 4.15 所模擬之可能震源之點位	4-21
圖 4.17 可能震源對台北港在第 24 小時之水位值空間分佈	4-22
圖 4.18 Global CMT 地震資料庫	4-23
圖 4.19 日本東側東經 133 到 139，北緯 34 到 36，初始水位	4-24
圖 4.20 126 個震源區發生地震矩規模 7、8、9 之海嘯時，台北港最大波高	4-26
圖 4.21 台灣 500m 解析度水深地形資料	4-27
圖 4.22 台北港 5m 解析度數值地形檔	4-28
圖 4.23 內插修正溢淹模擬所需數值地形檔	4-28
圖 4.24 週期 20 分鐘波高 4m 孤立波	4-29
圖 4.25 台北港受 4m 海嘯波溢淹結果	4-30
圖 4.26 台北港離岸 50m 岸線	4-31
圖 4.27 溢淹機率簡示圖	4-31
圖 4.28 台北港不同波高溢淹機率	4-32
圖 4.29 台北港規模 9 地震海嘯產生最大波高對應溢淹機率	4-33
圖 4.30 台北港各點位未來 50 年發生規模 9 海嘯地震次數期望值	4-34
圖 4.31 台北港各點位未來 50 年發生規模 9 海嘯地震且溢淹機率	4-34
圖 5.1 NOAA-Tsunami Poster	5-1
圖 5.2 環太平洋地震帶依海溝分佈 126 個點位	5-2
圖 5.3 機率式海嘯災害風險評估流程圖	5-2
圖 5.4 研究區域 126 點位發生地震矩規模 M_w8 與 M_w9 之海嘯地震次數期望值	5-4
圖 5.5 介面化海嘯模擬預警系統	5-5

圖 5.6	台北港 126 點位地震矩規模 M_w8 與 M_w9 所求得最大波高	- 5-5
圖 5.7	基隆港 126 點位地震矩規模 M_w8 與 M_w9 所求得最大波高	- 5-6
圖 5.8	台北港內政部網格解析度 5 公尺之數值地形檔-----	5-7
圖 5.9	基隆港內政部網格解析度 5 公尺之數值地形檔-----	5-7
圖 5.10	台北港解析度 50 公尺水深地形圖 -----	5-8
圖 5.11	基隆港解析度 50 公尺水深地形圖-----	5-8
圖 5.12	台北港數值地形圖 -----	5-9
圖 5.13	基隆港數值地形圖 -----	5-9
圖 5.14	台北港離岸 50 公尺點位 -----	5-10
圖 5.15	基隆港離岸 50 公尺點位 -----	5-10
圖 5.16	台北港不同程度波高溢淹範圍圖 -----	5-12
圖 5.17	基隆港不同程度波高溢淹範圍圖 -----	5-13
圖 5.18	台北港與基隆港不同波高溢淹機率 -----	5-14
圖 5.19	台北港舊地形 -----	5-15
圖 5.20	台北港目前地形 -----	5-15
圖 5.21	新舊地形溢淹機率比較 -----	5-16
圖 5.22	台北港 2 公尺波高不同週期入射波溢淹結果 -----	5-17

表 目 錄

表 2-1 臺灣地區西元 1500~2011 年之海嘯事件 -----	2-2
表 2-2 西元 1500~2011 年傷亡人數超過千人之海嘯事件 -----	2-7
表 4-1 各主要海溝名稱及資訊 -----	4-5
表 4-2 圖上藍點及其回歸線 -----	4-10
表 4-3 取各線上地震規模區間累計值 -----	4-11
表 4-4 相減為各地震規模區間未來預估年可能發生之次數值 -----	4-11
表 4-5 海嘯地震發生次數期望值 -----	4-13
表 4-6 日本東側東經 133 到 139，北緯 34 到 36，地震參數 -----	4-23
表 5-1 不同週期波高 2 公尺溢淹台北港之溢淹機率 -----	5-17

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一：建置資訊蒐集系統，發展標準作業環境，加速運輸資訊基礎建設及運輸安全政策六：加強海上交通安全管理，進行法規與問題研究，促進海運安全等事項辦理。

一個實用且有效之海嘯早期預警系統/程序能有效地減少海嘯對近岸地區所造成之傷亡。2004 年南亞海嘯造成的重大傷亡，使得印度洋周邊國家開始設置海嘯預警系統。但近年來之數起海嘯事件，證明了現行之海嘯預警系統/程序仍有問題需要改進。2009 年薩摩亞海嘯事件顯示現行之海嘯預警作業對近岸之海嘯發揮之功能極為有限；2010 年下半年北印尼海嘯事件，則是曝露了海嘯預警系統後續管理及維護等問題。因此，一個具實用性可在海嘯發生初期即快速計算出到達時間及波高之海嘯早期預警系統對於近岸地區以及港口是有幫助的。另外，來自於琉球群島、馬尼拉海溝、呂宋島以及太平洋東部之海嘯對台灣地區而言是值得注意的。

目前國外發佈海嘯警報時，只提供地震規模，未能提供海嘯波高；故各港務局皆無所依循。為爭取時效並提高海嘯數值模擬之精度，本研究建構海嘯預警系統以及台北、基隆兩港之子系統，使能自動擷取太平洋海嘯預警系統所根據的 USGS (United States Geological Society) 網站來更新，再自動進行海嘯模擬。另一方面，本計劃利用機率之概念評估台北港及基隆港在未來 50 年及 100 年所可能遭受之海嘯風險，其結果將對現有港灣結構物設計準則有所幫助。除此之外，台北與基隆兩港之海嘯早期預警子系統將於計畫結束後，將辦理教育訓練並將技術移轉至兩港務局。

1.2 研究範圍與工作內容

本研究屬交通部運輸研究所「提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)」計畫規劃四年合作研究計畫之第一年，本年度之主要目的為蒐集臺灣鄰近海域或遠區海域(如太平洋)之可能發生海嘯隱沒帶、斷層等資料並進行分析、精進基隆港域及台北港域海嘯數值模式之格林函數、評估基隆港域及台北港域未來 50 年及 100 年之海嘯災害風險、建立基隆港域及台北港域海嘯模擬預警子系統，系統轉移港務局，並進行教育訓練。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，進行相關配合研究。

1.3 工作項目及預期成就

本研究全期計有四年，本年度預期完成的工作項目有：

- (1)建立擴展到整個太平洋海盆之海嘯數值模式。
- (2)蒐集太平洋海盆周邊可能發生海嘯的隱沒帶以及歷史地震資料，並評估未來發生海嘯之機率。
- (3)定期擷取即時之地震資料，並寫入固定檔案，作為海嘯預警之輸入資料。

本年度計畫完成後，預期之效益及應用則有

- (1)能提供未來海嘯在基隆港域及台北港域發生之機率，做為港灣構造物設計基準之參考。
- (2)建立海嘯模擬預警子系統，提供基隆港務局以強化應變海嘯風險之能力。

1.4 前期成果

為方便匯整本計劃之實際成果，以下前期將結果整理如下：

(1)海嘯與地震之關係

- a. 臺灣東部外海是強震較頻繁的區域，但是東部沿海地形陡峭，淺化作用不明顯，縱有海嘯侵襲，歷史上造成災害之機率並不高；至於西部沿岸由於地震較容易發生在造山帶前緣，因此臺灣海峽發生強震的機率不高，要產生大海嘯的機率也不大。所以整體而言，最值得注意的區域有西南部高屏沿海低窪地區，以及東北外海。
- b. 西南部高屏沿海低窪地區值得注意的原因如下：臺灣造山帶的斷層前緣由此處出海，延伸至活躍的馬尼拉海溝構造帶；這地區的外海多斜坡與峽谷，海底地形變化大，而且本區域地勢平坦甚至低窪。馬尼拉海溝是活躍的構造帶，容易引發強震，造成的海嘯可以傳導至臺灣西南部，而變化大的海底地形容易產生海底山崩；平坦的高屏沿海一帶一旦受到海嘯侵襲，淹溢範圍將相當大，容易造成嚴重災害。

(2)海嘯數值模擬

- a. 前期研究分別使用 PARI 與 COMCOT 海嘯數值模式，來模擬計算臺灣周邊海域的海嘯威脅與高雄市溢淹情形。海嘯威脅不僅只於海嘯本身的波高及能量，本身的傳播方向、海底地形作用及震源遠近，都將帶來不同的影響。海嘯來臨時，能量多集中於前幾段的海嘯波。依歷史案例來評估臺灣周邊海域的海嘯威脅，以福建泉州影響臺灣中西部沿岸最為嚴重，因臺灣正好位於海嘯傳播之長軸方向。至於遠域的海嘯威脅，其中以日本琉球群島最具潛在性危險，由古海嘯紀錄得知，基隆港曾受大海嘯襲擊，雖然模式模擬的海嘯波並非直接朝臺灣東北角而來，但已經對臺灣北海岸地區有不小的影響。
- b. 前期研究使用模式模擬高雄市外海發生地震矩規模為 9 所引發

之海嘯；結果顯示海嘯波直撲高雄港，溢淹範圍北至高雄市左營區、三民區；東至高雄市小港區、高雄縣鳳山市與高雄市交界處附近，其受災範圍甚廣；且高雄港受到如此規模的海嘯侵襲，高雄港區內的水位變化持續震盪變化五小時後，水位才會逐漸下降趨於海水零位面。

(3) 互逆格林函數之應用

- a. 由於傳統之單波源全接收點式之海嘯數值模擬方式，由於受限於地震資訊無法事先測報，故實務上應用在海嘯預警相當有限；有因為計算點位相當多，故所需之記憶容量亦相當龐大，也影響計算效率，故有必要尋找一種可行方法，結合目前之海嘯數值模式，尋求能快速計算海嘯波高及到達時間之方法。
- b. 前期研究應用 Loomis (1979) 與 Xu (2007) 之結論以及線性系統之可逆性，採用互逆格林函數計算方式，經與南亞海嘯泰國及斯里蘭卡數值結果比較顯示，兩者結果相當符合，證明此方法可以有效降低對地震資訊之依賴性、降低記憶容量需求以及提升計算效率，結合傳統海嘯模式後可實際應用於海嘯測報作業中。
- c. 前期研究之格林函數放大率圖顯示，並非所有海嘯都會對六個國際港產生威脅；對基隆、台北、蘇澳等港口產生最大威脅的海嘯來源為東海、琉球群島及龜山島一帶；台灣東岸之太平洋海域之海嘯對花蓮港影響最大；泉州一帶海域產生海嘯對台中港影響最大；澎湖海域及西南海域發生之海嘯則對高雄港會產生較大之威脅；發生在呂宋島附近海域之海嘯除了對台中港較無威脅性外，對其他各港口也會產生一定程度之威脅。

(4) 海嘯早期預警系統之建置

- a. 現行之海嘯預報流程與方式並無法及時提供各港務單位足夠之資訊作為後續應變之用；同時，2009 年之薩摩亞海嘯也證明了目前之海嘯預警系統面對近域之海嘯仍有相當大之改進空間；

也因此，有必要建置一適用於各港務機關之近/遠域海嘯早期預警系統，以期能在有海嘯發生疑慮時，能快速掌握水位變化及到達時間；同時，另一方面也可以降低「假警報」之問題。

- b. 互逆格林函數法之特性有助於海嘯波高資料庫之建立，利用 Matlab 軟體撰寫而成之介面以及遠端擷取之功能，可結合為一「遠/近域海嘯早期預警系統」，其計算範圍可包含環太平洋地震帶，波高資料庫也涵蓋國內各重要港口。目前海嘯波高資料庫亦以轉呈港灣技術研究中心。該系統經與 2010 年智利海嘯基隆港實測水位比較後，証實預測之水位變化及到達時間與實測資料十分接近。
- c. 以海嘯發生地點而言，最有可能發生海嘯之潛勢區域是馬尼拉海溝，其海嘯波在 30-40 分鐘可到達台灣，預警時間甚為倉促；太平洋東岸發生海嘯，其海嘯波約在 24-28 小時後抵達台灣。

第二章 海嘯資料蒐集與地震規模表示法

2.1 臺灣鄰近海域海嘯紀錄

根據互逆格林函數之放大率圖顯示，對台北港及基隆港威脅性最大的是來自於發生在東海、琉球群島一帶之海嘯，如圖 2.1 及圖 2.2 所示。

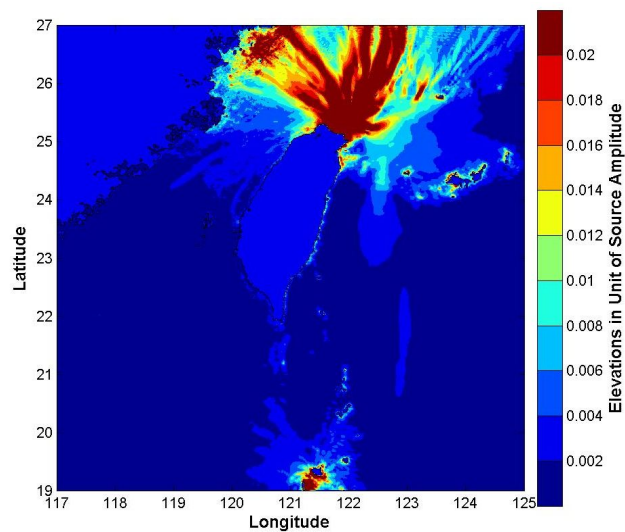


圖 2.1 對基隆港影響較大之海嘯波源區

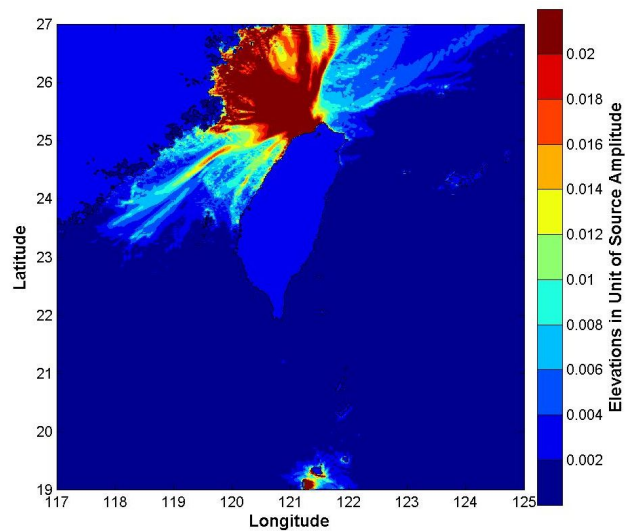


圖 2.2 對台北港影響較大之海嘯波源區

海嘯發生成因甚多，本研究僅探討由強烈海底較淺層地震所產生之海嘯。臺灣位於環太平洋地震帶，也有海嘯紀錄；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，故一般咸信不會發生大地震；但今年年初，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；鄰近台灣宜蘭海域之八重山群島、宮谷島一帶，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，其嚴重程度可見一斑。

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 1500~2011 年共有 19 起海嘯事件，詳見表 2-1 及圖 2.3 所示。

表 2-1 臺灣地區西元 1500~2011 年之海嘯事件

發生時間	地震規模	國家	震央位址	緯度	經度
1661.1.8	6.4	台灣	台灣	23.0	120.1
1661.2.15	6.0	台灣	台灣	23.0	120.2
1721		台灣	台灣	23.0	120.2
1792.8.9	6.0	台灣	台灣	23.6	120.5
1853.10.29		台灣	台灣		
1903.9.7		台灣	台灣		
1917.5.6	5.8	台灣	台灣	23.2	121.6
1922.9.1	7.6	台灣	台灣	24.5	122.0

1951.10.22	7.3	台灣	台灣	23.8	121.7
1963.2.13	7.3	台灣	台灣	24.4	122.1
1966.3.12	7.6	台灣	台灣	24.1	122.6
1972.1.25	7.5	台灣	台灣	22.5	122.3
1978.7.23	7.4	台灣	台灣	22.282	121.512
1986.11.14	7.8	台灣	台灣	23.901	121.574
1990.12.13	6.3	台灣	台灣	23.722	121.627
1998.5.3	7.5	台灣	台灣	22.306	125.308
2001.12.18	6.8	台灣	台灣	23.954	122.734
2002.3.31	7.1	台灣	台灣	24.279	122.179
2006.12.26	7.0	台灣	台灣	21.799	120.547

資料來源: 美國 NGDC 之 Natural Hazard Database.

表 2-1 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。

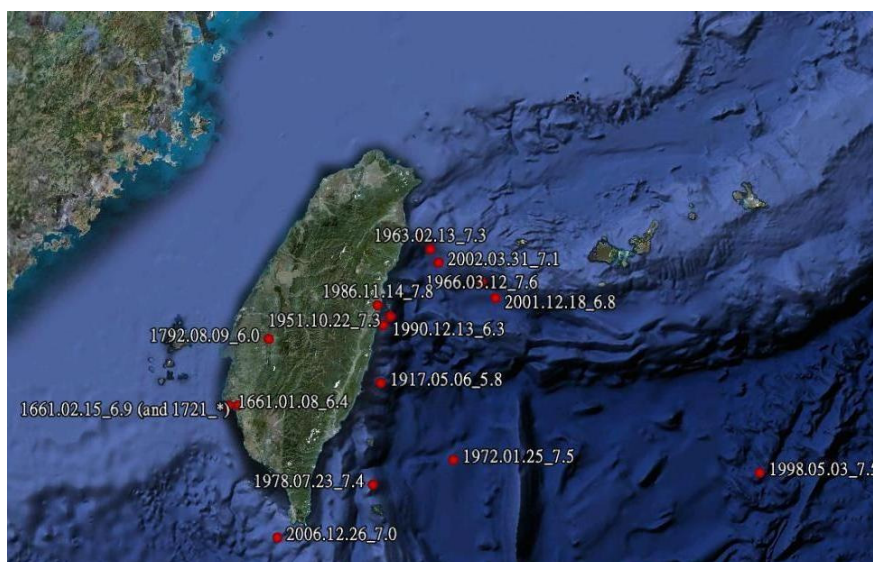


圖 2.3 臺灣海嘯事件之震源分佈

資料來源: 美國 NGDC 之 Natural Hazard Database.

根據已知歷史文件記載，基隆於 1867 年發生過災難性海嘯；震源區大致落在圖 2.1 之潛勢震源區內；故對於基隆及台北兩港而言，海嘯之潛勢波源區是台灣之東北方；對於西南方而言，呂宋島、馬尼拉海溝是一個高風險之震源區域。東北方海域主要是在宜蘭龜山島附近海域、基隆外海之金山斷層及琉球海溝。蘭陽平原位於台灣的東北部，外形為一個三角形向東開口的沖積盆地。由於沖繩海槽緊鄰在其東側，而且直觀上沖繩海槽與蘭陽平原間的地形特徵幾乎是相連接的，故研究認為蘭陽平原的構造成因應與沖繩海槽一致，即菲律賓海板塊沿著琉球弧溝系統向西北方向隱沒時，所引起沖繩海槽弧後張裂機制可往西延伸到蘭陽平原；其他的地質及地球物理觀測似乎也支持這一個模式。台灣東北方的琉球群島及日本海域均為地震頻繁地區，與台灣的距離在 2000 公里以內，這些海域發生的大規模地震活動所引發的海嘯亦將有可能侵襲台灣東北部。

台灣西南方之馬尼拉海溝是研究海嘯學者認為是高風險之潛勢震源區。由圖 2.1 及圖 2.2 可以發現雖然對於台北及基隆兩港之威脅性低於東北方之震源區，但也是屬於近域之海嘯波源區。台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 兩起規模 6 以上之地震在此區產生，既有科學文獻也顯示台灣西南海域有許多斷層帶。再加上位於台灣南方的菲律賓與台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台灣西南部海域，衝擊台灣南部及西南部海岸。地質文獻可以看出台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。其中馬尼拉海溝為重要之斷層系統，由此圖也可以看出馬尼拉海溝自呂宋島北方一路延伸至台灣海域。

2.2 遠海域海嘯紀錄

遠海域海嘯部分需注意由日本北海道一帶以及由東太平洋傳遞而來之海嘯。但為利於資料之蒐集，本研究將以範圍擴展至整個環太平

洋地震帶，如此上述兩個遠海域海嘯之波源區亦可包含在其中。

環太平洋地震帶(又稱環太平洋帶、環太平洋火山帶或火環；Circum-Pacific seismic zone)是一個圍繞太平洋經常發生地震和火山爆發的地區，全長 40,000 公里，呈馬蹄形，約起澳洲東南方外海，順時針方向至南美洲西部外海，如圖 2.4 所示。環太平洋火山帶上有一連串海溝、列島和火山，板塊移動劇烈。其主要的國家及地區有：日本、台灣、菲律賓、印尼、紐西蘭等。世界上約 80% 震源深度小於 70 公里的地震、90% 震源深度介於 70 公里和 300 公里之間的地震和幾乎所有震源深度大於 300 公里的地震，都發生在這個地震帶上。

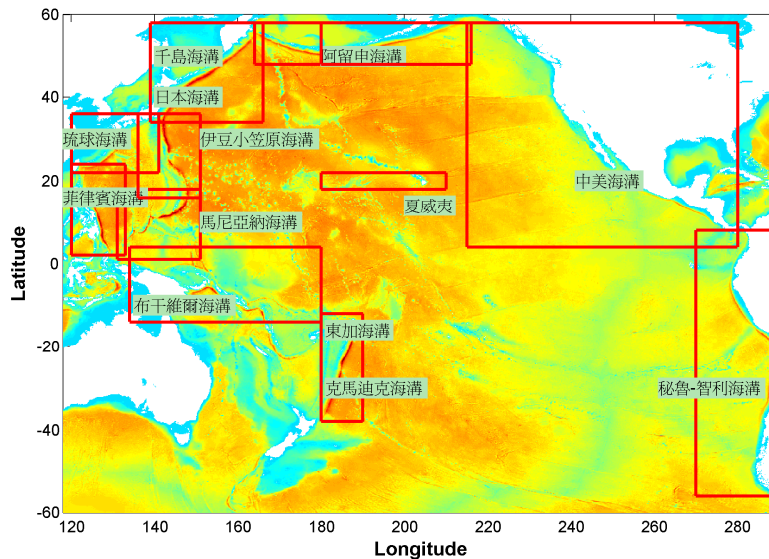


圖 2.4 環太平洋地震帶主要海溝

本研究預計廣泛蒐集海嘯及地震資料庫進行樣本數之搜集以及特性分析。資料來源為美國 NOAA 之海嘯災難資料庫，檢索時間為 1500~2011 年，檢索範圍為東經 120~西經 60 度，北緯 60 度~南緯 60 度，檢索結果顯示共有 1235 起海嘯事件，34 件是由火山運動所造成，871 件是由地震所引起的，其中地震規模多在 4 以上，多半集中於 6~8.9

之區間。

圖 2.5 為海嘯事件中之地震規模分佈圖，96%之海嘯事件之地震規模均達 6.0 以上；與一般引起海嘯之地震所需規模相符。在 871 起樣本數中，僅有 584 起有紀錄震源深度，震源深度 91%均發生在 60 公里以內，如圖 2.6。由於海底斷層資料實不如陸地斷層有許多田野資料可供引用，故本研究將廣泛收集台灣近岸潛勢震源區之相關地質/斷層資料，以充分了解潛勢震源區之斷層特性。

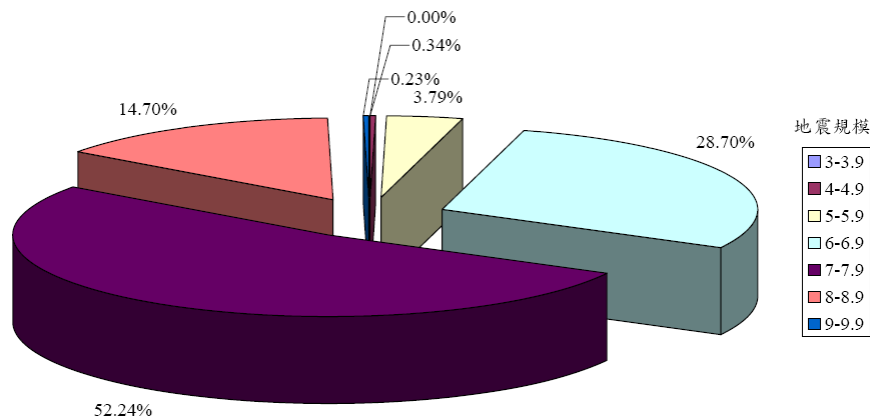


圖 2.5 海嘯事件中之地震規模分佈圖

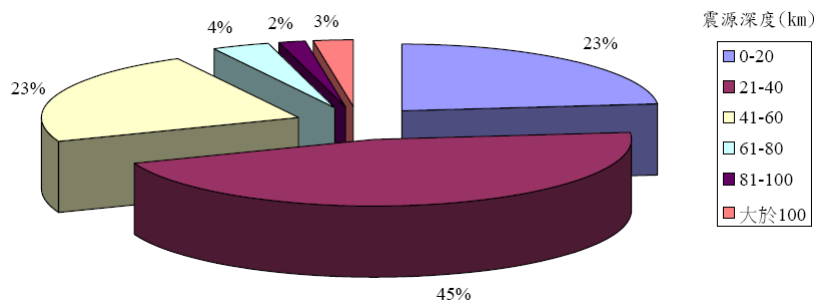


圖 2.6 海嘯事件中之震源深度分佈圖

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。在已知之海嘯事件中，有多起海嘯傷亡超過千人以上，如表 2-2 所列。

表 2-2 西元 1500~2011 年傷亡人數超過千人之海嘯事件

發生時間	發生所在地	傷亡人數	地震規模
1512/10	Japan	3700	8.8
1570/2/8	Chile	2000	
1575/12/16	Chile	1300	8.5
1586/1/18	Chile	8000	8.2
1605/2/3	Japan	1000	7.9
1611/12/2	Japan	5000	8.1
1674/2/17	Indonesia	2243	6.8
1687/10/20	Peru	5000	8.5
1692/6/7	Jamaica	2000	7.7
1696/7/25	Japan	2450	
1700/4/1	Japan	1000	
1700/4/16	Japan	1000	7.0
1703/12/10	Japan	5233	8.2
1707/10/28	Japan	2000	8.4
1707/10/28	Japan	30000	8.4
1721	Taiwan	2000	
1737/10/11	India	300000	
1741/8/29	Japan	1475	
1746/10/29	Peru	4800	
1751/5/20	Japan	2100	6.6
1755/11/1	Portugal	60000	8.5
1765/5	China	10000	
1766/3/8	Japan	1700	6.9
1771/4/24	Japan	13486	7.4
1783/2/6	Italy	1500	5.9
1792/5/21	Japan	4300	6.4
1815/11/22	Indonesia	1200	7.0
1819/6/16	India	1543	7.7
1854/12/24	Japan	3000	8.4
1861/2/16	Indonesia	1105	8.5

1868/8/13	Chile	25000	8.5
1877/5/10	Chile	2477	8.3
1883/8/27	Indonesia	36000	
1896/6/15	Japan	27122	7.6
1899/9/29	Indonesia	2460	7.8
1906/1/31	Ecuador	1000	8.8
1923/9/1	Japan	2144	7.9
1933/3/2	Japan	3022	8.4
1944/12/7	Japan	1223	8.1
1946/8/4	Dominican	1790	8.1
1946/12/20	Japan	1362	8.1
1951/8/3	Nicaragua	1000	
1960/5/22	Chile	1223	9.5
1976/8/16	Philippines	4456	8.1
1992/12/12	Indonesia	2500	7.8
1998/7/17	Papua New Guinea	2183	7.0
2004/12/26	Indonesia	227898	9.0
2011/3/11	JAPAN	15093	9.0

資料來源：美國 NGDC 之 Natural Hazard Database

在近幾年所發生之著名海嘯事件，當屬 2004 年南亞大海嘯、2009 年薩摩亞海嘯、2010 年海地及智利海嘯及 2011 年日本海嘯；南亞海嘯及日本海嘯對於當地造成相當慘重的災情及傷亡，其餘三起海嘯事件對於當地也產生不小之災情；1960 智利海嘯及南亞海嘯之案例證明了海嘯可傳遞相當遠的距離，對於遠海域的國家而言仍是不可輕忽；1960 年智利海嘯橫跨太平洋，連太平洋西岸之日本也遭受波及；2004 年南亞海嘯雖發生在印尼外海，海嘯波橫跨印度洋，2 小時後襲擊印度洋西岸各國，遠在 1600 公里外之斯里蘭卡也造成慘重之災情，此一案例也促成了印度洋周邊國家開始研擬海嘯預警作業；2011 年日本海嘯，對當地宮城縣、岩手縣沿海各地產生 5 至 15 公尺巨浪，日本受災地區約

400 平方公里，並造成多處火災災情，更影響沿海核能電廠安全，產生除了海嘯災情外的核災問題。

2.3 地震資料來源

本計劃地震資料來源採用 United States Geological Survey(USGS)-National Earthquake Information Center(NEIC)中所記錄地震資料，地震紀錄期間為自 1973 至 2011 年，搜尋範圍為整個太平洋區域，如圖所示。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。

USGS-NEIC 資料庫不同於 Global Centroid-Moment-Tensor (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。

2.4 地震表示方法

一般地震報告中所指的地震規模(earthquake magnitude)是依據地震的威力大小，此和其釋放出的能量多寡有關，故每當有地震發生時，地震規模只有單一值，不會因為觀測的位置不同而產生不同的數值。我國常使用之芮氏地震規模(Richter magnitude scale)，亦稱為近震規模(local magnitude, M_L)，是在 1935 年為了研究美國加州地區發生的地震而制定，使用伍德-安德森扭力式地震儀(Wood-Anderson torsion

seismometer)來測量。由於當初設計芮氏地震規模的限制，當芮氏地震規模大於某數值(約 7.5)以上時會有「飽和」現象，也就是計算出來的所有地震規模值都趨近相同。此外，觀測點距離震央超過約 600 公里以上時，芮氏地震規模的計算會產生極大誤差而不適用。於是地震學家發展出表面波規模(surface waves magnitude, M_S)和體波規模(body waves magnitude, m_B)來描述較遠距離的地震規模值，以地震波中特定波相的最大振幅來計算，但是這兩種計算規模的方法，對於大型地震也會有飽和的問題。

21 世紀初，地震學者採用更能直接反應地震破裂過程物理特性(如地層錯動的大小和地震的能量等)的表示方法即地震矩規模(Moment magnitude scale, M_w)來描述地震大小，地震矩規模的優點在於它不會發生飽和現象。亦即，大於某規模的所有地震之數值都相同的情況將不會發生。另外，此地震矩規模與震源的物理特性有較直接的聯繫。因此，地震矩規模已經取代芮氏地震規模成為全球地震學家估算大規模地震時最常用的尺度。以下為幾個常見的地震規模介紹：

(1) M_L ：芮氏地震規模(Richter magnitude)

此種地震規模的概念是由 C. F. Richter 教授在 1935 年所提出的，稱為芮氏地震規模 M_L ，或近震規模 (Local magnitude)。芮氏地震規模是以地震儀所記錄到的地震波振幅為基礎。倘落地震震源大小一定時，距離震源愈遠震波的振幅就愈小；而當與震源的距離一定時，則震波的振幅與震源的大小成正相關。

芮氏地震規模之定義為：一標準扭力式之伍德-安得生 (Wood-Anderson) 式地震儀 (自由週期 0.8 秒，倍率 2800 倍，阻尼常數 0.8) 在距震央 100 公里處所記錄的最大振幅以微米 (μm) 記的對數值。其公式為：

$$M_L = \log(A / A_0) = \log A - \log A_0 \dots\dots\dots (2.1)$$

M_L ：芮氏(近震)地震規模。

A ：伍德-安得生(Wood-Anderson)式地震儀在測站所觀測之最大幅。

A_0 ：標準地震($M_L = 0$)時，同式地震儀在該測站所記錄之最大振幅。

地震規模是一個統一的數值，地震本身的大小與測站位置無關。但是地震並非都發生在距離測站 100 公里處，也因此計算地震規模時，必須考慮離震央距離(即震央與測站之距離)。若考慮震央距的修正，則上式可以修正為：

$$M_L = \log(A) + 2.56 \log(\Delta) - 5.12 \quad \text{..... (2.2)}$$

其中 A 為地震記錄最大振幅，以微米 (μm) 為單位， Δ 為距震央的距離，以度為單位。

(2) M_S ：表面波規模(surface waves magnitude)

此為根據 Gutenberg 教授和 Richter 教授的研究所訂，因芮氏地震規模僅適用在離震央距離小於 600 公里的地震，而當距震央距離大於 600 公里時，以表面波來求地震規模較恰當。表面波規模是根據表面波之振幅(A)及週期(T)而定的，在定義中不指定使用何種儀器，僅選用週期 20 秒左右的最大水準地動合成振幅 A (單位為 μ)來定義 M_S 。而在 1966 年蘇黎士國際地震學會上規定，除計算表面波規模(M_S)時，應考慮其最大振幅之外，還須考慮週期、振幅以及距離函數(亦稱檢定函數) σ ，即

$$M_S = \log(A/T) + \sigma(\Delta) \quad \text{..... (2.3)}$$

$$\sigma(\Delta) = 1.66 \log \Delta + 3.3 \quad \text{..... (2.4)}$$

上兩式可以合為：

$$M_S = \log(A/T) + 1.66 \log(\Delta) + 3.3 \quad \text{..... (2.5)}$$

對於週期 20 秒的表面波,上式可修正為：

$$M_S = \log(A_{20}) + 1.66 \log \Delta + 3.3 \quad \text{..... (2.6)}$$

其中 A_{20} 為週期 20 秒的表面波之最大振幅，值得注意的是須考慮實際地動的振幅量，即由記錄中的最大振幅量，再除去儀器的放大倍率，

得到真正的地動量。表面波規模其優點為任何儀器皆可使用，缺點則為較深的地震則無法定出表面波規模。

(3) m_B ：體波規模(body waves magnitude)

此為 1945 年 Gutenberg 研究體波之振幅衰減曲線 $Q(\Delta)$ ，所定義出的遠地地震體波規模 m_B 。此定義根據體波之振幅(A)及週期(T)其為：

$$m_B = \log(A/T) + Q(\Delta) \dots\dots\dots (2.7)$$

由以上的地震規模(M_L 、 M_s 、 m_B)可用一個通式來表示之有

$$M = \log A + f(d, h) + C_s + C_R \dots\dots\dots (2.8)$$

其中 M 是規模， A 是除去儀器效應後所記錄到之地震波的真實振幅， $f(d, h)$ 是一些計算關於震央距離及震源深度的函數； C_s ， C_R 是測站(station)及區域(region)計算出的修正值。因所記錄的週期不夠長或是有儀器使用限制上的關係，所以以上的地震規模對於能量較大或深度較深的地震，無法完全定出其規模，也就是說上述對於規模較大的地震有所限制，無法表示出來。因此，發展出一地震矩之概念(Seismic Moment) 來輔助。

(4) M_W ：地震矩規模(Moment magnitude scale)

地震矩規模是由 Kanamori 教授所發展出的。因為芮氏地震規模(M_L)對於較大的地震有其界限且會受儀的器限制，故其對大地震無法正確描述，進而發展出由地震矩(M_0)來計算地震規模的方法。

地震的主要原因為地層的錯動，錯動處稱之為斷層。地震震源本身之大小與造成地層錯動的作用力有著直接的相關。因此，總力矩為表示震源大小的一個很重要且直接的參數。而震源機制之總力矩稱為地震矩(Seismic Moment)，造成單一斷層之地震的地震矩可簡化為：

$$M_0 = \mu \times S \times \bar{D} \dots\dots\dots (2.9)$$

其中 μ 為斷層上物質的剛硬係數(rigidity 或 shear modulus)， S 為

斷層面積， $\bar{D}$ 為斷層的平均滑動量，地震矩(M_0)的單位為 dyne-cm(達因-公分)，一般地震的地震矩值約為 1012-1030 dyne-cm。地震矩規模(M_w)是根據地震矩(M_0)所發展出的關係式為

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7 \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

即由計算所得的 M_0 得出其相對的 M_w ，就可適當的描述出地震的大小，此對大地震無界限限制的現象。

本研究出現最多資料的是 m_B (體波規模)者，其他還有少數以 M_w 、 M_s 、 M_L 等者；另外，還有一個少見的單位 UK(在本研究不考慮此參數)。其本研究所採用之轉換公式為：Scordilis ,E.M.(2006)對地震規模轉換之經驗公式及台灣地區經驗公式。

(1) M_s 轉換成 M_w 之迴歸公式(圖 2.7)：

$$\begin{aligned} M_w &= 0.67(\pm 0.005)M_s + 2.07(\pm 0.03) \\ 3.0 &\leq M_s \leq 6.1, \\ R^2 &= 0.77, \quad \sigma = 0.17, \quad n = 23,921 \quad \dots\dots\dots (2.11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= 0.99(\pm 0.02)M_s + 0.08(\pm 0.13) \\ 6.2 &\leq M_s \leq 8.2, \\ R^2 &= 0.81, \quad \sigma = 0.20, \quad n = 2,328 \quad \dots\dots\dots (2.12) \end{aligned}$$

(2) m_B 轉換至 M_w 之迴歸公式(圖 2.8)

$$\begin{aligned} M_w &= 0.85(\pm 0.0)m_B + 1.03(\pm 0.23) \\ 3.5 &\leq m_B \leq 6.2, \\ R^2 &= 0.53, \quad \sigma = 0.29, \quad n = 39,784 \quad \dots\dots\dots (2.13) \end{aligned}$$

雖然由相關系數 R 之 R^2 值顯示轉換公式間的相關性不很高、且僅在 6.2 以下適用。但在找到更好的經驗式之前，即在尚未找到相關性更高的經驗轉換公式之前，本計劃將以此作為轉換公式之用。

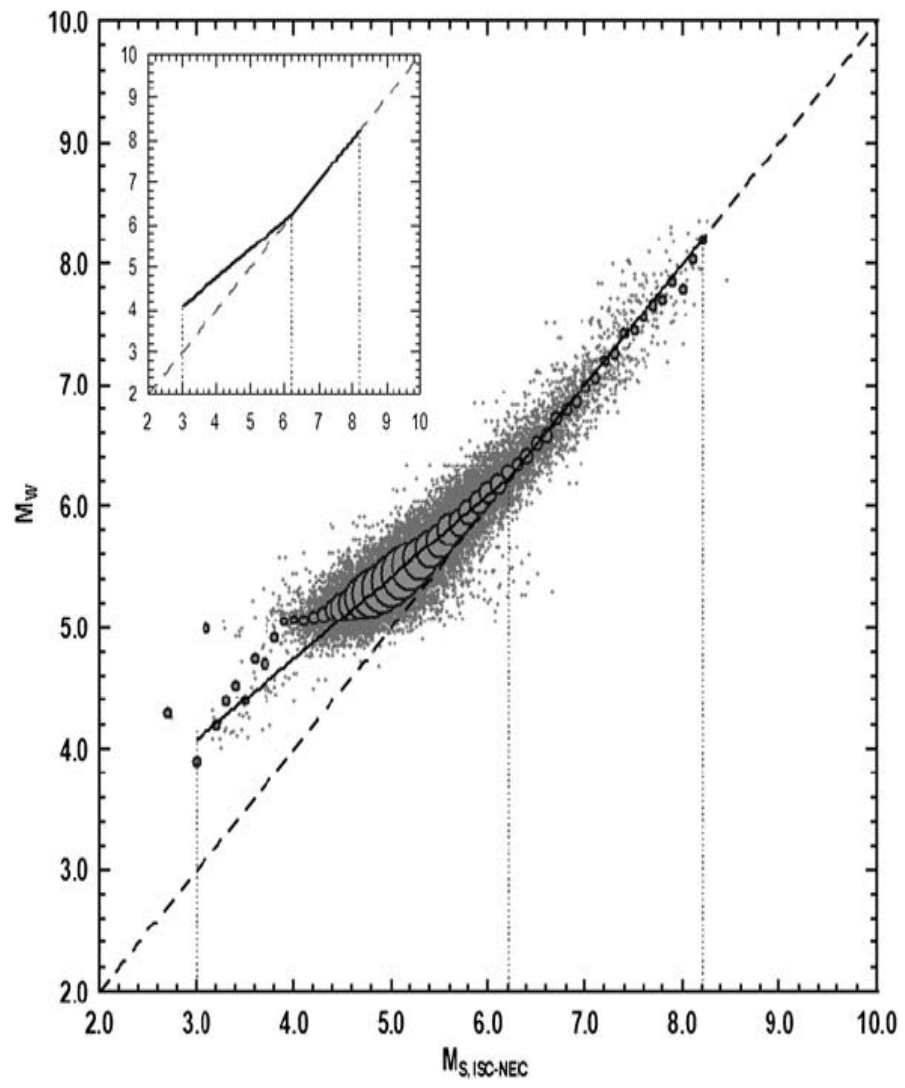


圖 2.7 M_S 規模轉換之 M_W 規模之對應圖 (Scordilis 2006)

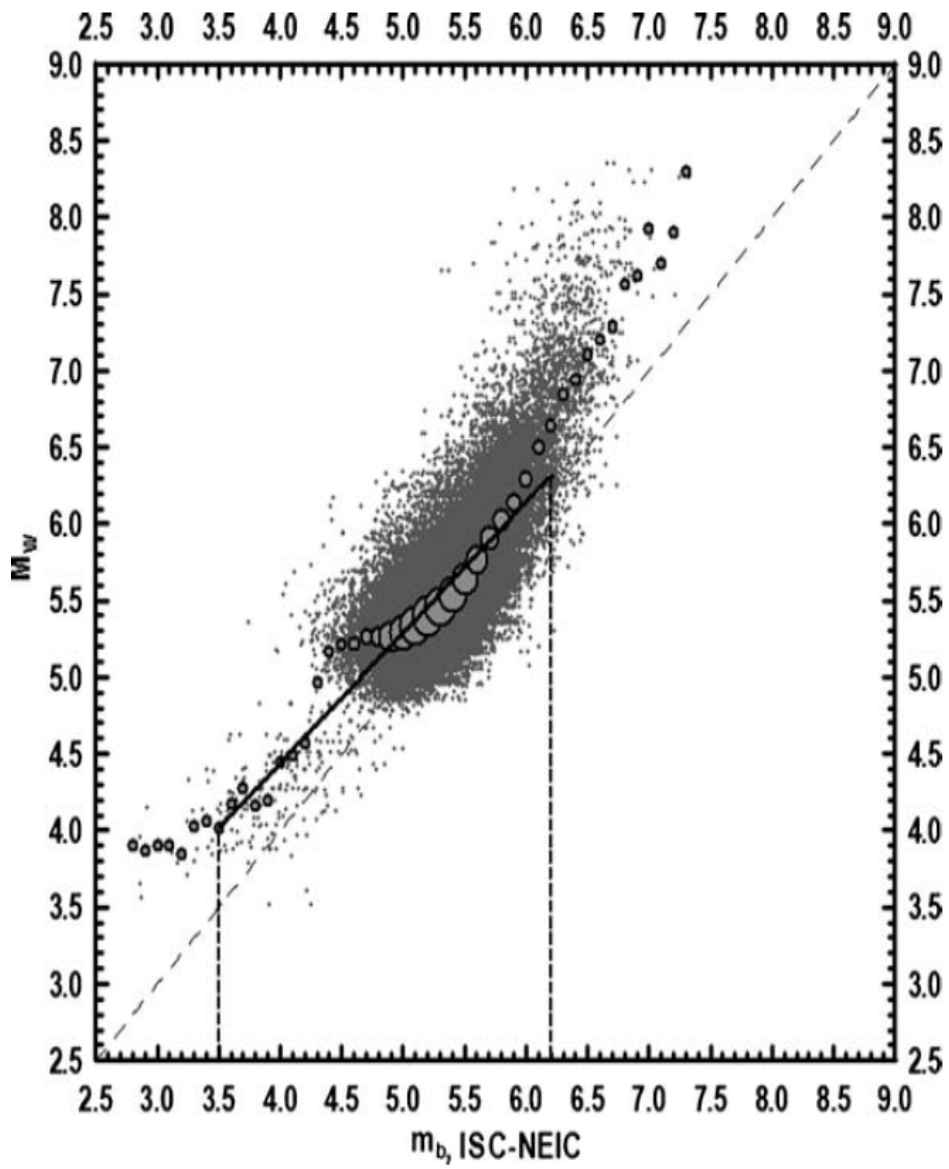


圖 2.8 m_B 規模轉換至 M_W 規模之對應圖 (Scordilis 2006)

第三章 精進預報子系統之格林函數與實例驗證

3.1 互逆格林函數

由海嘯數值模擬顯示，現行之海嘯數值模式之模擬程序及計算效率由於地震測報技術未得以進入應用階段以及計算方式之問題，故若應用在海嘯測報及早期預警上仍有實際上之困難，故本計畫以格林函數之基本理論以及應用提升目前海嘯模擬之計算效率。

本計畫所採用之基本理論稱為互逆格林函數(reciprocal Green's function 以下以 RGF 簡稱)，其構想主要源自 Loomis (1979)與 Xu (2007)；該研究結果指出利用線性系統中之可逆性可以降低對初始條件之依賴性及提高計算效率。

由於海嘯波在大洋中之傳遞，非線性效應可以忽略，所以可視為一個「線性系統」，一般數值模式中可以用線性淺水方程式(Linear shallow water equation)來描述傳遞行為；據此計算出各點之水位時序列變化，即稱為「格林函數」(Green's function)；以數學方式解釋，即是格林函數可視為是線性淺水方程式之 fundamental 解；儘管海嘯波靠近近岸時會呈現高度非線性變化，但在水深深於 50m 的海域，線性淺水方程式依舊能適用於描述其傳播過程(Shuto, 1991)，故線性系統之可逆性仍可適用。「格林函數」之可逆性被稱為是「互逆格林函數」。格林函數的運用在傳統上觀察線性系統中波源所造成的反應，而格林函數通常以波源振幅表示，如果區域內各點的格林函數已經求得，只要計算起始波源的水位與其格林函數的乘積後進行加總，便可得知波源對各點所引起的水位變化。

上述的格林函數(Green's Function，以下以 GF 簡稱)是代表一個已知波源對區域內各點所產生的水位時序列變化。若 s 表示波源位置(source)，而 r 則為接收位置(receiver，即是計算點位)，其 GF 即是由 s 到 r 而其逆向的 GF 代表以 r 產生的單位波源振幅，在 s 所造成的反應。

Loomis(1979)觀察到 GF 及其互逆 GF 對於 s 和 r 是呈現對稱的形式，亦即相同的波源出現在 s 所造成對 r 的反應相當於出現在 r 所造成對 s 的反應，Loomis 所提的互逆特性可以提高計算各點 GF 的效益，只要計算 s 傳播後對所有 r 的 GF，等同於得知當任何 r 出現波源時對 s 造成的反應。

以上由圖 3.1 說明其概念，對某一個接收點 r 而言，由於可能有許多未知震源，故用 s_i 來表示所有可能之震源，其 GF 即是由 s_i 到 r 。由於格林函數具有可逆性，所以任一點 s_i 之單位振幅對 r 所造成之反應(即是格林函數)等於 r 之單位振幅對 s_i 所造成的反應；所以當海嘯發生時，僅需利用相關斷層參數得知起始水位後，做簡單之乘積加總後即可獲得與傳統海嘯模式運算後相同之結果。

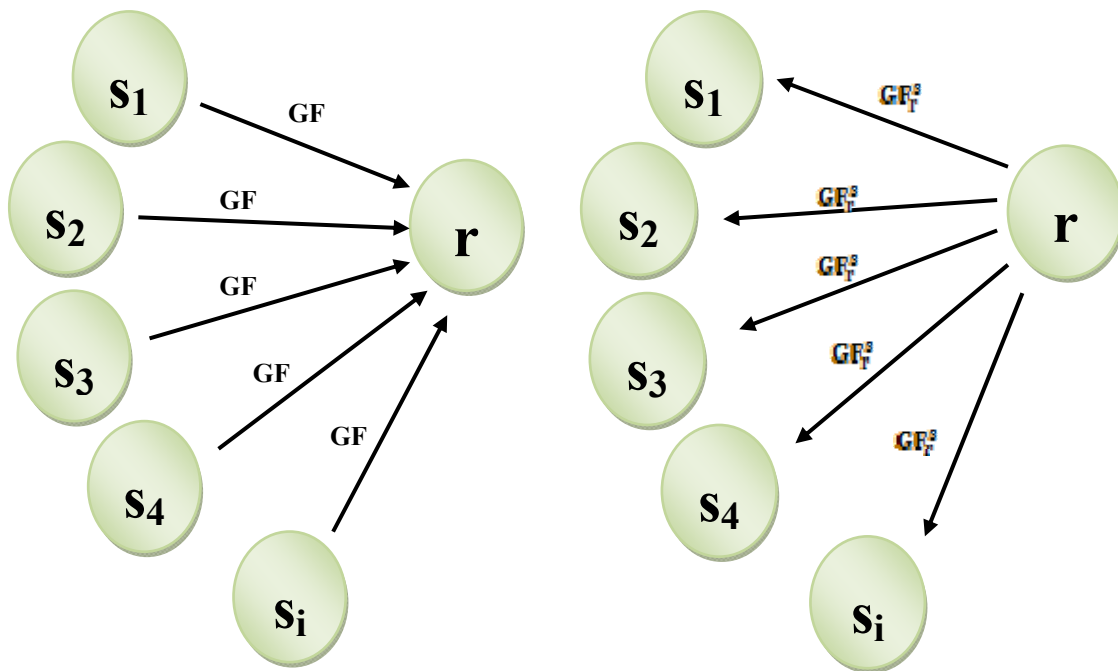


圖 3.1 傳統格林函數與互逆格林函數之示意圖

簡易之理論說明如下：為了解區域內任何 s 點發生海嘯時，其當

地水位將對 r 點位置的造成多大的水位高度，故先計算所有 r 點對應 s 點的 GF 。首先將某一時段內各 r 點的水位經(3.1)式正規化便是 r 點傳播至各點的 GF 值，又因波源振幅為 $1m$ ，所以模式計算後的水位值即為 GF 值。再根據 GF 的互逆性質， r 點對應 s 點的 GF 等同於 s 點對應 r 點的 GF (3.2)式。只要透過(3.3)式作簡單的乘積與加總就可到 s 點在海嘯發生後的該時段水位變化。

$$GF_r^s = \frac{r\text{點水位}}{\text{波源}s\text{之初始水位}} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$GF_s^r(t) = GF_r^s(t) \dots\dots\dots (3.2)$$

$$H_r(t) = \sum_{r=1}^N GF_r^s(t) \times H_s \dots\dots\dots (3.3)$$

其中(3.3)式的 $H_r(t)$ 為各接收點(或是預報點位) r 在時間 t 的水位變化， $GF_r^s(t)$ 為各 r 點在時間 t 的 GF ， H_s 為各波源點的初始水位高度， N 為所有 r 點的總數。 $H_r(t)$ 即是傳統海嘯數值模式之結果，換句話說，(3.3)式可以得到與傳統海嘯模式相符之結果；對於(3.3)式而言， $GF_r^s(t)$ 可以用海嘯數值模式在各個接收點處以單位振幅之方式計算出，故是一個已知之時序列資料；唯一的未知是 H_s ，該項可由地震相關網站上即時擷取相關參數後帶入斷層模式中計算即可得到。透過互逆格林函數，可以以資料庫之方式先行計算單位波高之時序列變化，在海嘯發生後，即可初步了解最大波高及其到達時間，大幅度提升計算效率。

格林函數之最適水深為 $50m$ ，但實際上受限於台灣東西兩岸地形不同，東岸陡峭西岸平緩，且離陸地亦不能過遠；故實務上之點位選擇仍須配合當地地形條件，圖 3.2 為本計畫台北港格林函數計算位置。

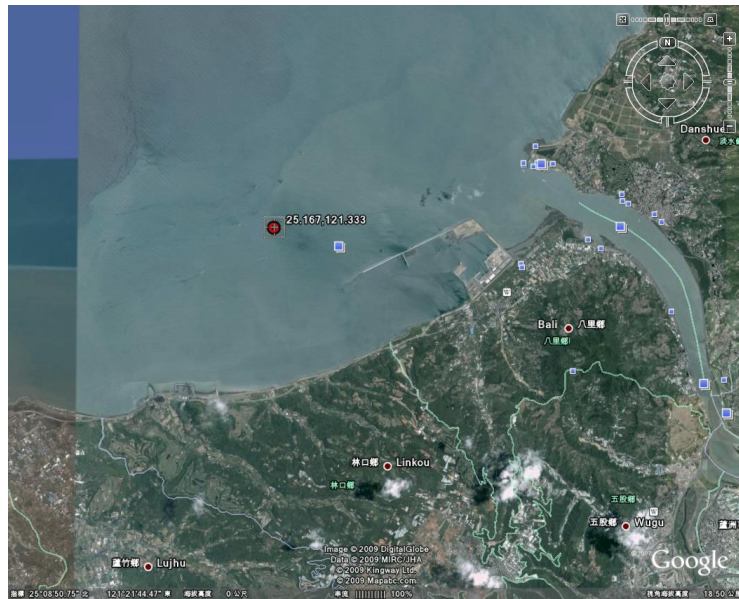


圖 3.2 台北港之預報點位圖

由於互逆格林函數是由單位振幅所計算，故可以資料庫之型態事先建置完成，此一特點容易應用在海嘯早期預警系統上。

3.2 系統建構

本計劃之海嘯預警之構想，即是利用互逆格林函數之高計算效率，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，提供給各港務局作為後續應變之作為之參考。其預警系統主要流程如圖 3.3 所示：

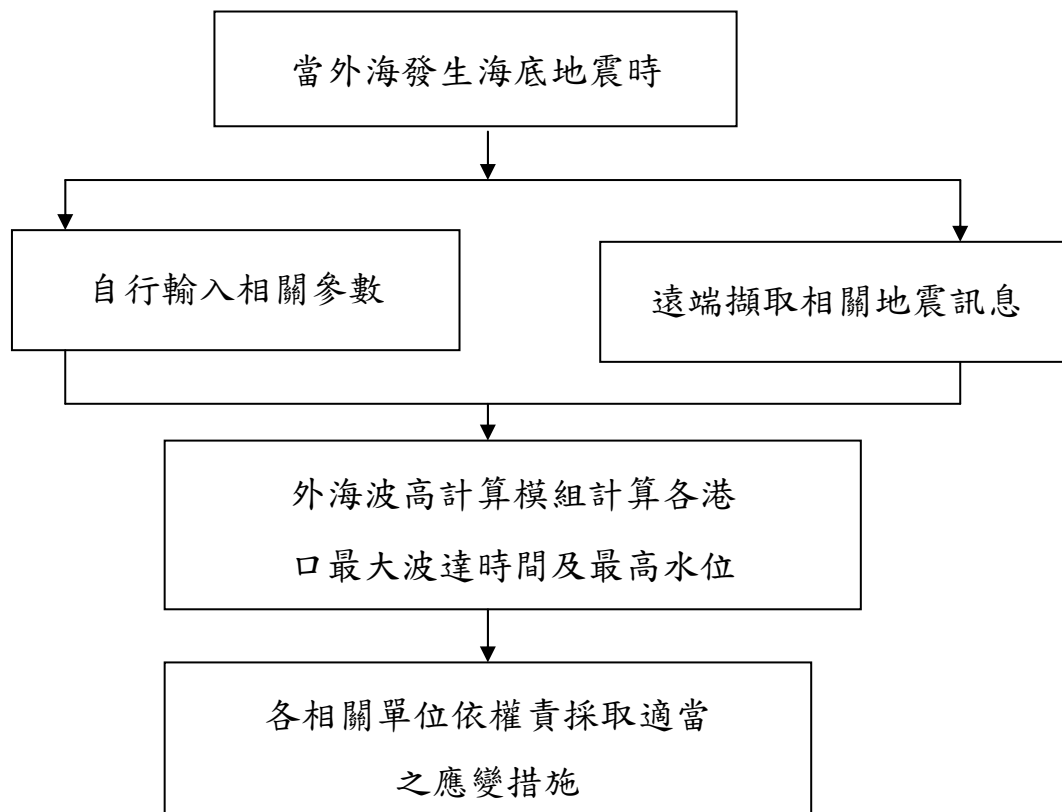


圖 3.3 海嘯預警系統之規劃圖

本操作系統是由 Matlab 軟體所建構而成，該軟體提供了方便之數學運算指令及圖形繪製，更提供了內建之操作者介面設定程序；使用者本身不須安裝 Matlab 軟體，僅須下載編譯器等基本套件即可於個人電腦上執行查詢作業。本計畫利用 Matlab 內建的介面設計模組 GUIDE (Graphic User Interface Design Environment)，提供使用者一個設計「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。其基本建立程序如下：

- (1)如圖 3.4 所示。在 Matlab 的命令視窗鍵入 ' guide' 便可啟動，GUIDE 設計模組並選擇起始介面的面板。

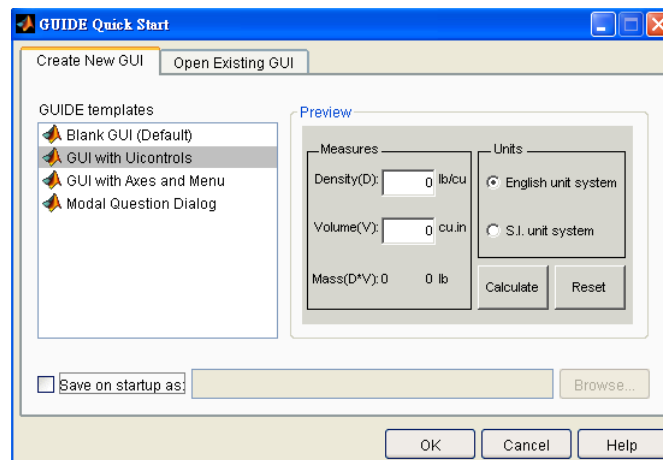


圖 3.4 GUI 程式設計環境

- (2)利用左列的物件選單將所需子面板及物件拖曳到面板並進行排版，在介面主程式內撰寫特定物件的介面互動程式。如圖 3.5 所示。
- (3)上圖為編譯完成後的執行畫面，於左上方的面板輸入相關斷層參數（斷層長度、寬度、滑移量等）。或是選擇直接輸入地震矩規模自動產生斷層經驗參數。
- (4)輸入完成後點選確定按鈕之後便會根據斷層參數計算起始波源，並於右上圖輸出波源的水位分佈。如圖 3.6 所示。
- (5)起始波源設定完成後，在預報時間長度的面板(左中)選擇水位預報時間。
- (6)最後於左下角面板選擇預報地點進行水位預報。如圖 3.7 所示。

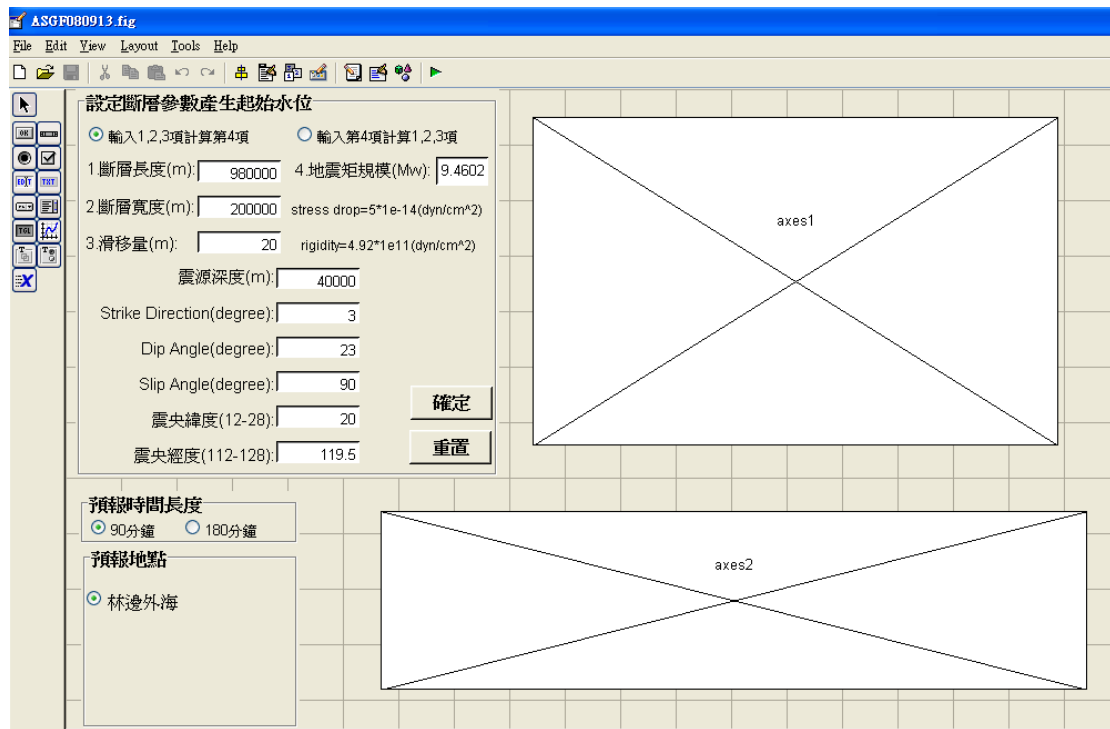


圖 3.5 視窗化操作系統之建立與排版

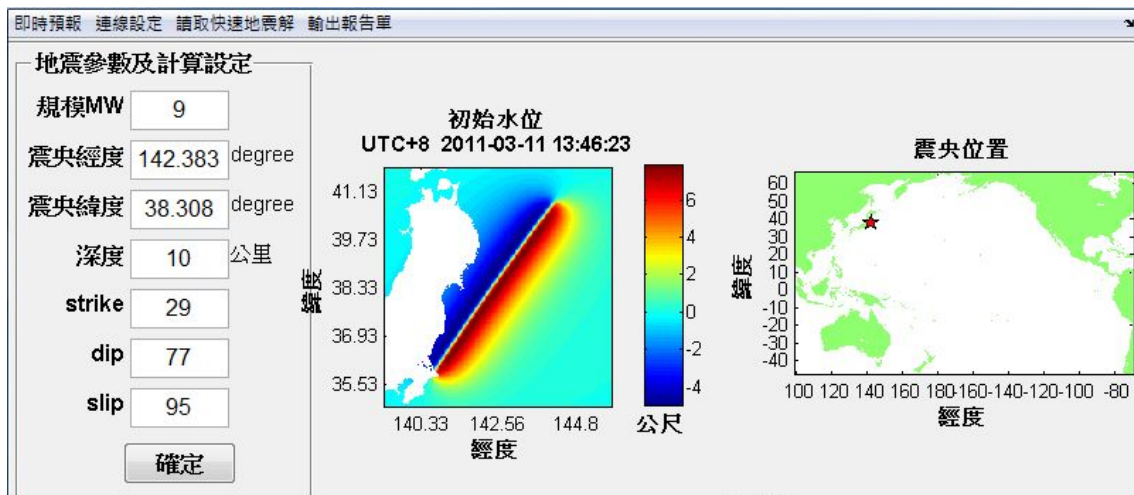


圖 3.6 視窗化介面之編譯完成圖

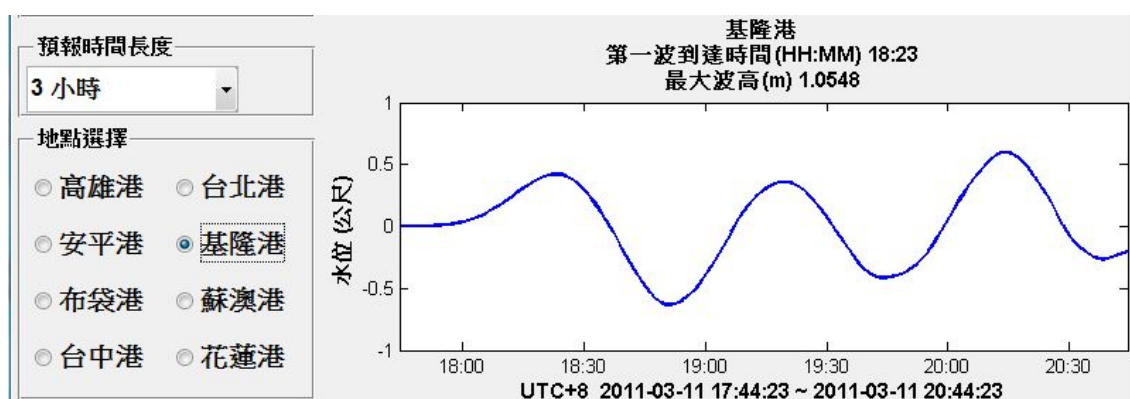


圖 3.7 視窗化介面之計算成果圖

本系統之參數輸入方式是直接輸入地震矩規模，反算斷層長度、寬度及滑移量。就地震警報而言，得知地震矩規模較為容易也較為一般人所接受；斷層長度等資料由於海底斷層探測比較不易，故斷層尺度之換算通常也經由經驗公式得出，其他之斷層參數(例如走向等)可參考 HCMT 等網站得知。

海嘯成因眾多，本系統目前僅適用於因海底地震所產生之海嘯；在計算效率方面，以恆春地震為例，若不考慮近岸波浪非線性之模擬，則使用傳統海嘯數值模式進行全區域模擬且進行後續資料處理則約需 1~2 天；使用本系統計算相同案例，由於已事先完成資料庫運算及建置，故僅需於地震發生初期得知海嘯初始水位即可進行運算以及圖形畫輸出，僅需數秒到數分鐘即可完成計算作業。

3.3 精進系統數值模式之格林函數

本計畫已完成互逆格林函數之海嘯波高資料庫涵蓋範圍擴展至太平洋海盆地區，如圖 3.8。

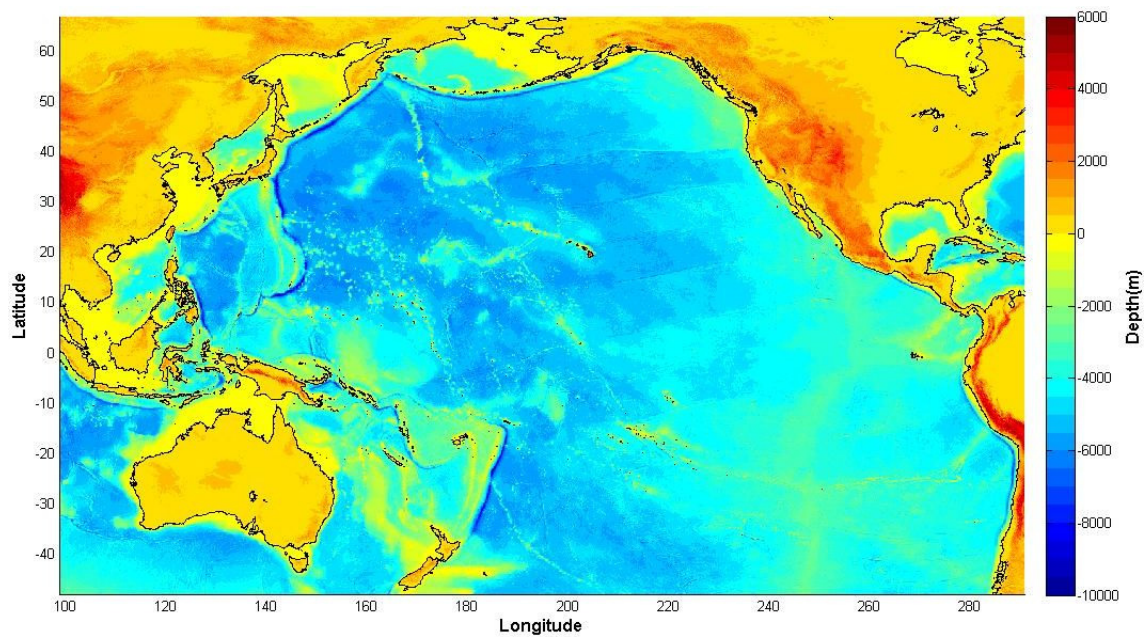


圖 3.8 視窗化系統之計算範圍圖

由於計算範圍涵蓋整個環太平洋地震帶且時間長度甚長，即使以較具效率之 nc 檔格式進行儲存，也需要數百 GB(Gigabyte)，故單港所需之硬碟空間甚大，對儲存空間需求甚高，故有必要進一步改良其儲存方式，同時也可進一步提升計算效率。

目前海嘯波高資料庫中有相當多零值之數值資料，以時間上來說則包含第一波到達時間之前以及預報時間之後，如圖 3.9 所示；以空間上來說，陸地及陸地上未流通之水域(例如湖)則是不必要之資料，如圖 3.10 所示。這些零值資料是造成資料庫龐大的原因。

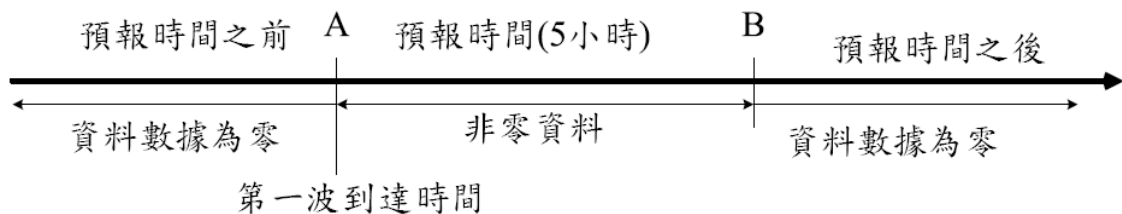


圖 3.9 單點格林函數數值資料在時間上之分布型態

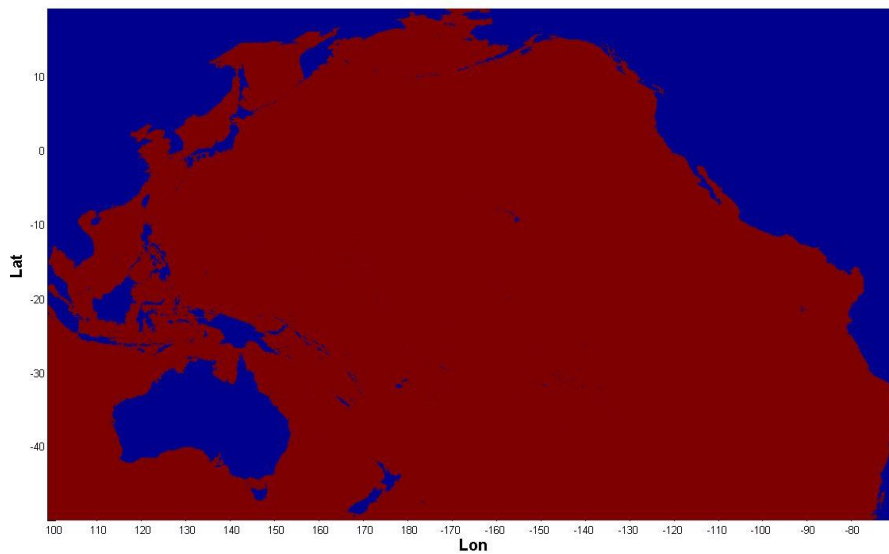


圖 3.10 單點格林函數數值資料在空間上之分布型態(紅色部分為水域，藍色為陸域)

因此對於單一預報點而言，第一波到達時間之前之資料可省略不予儲存，待確定第一到達時間時即予用零補齊即可；因此，利用等值線之觀念可以得知每一預報點之第一波到達時間，這稱之為「時間索引」；當預報點之格林函數出現不為零時即定義到達時間。這種資料儲存概念可有效降低時間長度之資料儲存量，僅為原先容量之 1/4。

另一方面，非水域之空間點位也是會佔據大量之儲存空間，因此，本計劃將陸域之點位自資料庫中除去，可再降低約 10GB(Gigabyte)之容量；故時間及空間均作儲存方式及點位精進後，約可減少 80%之儲存空間，同時也提高約 30%之計算速率。以高雄港為例，可由原 124GB(Gigabyte)降為 26GB(Gigabyte)，其水位時序列變化(圖 3.11)是一致的，故可說明本法之可行性，並可大幅度降低儲存空間之需求。

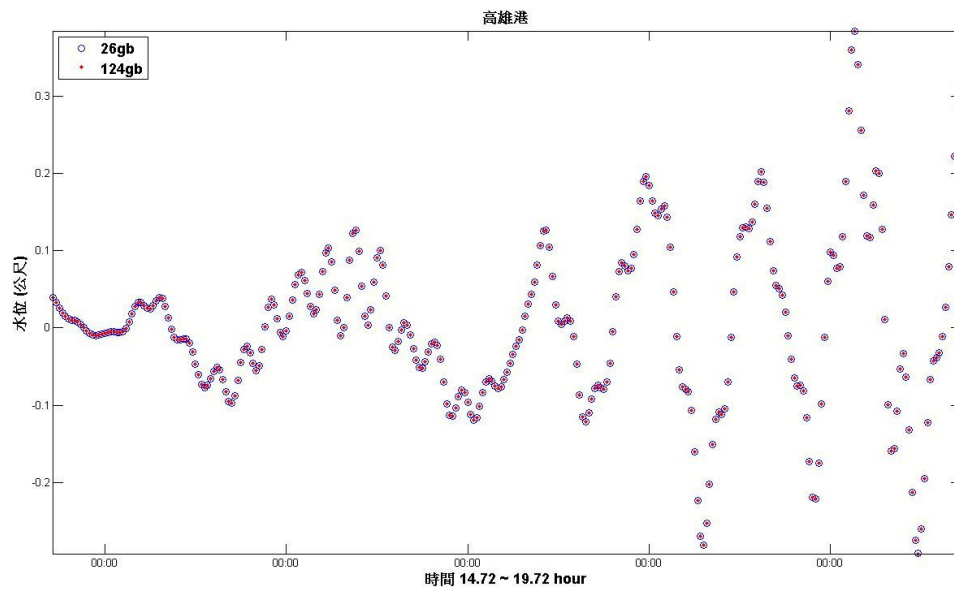


圖 3.11 高雄港格林函數變更前後之水位變化驗證

減少了海嘯波高資料庫單筆檔案的容量大小，一方面資料庫所需硬碟空間減少，另一方面系統在讀取資料庫時能夠更加快速讀取完成用以後續計算；精進後結果與精進前結果一致，使系統能更加便利及完善。

3.4 基隆港域及台北港域海嘯預警子系統

3.4.1 海嘯預警子系統

基隆港位於台灣北部，是我國最北端之國際商港；相較於其他國際商港，基隆地區是有可信度較高之海嘯歷史事件發生過，且基隆港區與基隆市區緊密相連，故基隆港面臨之海嘯潛勢威脅較其他港口為高。

台北港位於新北市之八里地區淡水河出海口南岸，是一個經由人

工填海造陸而成之人工港，涵蓋之總面積為 3,102 公頃，港區範圍約為基隆港五倍；主要之海嘯威脅除了與基隆港相同外，另外包含了大陸沿岸一帶之震源區。

由於兩港之特性不同，故本計劃也預定分別建置適用於兩個港口之子系統，潛勢震源區包含整個環太平洋地震帶，並使用前小節所述之方式減少資料庫所需之空間；預報時間長度為自第一波到達時間起算 5 小時；至於震源參數之連線設定，遠端資料來源仍是即時擷取美國 USGS 之地震即時資料(如圖 3.12)，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。

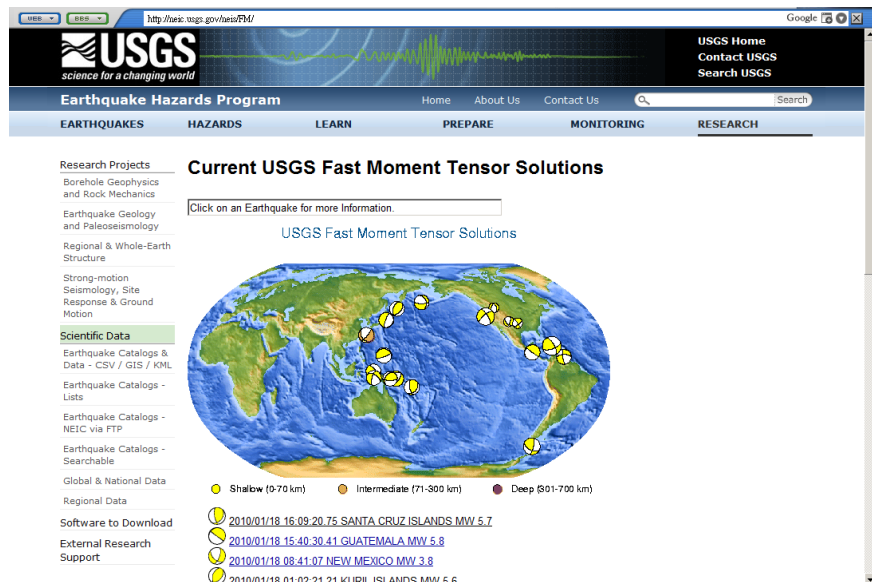


圖 3.12 美國 USGS 資料庫

3.4.2 即時地震資料擷取

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；對於震央發生在台灣周邊海域恐有不及，因此在台灣區附近(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 3.13 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。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 3.14）。圖 3.15 為目前完成之即時地震擷取系統介面。

Quick CMT Reports:

[Recent Qcmt Distribution In Taiwan](#)

Subscribe Quick CMT											
Date	Time(UT)	Lat.	Lon.	Dep.	Mw	Strike	Dip	Slip	Misfit	CMT	Detail
2010-11-10	9:36:58.70	22.87	121.26	18.00 18	3.70	216 344	39 63	135 60	0.504		Trace Map Image Solution
2010-11-09	18:30:52.90	24.55	121.82	9.80 12	3.70	96 6	71 89	1 161	0.581		Trace Map Image Solution
2010-11-08	13:12:1.30	23.22	120.41	19.90 17	4.50	337 218	42 67	37 126	0.584		Trace Map Image Solution
2010-11-06	0:22:6.50	24.04	121.93	57.30 59	3.40	127 27	64 69	23 152	0.651		Trace Map Image Solution
2010-11-04	18:22:25.50	22.05	121.61	42.20 44	3.60	257 11	33 75	153 60	0.712		Trace Map Image Solution

圖 3.13 中央氣象局網站之即時地震資料



F-net HOME

Questions&Comments

User registration

NIED NIED

JAPANESE

What is F-net

Station Info

Waveforms

Access Count

Renewal History

Topics

Moment Tensors

Search for Mechanism

FAQ

Retrieval of Waveforms

Earthquake Information 2011/04 (UT)

2011 ▾

04 ▾

Search

Introduction

Information

publication

What is Mj?

Updated

<< Prev

Next >>

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	136.3 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	77.38
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	96.46
2011/04/17,15:47	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
2011/04/16,20:21	36.2 N	141.0 E	40 km	Mj 4.8	E OFF IBARAKI PREF	79.14
2011/04/16,20:19	37.1 N	140.9 E	10 km	Mj 4.5	EASTERN FUKUSHIMA PREF	71.96
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 4.6	NW OFF ISHIGAKIJIMA IS	79.47
2011/04/16,04:20	37.6 N	141.6 E	50 km	Mj 4.4	E OFF FUKUSHIMA PREF	69.52

圖 3.14 日本防災科學技術研究所 F-net 即時地震資料

圖 3.15 建構完成之即時地震資料擷取系統

另一方面，由於本研究所發展之海嘯模擬預警系統其基本概念及精神迥異於其他海嘯模式，其操作介面與軟體設置雖適用於個人電腦，但仍需透過教育訓練移轉至使用者使用，故當編寫簡易之使用手冊及教育訓練將技術移轉至台北及基隆港務局。

3.5 系統驗證

3.5.1 東日本大震災海嘯

台灣時間 2011 年 3 月 11 日下午 1 點 46 分於日本發生芮氏規模 9.0 之大地震，交通部港灣研究中心以本系統提供災防中心海嘯在台灣各大港口的水位變化，得到相當好的結果。本節利用交通部港灣研究中

心提供台北港 2011 年日本海嘯之水位變化，與本系統所計算之結果比較驗證。

日本氣象廳針對 311 東日本地震地震波等相關資料進行詳細分析後，發現這次地震的震央區域長達 500 公里，寬度約有 200 公里，地震斷層的破壞持續 5 分鐘以上。此地震造成數公尺高的巨浪，將沿岸許多房屋、汽車，夾雜大量碎片和土石沖進內陸數公里。至少 20 國政府和許多太平洋島嶼都發布海嘯警報。受海嘯威脅的國家和地區擴及俄羅斯、印尼、中南美洲國家如瓜地馬拉、薩爾瓦多和哥斯大黎加，以及美國領土夏威夷。

驗證之方法利用總體經驗模態分解法 (Ensemble Empirical Mode Decomposition, 簡稱 EEMD) 的方式解析日本地震所引起海嘯傳達至台北港外的水位觀測資料，藉以了解海嘯到達時間以及海嘯高度。同時將美國國家地震資訊中心(U.S. ,National Earthquake Information Center) 對日本地震估算的 FMT 解(Fast Moment Tensor solution)代入海嘯預報系統，藉以計算台北港附近海嘯的預報水位。最後比較海嘯預報系統產生的水位與 EEMD 解析出的海嘯水位兩者的差異。

3.5.2 總體經驗模態分解法(EEMD)

傳統之經驗模態分解法會產生混模(mode mixing)問題，即在同一個 IMF 裡會有不同尺度的訊號混雜，或者是同一尺度的訊號出現在不同的 IMF。產生混模的主要原因是部分訊號在整段時序資料中呈現斷斷續續的分布，而非連續性分布；加以海面水位變化的資訊常是非線性(nonlinear)與非穩態(nonstationary)，所以不適合傅立葉系列的分析方法，故本研究利用 Wu and Huang(2008) 之 EEMD 分析法。此方法能將原始訊號分解成多個本質模態函數(Intrinsic Mode Function, 簡稱 IMF)。EEMD 的基本作法就是把一組白噪序列(white noise series)加入目標訊號分解後可得到一組 IMF 分量，再將多組不同白噪序列分別加入目標訊號分解出各自的 IMF 分量組，分別將每個 IMF 分量組其相對應的

IMF 分量加總平均後求得一組 IMF 分量，此 IMF 組即為最終的結果。

3.5.3 海嘯模擬預警系統

本文使用的海嘯模擬預警系統（圖 3.16）基本運作分為地震引起初始波源生成與互逆格林函數計算預報水位兩部分。前者利用美國國家地震資訊中心(USGS)的 FMT 解代入 Mansinha and Smylie(1971)提出的彈性半空間錯移模型(elastic half-space dislocation model)，此斷層模式主要是計算走向滑距及傾向滑距在垂直地表方向的分量，即垂直位移的總量，藉以獲得地震引發的海嘯初始水位。

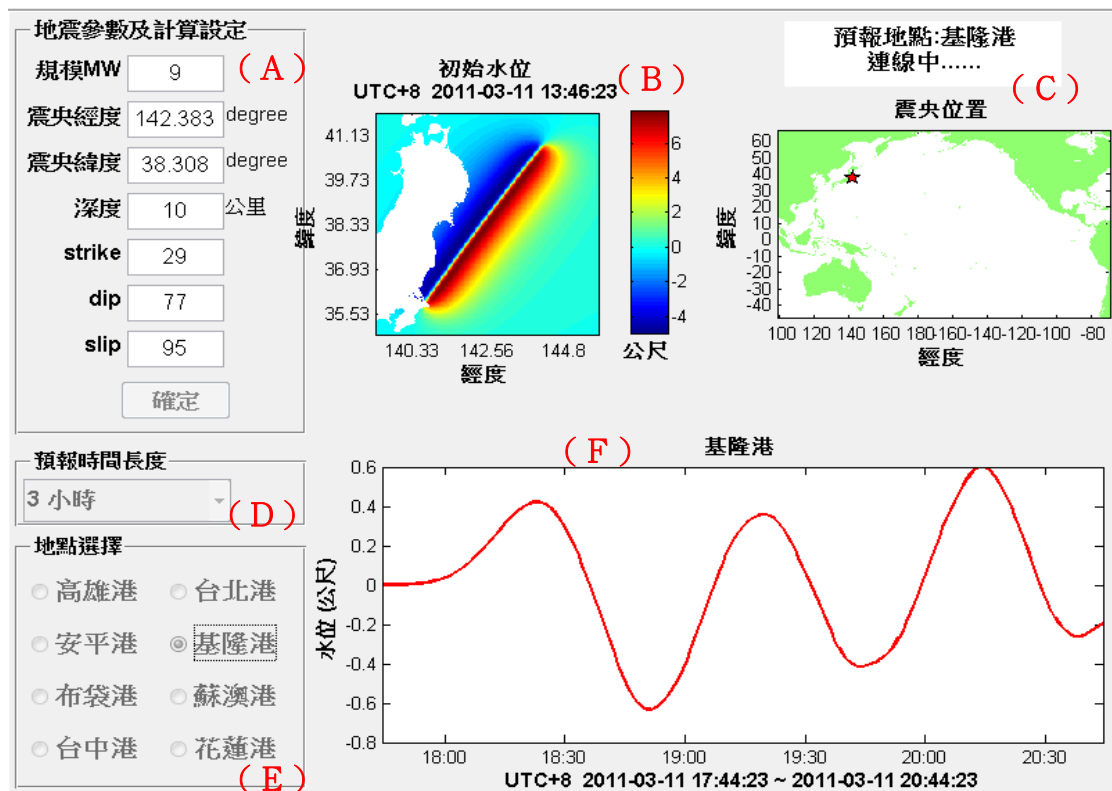


圖 3.16 海嘯預警系統

系統程序：

(A)輸入地震解。

(B)由經驗公式計算斷層長、寬及位移後，再代入斷層模式產生地震造

成的初始水位。

(C)同時標示震央位置。

(D)選擇預報時間長度。

(E)選擇模擬地點。

(F)模擬海嘯抵達的水位結果。

3.5.4 系統驗證

使用 USGS 最新地震解（圖 3.17）帶入海嘯模擬預報系統中得到台北港水位變化結果，與使用 EEMD 法濾潮後台北港觀測水位資料比較，如圖 3.17。

```
Epicenter: 38.308 142.383
MW 9.0

USGS CENTROID MOMENT TENSOR
11/03/11 05:47:47.20
Centroid: 38.486 142.597
Depth 10 No. of sta: 151
Moment Tensor; Scale 10**22 Nm
  Mrr= 2.03 Mtt=-0.16
  Mpp=-1.87 Mrt= 2.06
  Mrp= 3.49 Mtp=-0.60
Principal axes:
  T Val= 4.57 Plg=58 Azm=306
  N -0.05 5 208
  P -4.52 32 115

Best Double Couple:Mo=4.5*10**22
NP1:Strike= 29 Dip=77 Slip= 95
NP2: 187 14 68
```

圖 3.17 USGS 日本 311 宮城海嘯參數

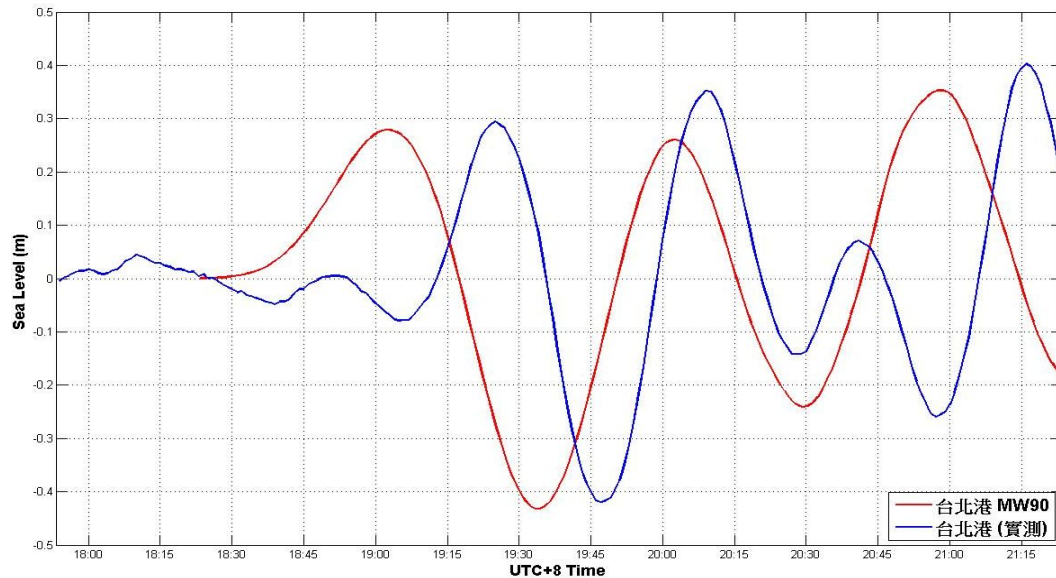


圖 3.18 台北港系統模擬水位(紅線)與濾潮後的實測水位(藍線)比較

此系統計算水位時間約數秒鐘到數分鐘，模擬結果台北港部分波高大約一致，到達時間約提前十幾分鐘。系統為求快速預報，計算格林函數使用線性淺水方程，地形使用 2 分解析度的數值地形，及簡單的初始水位產生方式，都是產生誤差的可能原因，但其結果在運算速度與預報功能上應符合實際需求。

3.5.5 海嘯事件檢討

此次東日本大震災地震引發海嘯襲擊日本東北地區南部(宮城、仙台、千葉、福島一帶)；地震發生後一小時，美國地質調查所(USGS)公佈相關地震參數後，台灣國際商港海嘯速算系統(以下簡稱速算系統)計算出海嘯波到達台灣各國際商港之抵達時間與水位變化，如圖 3.19 所示即為蘇澳港之抵達時間與水位變化。

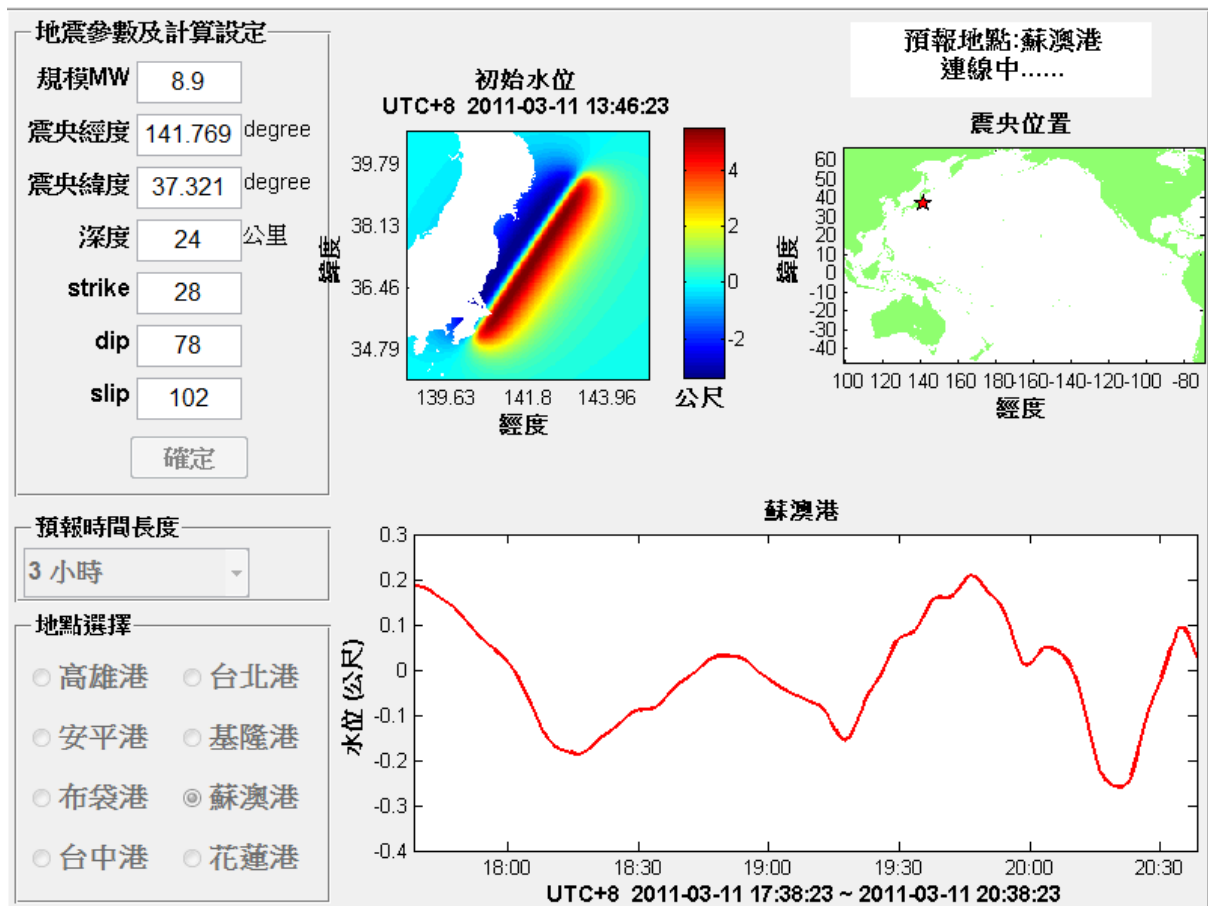
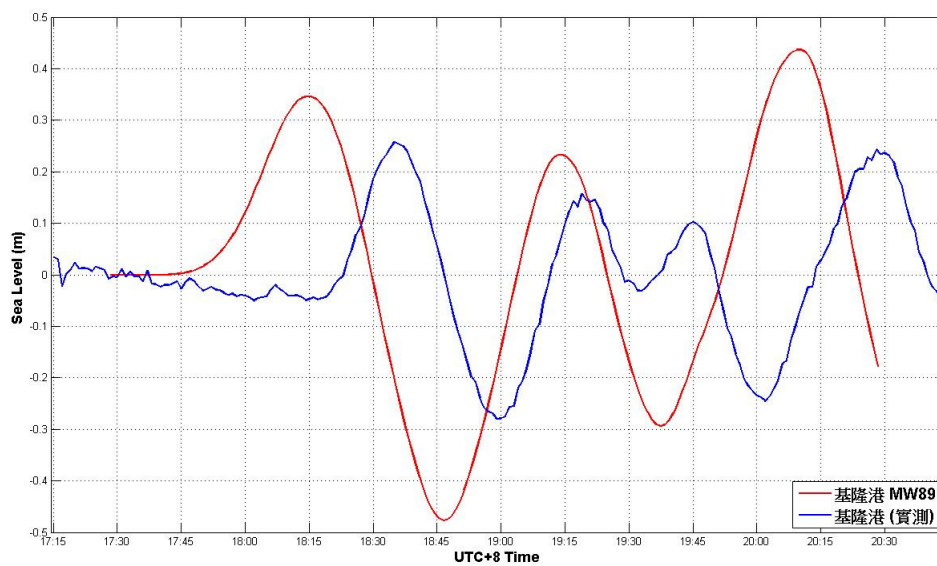


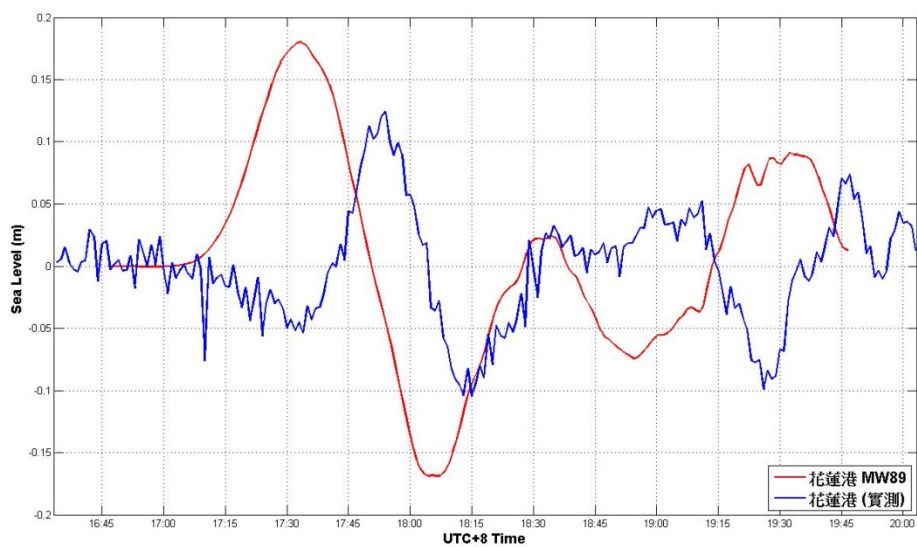
圖 3.19 以速算系統及新公佈之地震參數計算蘇澳港之海嘯波到達時

間及水位時序分佈

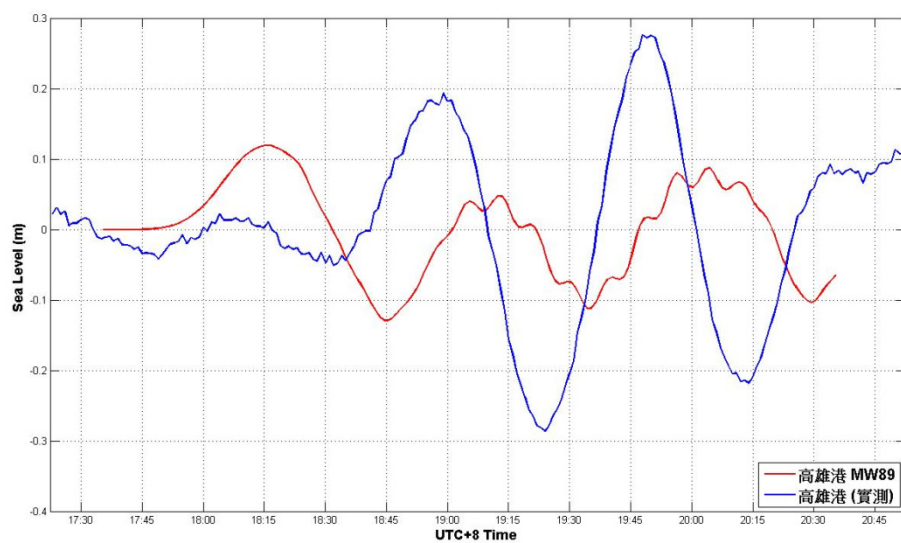
速算系統計算出之水位變化與運研所港研中心現場觀測結果之比較則如圖 3.20；其中速算系統計算出之抵達時間大致正確，基隆、花蓮、高雄、安平以及圖 3.21 所示蘇澳港之海嘯波形與現場觀測之波形相似，但有 15-20 分鐘的時間差。布袋港、台中港及台北港水位變化與現場觀測之波形相似度較差；由於三港皆位於台灣海峽中間，此現象顯示台灣海峽較淺的水深造成海嘯波變短，因此需要更準確的海底地形才能準確模擬。在海嘯高度的比較上，除台灣海峽中間三港之波形相似度較差不予討論外，速算系統計算出之基隆港、花蓮港以及安平港水位變化較現場之海嘯高度大。反之，高雄港波高較現場觀測之波高小；圖 3.21 所示蘇澳港之海嘯波高則與現場觀測之波高相當。



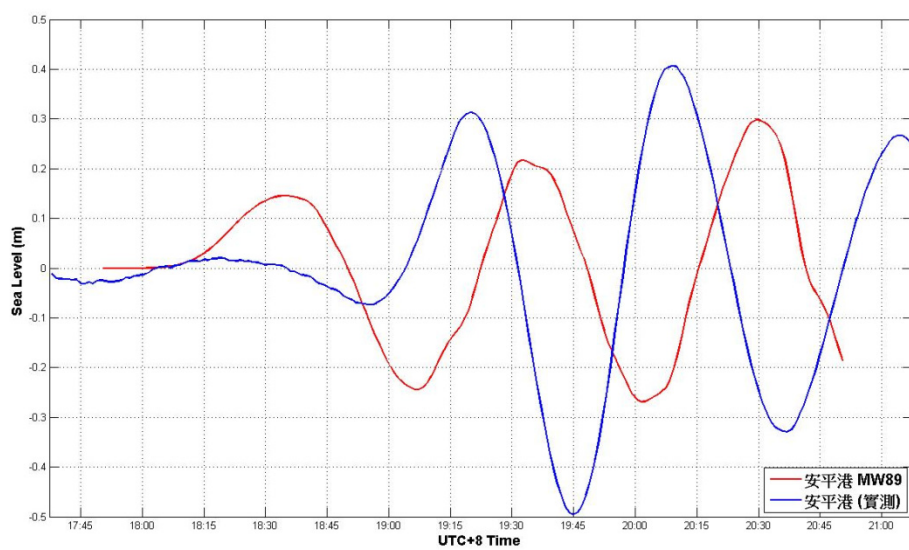
(a) 基隆港水位時序分佈與實測資料比較



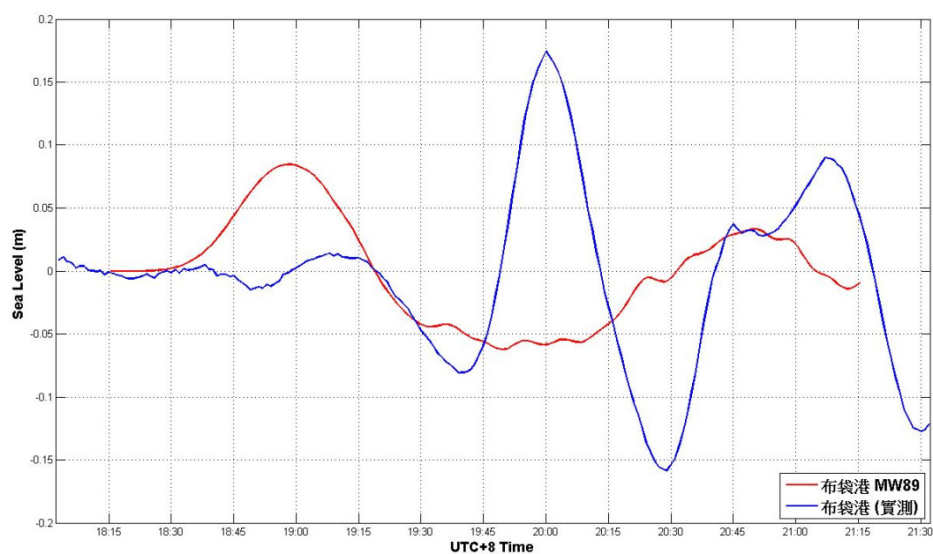
(b) 花蓮港水位時序分佈與實測資料比較



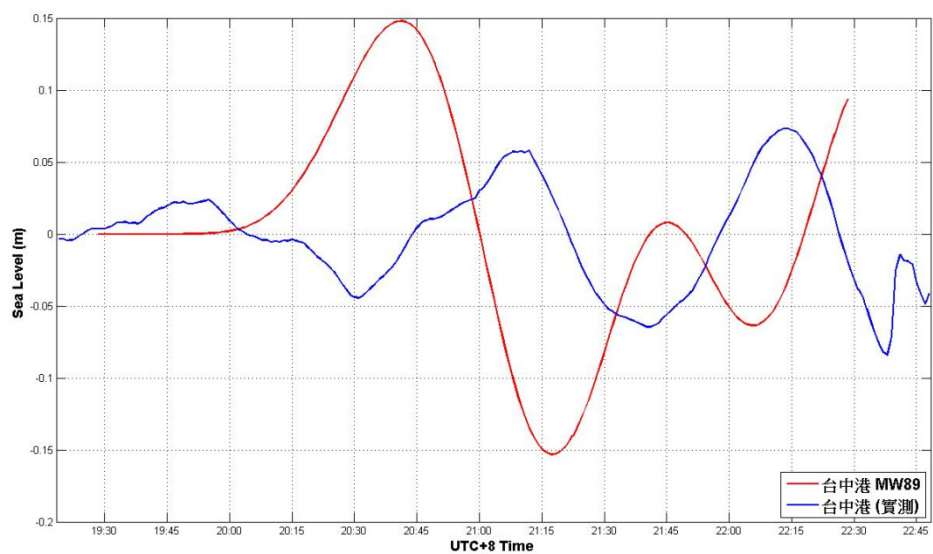
(c) 高雄港水位時序分佈與實測資料比較



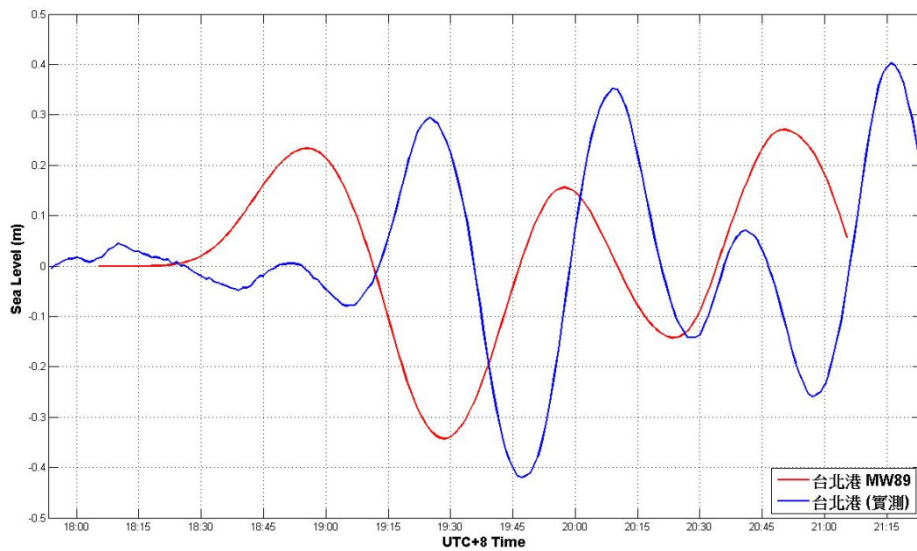
(d) 安平港水位時序分佈與實測資料比較



(e) 布袋港水位時序分佈與實測資料比較



(f) 台中港水位時序分佈與實測資料比較



(g) 台北港水位時序分佈與實測資料比較

圖 3.20 以速算系統及地震發生後一小時美國地質調查所公佈之地震
參數計算(a)基隆港、(b)花蓮港、(c)高雄港、(d)安平港、(e)布袋港、(f)

台中港及(g)台北港水位時序分佈與實測資料比較

之後，美國地質調查所上修地震矩規模至 9.0 並及修正地震參數，
速算系統計算所得之海嘯高度差異不大，波形也大同小異，如圖 3.21
所示蘇澳港之例子：

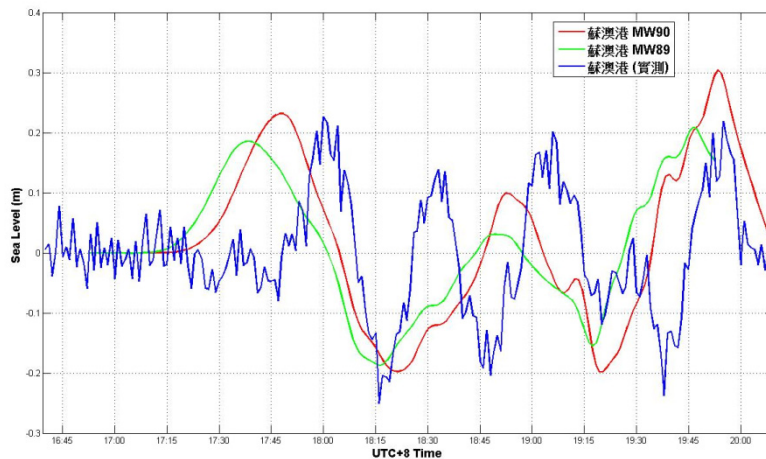


圖 3.21 以速算系統根據地震發生後一小時美國地質調查所公佈之地震參數(地震矩規模 Mw8.9)及新公佈之地震參數(地震矩規模 Mw9.0)

計算蘇澳港水位時序分佈與實測資料比較

美國地質調查所在地震發生後一小時才公佈相關地震參數，之後又陸續修正，如上修地震矩規模至 9.0，震源深度也由 24km 修正為 20km，再修正為 10km。這些困難顯示地震參數並不易確定，而正確的海嘯水位變化必須依靠正確的地震參數；氣象局能提供近域地震的參數，惟其正確性與對時效之掌握都必須十分可靠。而目前除了美國地質調查所外，並無遠域地震參數之可靠來源。不過，站在「料敵從寬」的立場，速算系統計算出之水位變化與現場之海嘯高度有差異並不是太嚴重的缺失；缺乏即時的地震參數也可以使用近似值，取其結果較嚴重者即可。

此次日本海嘯事件，太平洋海嘯預警中心發佈海嘯警報範圍包括台灣；因此政府亦發佈海嘯警報。但是在實務上國外發佈海嘯警報常採用分級制度，將海嘯警報分為 1.馬上避難的海嘯警報（warning）、2.僅淨空沙灘與海岸地區的警戒勸阻（advisory）、以及 3.觀察中

(watching)等三級。此次海嘯事件，根據速算系統計算出之水位變化，屬於警戒勸阻的範疇(波高 0.3m-1m)，應該淨空沙灘與海岸地區並加強警戒勸阻即可。

海嘯波高的預測常有誤差。有的強震造成了海嘯，但波高卻又甚小，使原先發佈的警報成了假警報(false alarm)。例如 2010 年智利 8.8 強震後，太平洋沿岸國家，從夏威夷到紐西蘭、日本，接連發佈海嘯警報，各國忙著疏散民眾，沒想到成了假警報。久而久之，民眾戒心降低，因為以前的經驗，反而認為是假警報，或是認定自己居住的縣市不會有海嘯；倘若真有大海嘯來襲，生命損失更大。所以政府提供的資料越詳細，越能減少假警報的發生。如果大大小小的海嘯都一視同仁，民眾無法判斷，反而把所有警報都當作是假警報。

本次海嘯事件，氣象局只發佈海嘯抵達時間，但是實際上如圖 3.21 所示，海嘯並非只有一個波，最大波可能在第一個波過後一段時間才到來。氣象局可能尚未建立海嘯預報系統，故未能提供第一個波過後之水位變化，提供的資料不夠詳細。此外，台灣各地海岸特性不同，對海嘯的地形放大效應也不同；海嘯預報系統應該分區發佈才合理。

第四章 海嘯災害風險評估

4.1 前言

海嘯發生的主要原因為海底地震，雖然目前為止地震無法準確預測，地震發生後可能造成的災害評估技術也趨於成熟，在地震引發海嘯方面可包括(一)可能發生災害的地區(二)破壞發生的機率(三)破壞的程度等，對於提升救災效率、降低生命財產損失，有明顯的幫助，也是在目前最可預期的成效。

本研究提出一種評估方法：「引發海嘯之地震期望數 Tsunamigenic Earthquake expectation Number (TEN)」，其方法由歷史地震紀錄推算未來可能發生的地震次數，配合海嘯的發生條件：海源(震央位置位於海洋)，且震源深度小於 30 公里之條件；以此條件推算未來可能發生海嘯的次數期望值。接著提出「海嘯溢淹機率 Tsunami Inundation Probability (TIP)」，其方法使用二維海嘯模式計算若發生不同規模海嘯地震時，對於台灣東南沿岸各鄉鎮所產生的最大波高，以及此波高以模式模擬對於陸地所產生的溢淹狀況，取溢淹高度 50 公分且離岸 50 公尺為溢淹點，再與模式模擬數值地形岸線點位長度作比值，定義為溢淹機率。綜合海嘯發生次數期望值，與發生海嘯地震所產生的溢淹機率，可得到研究區域發生不同規模海嘯地震且溢淹的機率，將不同區域、不同規模得到的機率加總，則可得到台灣東南沿海鄉鎮評估區域的發生海嘯且溢淹的機率值。以作為發生海嘯地震且溢淹的災害評估。整體之機率評估方式可寫為如(4.1)~(4.2)式所示：

$$\sum_i \sum_j TEN_j^i TIP_j^i = \sum_i \sum_j EN_j^i P_{ocsh}^i TIP_j^i \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

$$TEN_j^i = EN_j^i P_{ocsh}^i \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

式中， EN_j^i 代表子震源區 i 發生 j 地震級距主要地震次數的期望值， P_{ocsh}^i 則是指 EN_j^i 中發生震源深度小於 30 公里海底地震的機率。上標 i 代表子震源區之數目；下標 j 代表地震級距。圖 4.1 為此一概念之計算流程圖。

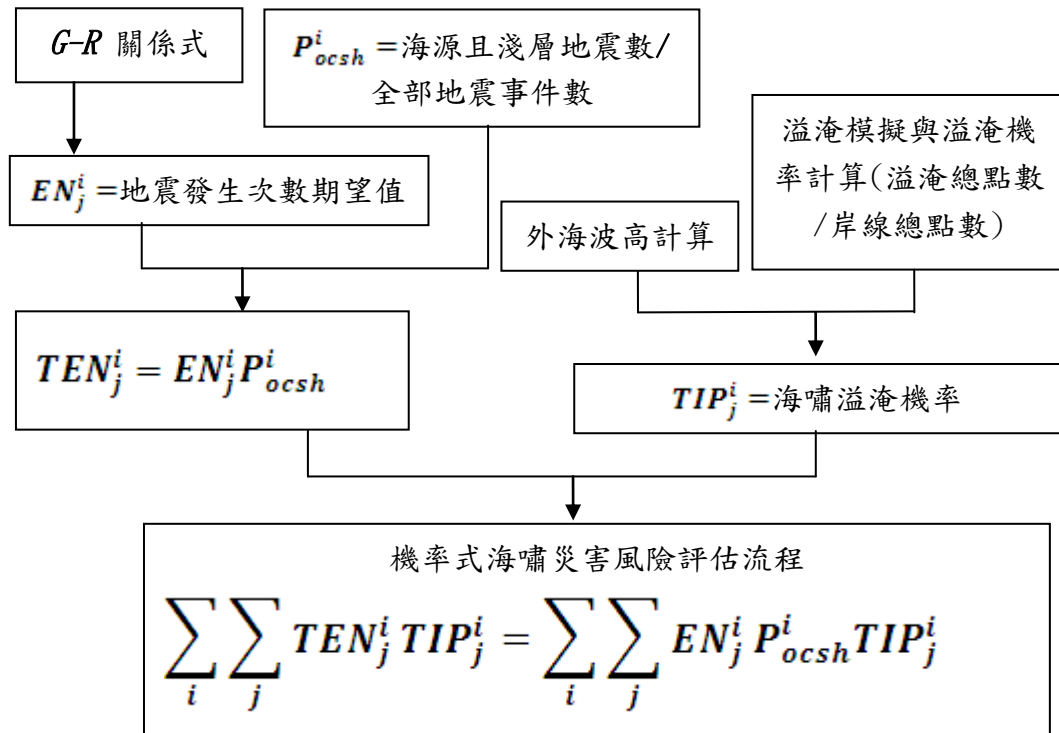


圖 4.1 規劃流程圖

4.2 海嘯地震發生次數期望值

4.2.1 研究區域

研究區域主要為環太平洋地震帶，全球有 80% 的地震發生在此，而歷史海嘯記錄則有 85% 發生在環太平洋地震帶的島弧-海溝地帶。環太平洋地震帶幅員廣闊，主要地震發生地大抵分為中央地區之南北太平洋及各版塊之海溝、島弧；自 USGS-NEIC 資料庫中所擷取之地震資

料(含陸源及海源地震)總數約為十餘萬筆，其數量主要分佈概況如圖所示，可以發現位於太平洋中央海底盆地之數量較少；東西兩岸之海溝還是主要地震發生地。其次，由於各版塊及海溝地質條件各異，為便利後續海嘯模擬及溢淹機率計算，需將各海溝做適當之分塊，Gusiakov(2005)建議以各主要海溝做為分類之依據，如圖所示。本研究之分類則如圖 4.2 所示。

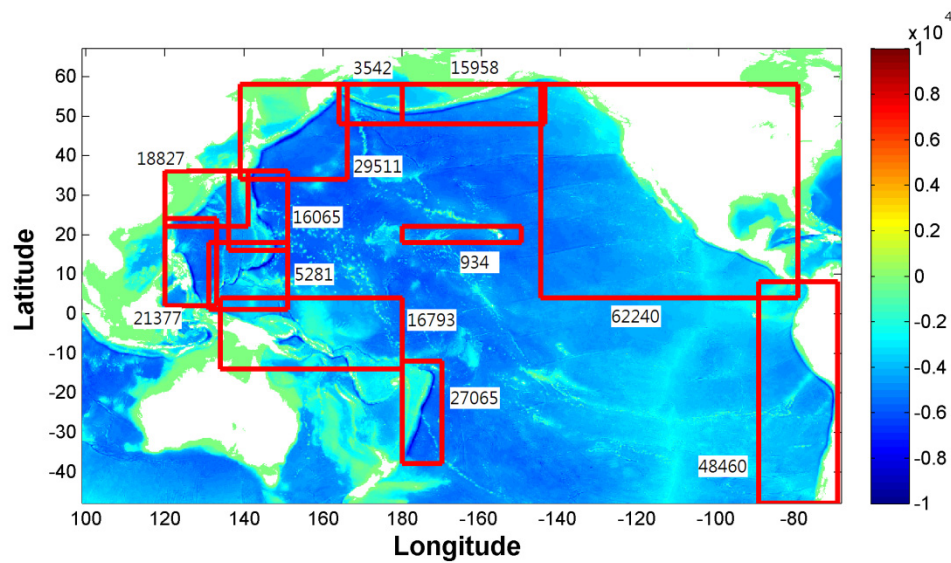


圖 4.2 環太平洋地震數量分佈圖

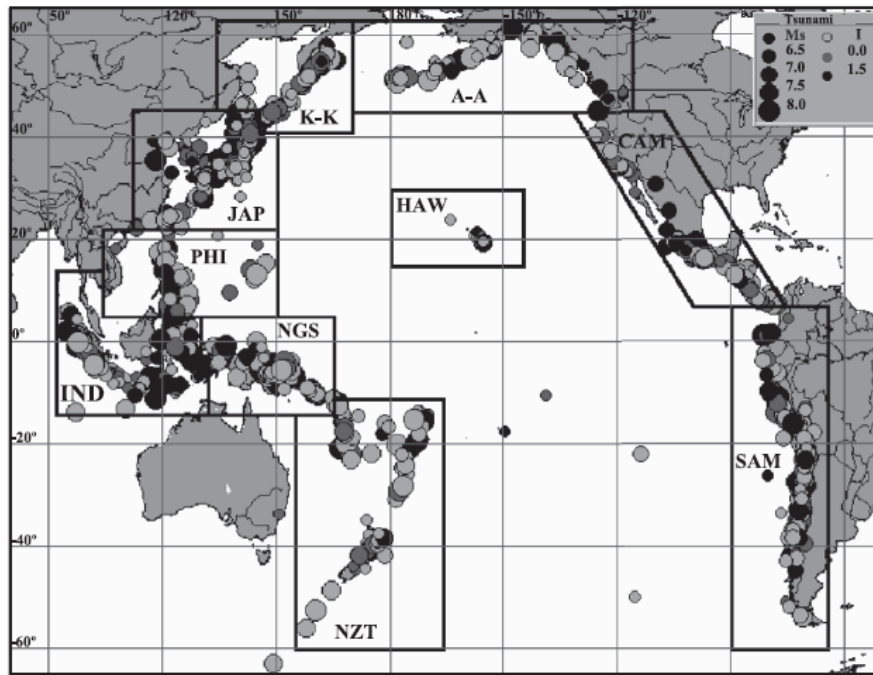


圖 4.3 太平洋區域之主要海溝分佈及劃分建議(Gusiakov, 2005)

根據上述之建議，本研究進一步以緯度 2 度為一單位，將各主要海溝做細部分區；主要目的為由於海溝一般甚長(例如馬尼拉海溝)，在選取可能震源及計算機率時，若將一海溝視為一整體，會減少可能之震源數。表 4-1 為本研究主要海溝之基本資料及各所屬之子區塊數量。

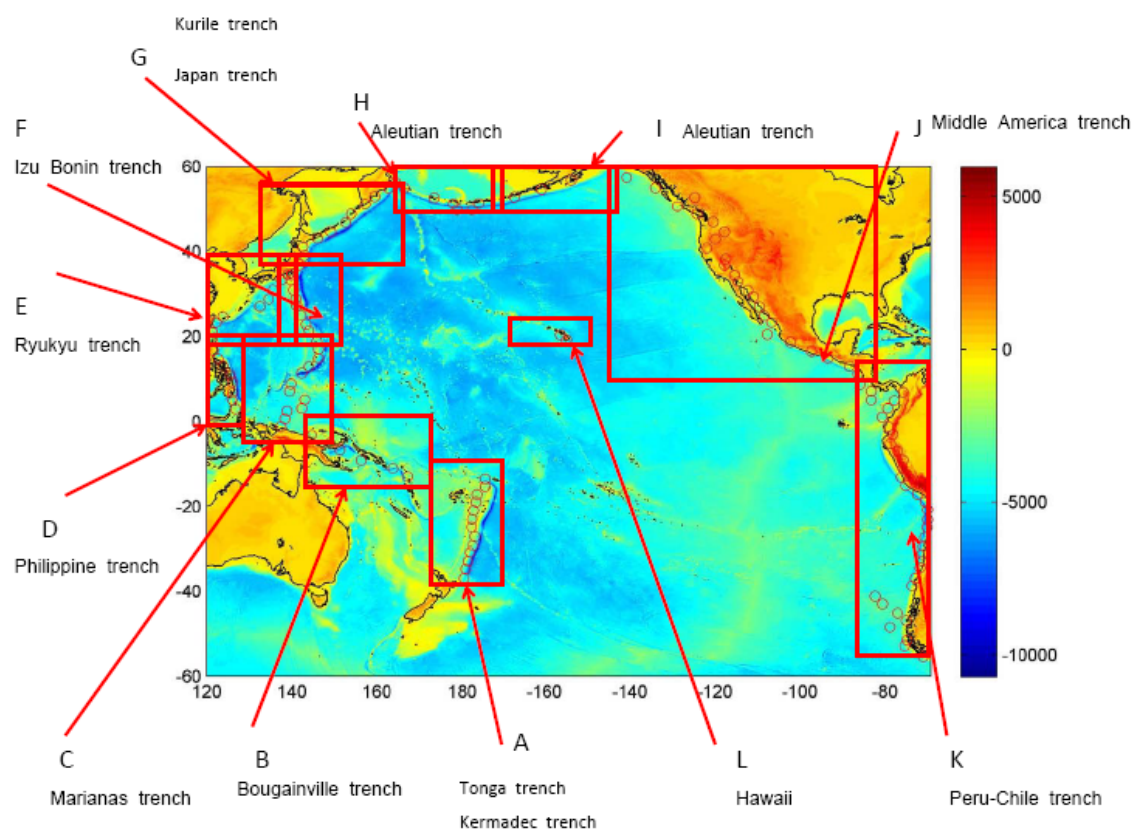


圖 4.4 本研究主要海溝分佈圖及名稱

表 4-1 各畫分區塊及資訊

區塊	名稱		大約經緯度	NEIC 地震筆數	計算挑選筆數
A	Tonga trench and Kermadec trench	東加海溝與克馬迪克海溝	(-180~-170,-38~-12)	27065	23816
B	Bougainville trench	布干維爾海溝	(134~180,-14~4)	16793	14039
C	Marianas trench	馬里亞納海溝	(131~151,1~18)	5281	4463

D	Philippine trench	菲律賓海溝	(120~133,2~24)	21377	17333
E	Ryukyu trench	琉球海溝	(120~141,22~36)	18827	12520
F	Izu Bonin trench	伊豆小笠原海溝	(136~151,16~36)	16065	12122
G	Kurile trench and Japan trench	千島海溝與日本海溝	(139~166,34~58)	29511	23417
H	Aleutian trench	阿留申海溝	(164~180,48~58)	3542	2208
I	Aleutian trench	阿留申海溝	(-180~-144,48~58)	15958	5332
J	Middle America trench	中美海溝	(-145~-80,4~58)	62240	12678
K	Peru-chile trench	智利海溝	(-90~-70,-56~8)	48460	15704
L	Hawaii	夏威夷	(-180~-150,20-22)	934	215
M	Manila	馬尼拉	(118~123,12~23)	3856	3238

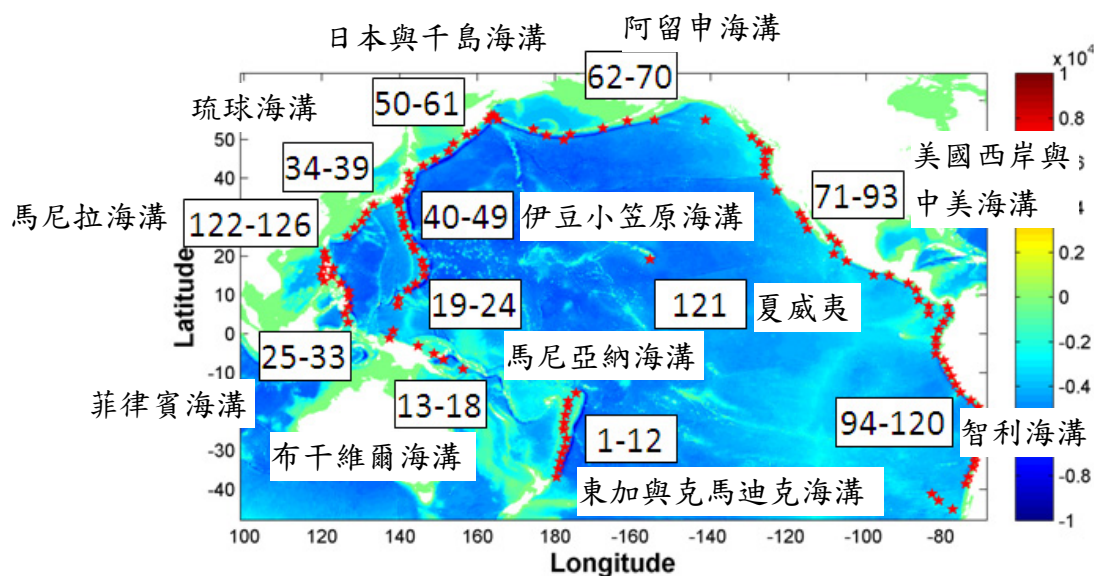


圖 4.5 研究區域與點位劃分

本研究依主要海溝分為數個大區域總共 126 個區域點位，由美國地質調查所(U.S. Geological Survey,USGS)NEIC 資料庫，取得歷史地震資料，並依區域範圍與歷史年份等條件挑選地震資料(例如 E120-123 ,N12-22 ,1976 ~ 2011)。美國地質調查所 USGS 監測全球地震活動並發布地震消息，對於規模大於 3.5 的地震幾乎都已經使用地震矩規模來描述地震大小。因此在本研究主要以地震矩規模為挑選條件，若有其他地震規模則由先前章節介紹地震規模轉換經驗公式適當換算地震矩規模，以此條件取得記錄較完整之歷史地震資料(地震矩規模(M_w)記錄、震源深度記錄、震央位置記錄等)。慮較大規模海嘯在臺灣週遭斷層可能會出現不合理狀況，因此在規模 8.5 以上地震參數有重新考慮為 115 個區域點位，主要是在琉球海溝、菲律賓海溝與馬尼拉海溝考慮已知斷層狀況重新選取區預計算，以至於在規模 8.5、9 時點位較少，相關參數設定可參考附錄 4、5。



NEIC: Earthquake Search Results

U. S. G E O L O G I C A L S U R V E Y
E A R T H Q U A K E D A T A B A S E

FILE CREATED: Mon Sep 5 01:33:27 2011
Geographic Grid Search Earthquakes= 19437
Latitude: 36.000N - 22.000N
Longitude: 141.000E - 120.000E
Catalog Used: PDE
Data Selection: Historical & Preliminary Data

CAT	YEAR	MO	DA	ORIG TIME	LAT	LONG	DEP	MAGNITUDE	IEM	DISVNWG	DIST
									NFO		km
									TF		
PDE	1973	01	05	053105.80	33.47	140.87	56	4.5 mbGS	...		
PDE	1973	01	05	114837.50	33.16	140.91	33	3.9 mbGS	...		
PDE	1973	01	06	102116.30	33.49	140.85	33	4.2 mbGS	...		
PDE	1973	01	06	112154.70	33.27	140.93	46	4.5 mbGS	...		
PDE	1973	01	06	145552.80	33.15	140.71	61	4.7 mbGS	...		
PDE	1973	01	10	075113.60	33.62	140.51	103	4.1 mbGS	...		
PDE	1973	01	12	074443.90	33.11	140.98	20	3.9 mbGS	...		
PDE	1973	01	15	090258.30	27.08	140.10	477	6.0 UKBRK	1F.		
PDE	1973	01	15	091410.70	27.09	140.03	478	5.1 mbGS	...		

圖 4.6 USGS-NEIC 地震資料庫

4.2.2 地震發生次數期望值

一般區域震源可用指數規模分佈模式來表示，而此模式中之地震規模與再現頻率關係式 (Gutenberg and Richter, 1944)，稱為 G-R 關係式，其形式為：

$$\log(N) = a - bM \quad \text{..... (4.3)}$$

G-R 關係式中，b 值是地震危害分析中一個極為重要的參數，其表

示地震在某一地震規模內的大地震與小地震間的比例關係。 b 值隨著研究區域內的地質分佈、構造、地溫與應力…等條件的不同而有所變化。此一回歸分析法，即是在一區域內對於地震規模 $\geq M_b$ (設定之地震下限) 而言的，式中 M 代表地震矩規模，並依小而大之順序排列，式中之 N 表示規模大於或是等於 M 之次數，在本研究中地震矩規模 M 的區間為 4.25、4.75、5.25、5.75、6.25、6.75、7.25、7.75、8.25、8.75、9.25 取各區間內累計數即為 N ，而 a 、 b 則為線性迴歸係數。以日本東側東經 133 到 139，北緯 34 到 36 為例，圖 4.7 藍點為各地震矩累計次數，35 年為過去地震次數記錄的時間長度，將此回歸線上各點除以統計年時間長度 35 乘上評估年時間長度 50、100 再轉換回 G-R 關係式，則可得到圖 4.7 上未來 50 年及未來 100 年的回歸係數與回歸線，紅點線(50 年)及綠點線(100 年)，此回歸線為評估未來 50 年及未來 100 年，可能發生之累計次數，進而可得到各地震矩規模區間的可能發生次數，將此發生次數乘上此區域發生海源且震源深度小於 30 公里之條件機率 P_{ocsh}^i 則可得到此區域各地震矩規模區間發生引發海嘯的地震在未來 50 年及 100 年的可能發生次數。

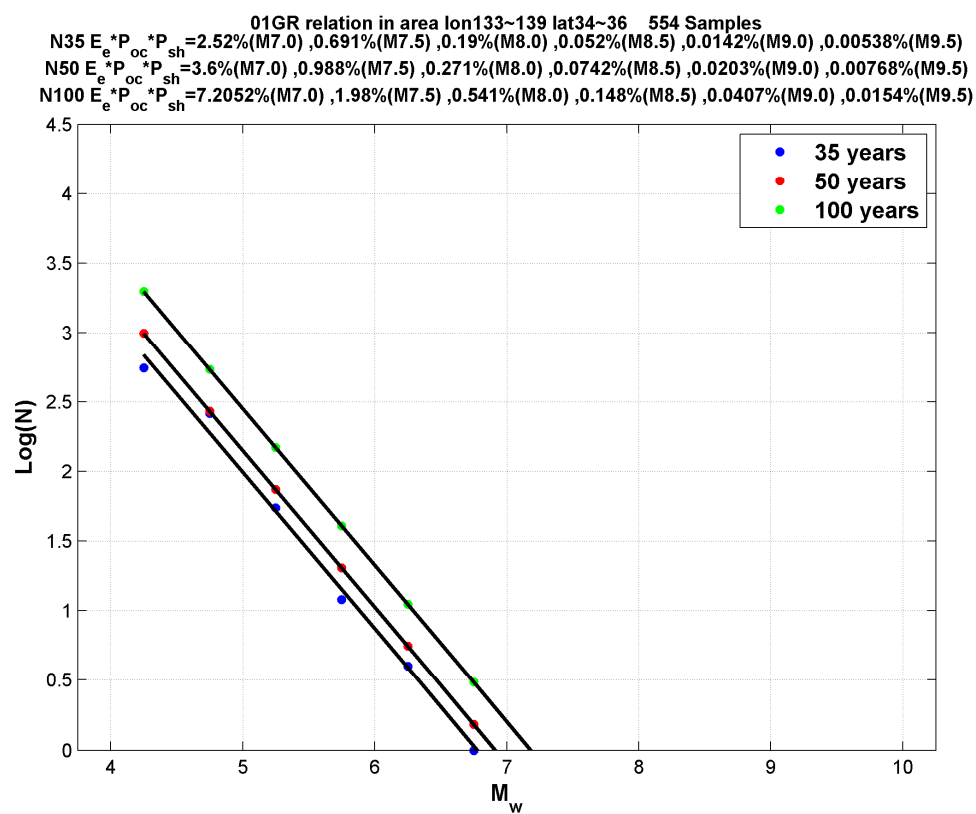


圖 4.7 日本東側東經 133 到 139，北緯 34 到 36，G-R 關係式

表 4-2 圖上藍點及其回歸線

規模	4.25~ 4.75	4.75~ 5.25	5.25~ 5.75	5.75~ 6.25	6.25~ 6.75	6.75~ 7.25	7.25~ 7.75	7.75~ 8.25	8.25~ 8.75	8.75~ 9.25
35 年 累計 次數	554	261	55	12	4	1	0	0	0	0
取 log	2.743 5	2.416 6	1.740 3	1.079 1	0.602 0	0				

表 4-3 取各線上地震規模區間累計值

規模	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	989.2 919	271.1 991	74.34 49	20.38 04	5.586 8	1.531 4	0.419 6	0.114 9	0.031 3	0.008 4
100 年	1978. 5834	542.3 979	148.6 895	40.76 03	11.17 32	3.062 3	0.838 8	0.229 3	0.062 2	0.016 4

表 4-4 相減為各地震規模區間未來預估年可能發生之次數值

規模	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	718.1 157	196.8 563	53.96 40	14.79 30	4.055 2	1.111 6	0.304 7	0.083 5	0.022 8	0.006 2
100 年	1436. 2852	393.7 175	107.9 266	29.58 50	8.109 9	2.223 1	0.609 4	0.167 0	0.045 7	0.012 5

4.2.3 海嘯發生次數期望值

在討論地震引發海嘯時，一般會引發海嘯的地震震源通常發生在較淺層的海底斷層；G-R 關係式求得地震發生次數期望值，再給與海嘯發生條件。在本研究中定義震央位置屬於海源且震源深度小於 30 公里為海嘯發生條件，此定義方法求得海嘯地震次數期望值。圖 4.8 為

挑選海源且震源深度小於 30 公里地震資料，海源地震的定義為震央位置記錄在非陸地，圖中藍色方框點位置。接著在海源地震中挑選震源深度小於 30 公里條件下地震，圖中紅色圈圈點位置。海源且震源深度小於 30 公里地震數目除上統計總數，即可得海源且震源深度小於 30 公里比值。

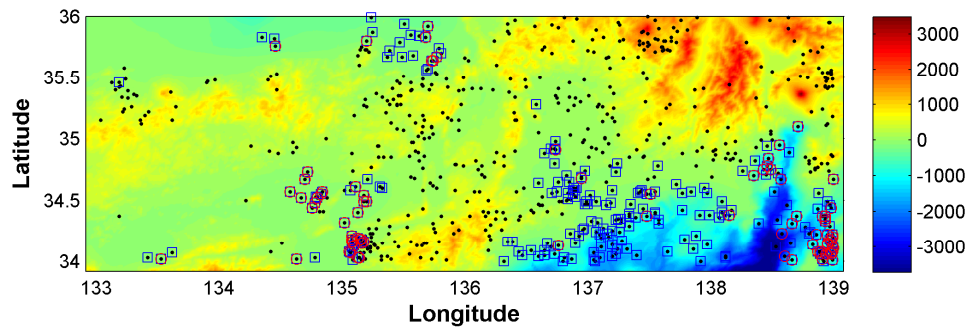


圖 4.8 挑選海源且震源深度小於 30 公里地震資料

此區域地震資料總數為 702 筆，海源且震源深度在 30km 以內數為 83 筆，因此比值為 $83/702=0.1182$ 。與各地震規模區間發生次數期望值相乘，為海嘯地震發生次數期望值，下表 4.5。全區域 126 點位附錄 1。

表 4-5 海嘯地震發生次數期望值

規模	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	0.131434	0.03603	0.009876	0.002707	0.000742	0.000203
100 年	0.262846	0.072052	0.019751	0.005414	0.001484	0.000406

由以上方法計算所有區域，126 個點位 5 個地震矩規模計算所得 50 年與 100 年海嘯地震發生次數期望值，附錄 2、3。

4.3 波高計算

計算完各區域海嘯地震發生數期望值，針對各區域計算發生不同震度地震引發海嘯對台灣東南部海岸各鄉鎮所造成的水位變化。本研究使用二維海嘯模式 COMCOT，使用斷層參數以彈性半空間錯移模型理論計算初始水位，再以線性淺水方程式計算波在大洋傳遞的情形；但一般計算方式所耗時間因震央距離、網格解析度以及電腦硬體需求等因素需耗費相當多的時間(1 小時到 72 小時不等)，因此本研究應用格林函數的可逆性值(loomis)，建立波在大洋傳遞的格林函數數值資料庫，並利用與初始水位簡單的加總，即可快速計算台灣東南各鄉鎮資料庫點位受不同地震所產生之初始水位影響的水位時序變化。

4.3.1 初始水位計算

海嘯模式通常利用淺水方程式或是布斯尼斯克方程式結合海底斷層模式進行海嘯模擬。由於大多數的海嘯成因起源於海底地震，所以大部分之海嘯數值模式(例如前述之 COMCOT)之海嘯初始水位藉由 Mansinha and Smylie(1971)的彈性半空間錯移模型(elastic half-space dislocation model)海底斷層模式來驅動，主要是計算走向滑距及傾向滑距在垂直地表方向的分量，即垂直位移的總量。此一模型即是假設起始海水面的變動是利用海床位移量的計算來產生水位，假設海水為不

可壓縮；當海床產生錯動，則垂直方向上的海水面也會產生瞬間的變動，亦即地震與海水面變動的發生視為同一時間。海床位移量是由走向滑距(strike-slip displacement)及傾向滑距(dip-slip displacement)所構成。

本研究所使用的斷層模式主要是計算走向滑距及傾向滑距在垂直地表方向的分量，即垂直位移的總量。彈性錯移理論(elastic dislocation theory)，即斷層在 j 方向的錯動造成均質均向的彈性半空間所產生 i 方向的位移場 Δu_i ，並對整個矩形斷層錯動範圍積分；其關係式為：

$$u_i = \int_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k dS \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

其中 v_k 為 Σ 向外的垂直向量、 λ 與 μ 為拉梅常數(Lamé constants)、 u_i^j 為受到破裂面 (ξ_1, ξ_2, ξ_3) 上 j 方向單位應力作用而在地表 (x_1, x_2, x_3) 於 i 方向上的位移。

假設一矩形斷層座標系統如圖 4.9 所示，其中 ξ 方向代表斷層傾角的正下方，而走向滑距(strike-slip displacement)和傾向滑距(dip-slip displacement)可分別用(4.5)與(4.6)式表示，其涵蓋範圍為 $-L \leq \xi_1 \leq L$ ，以 $d \leq \xi \leq D$ ：有

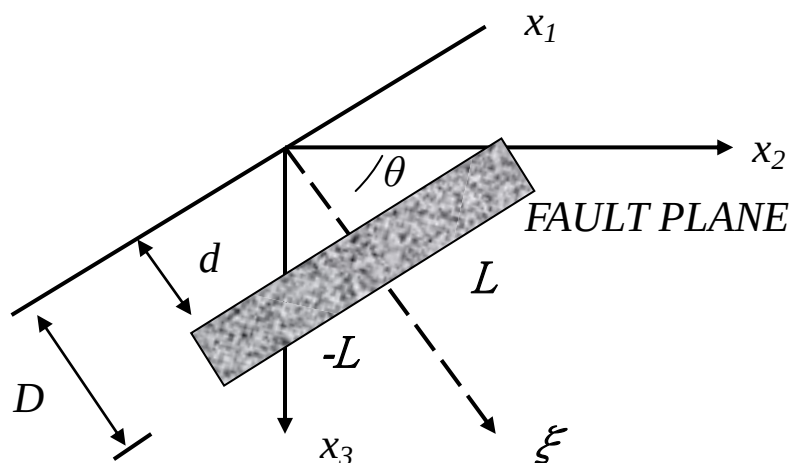


圖 4.9 斷層幾何形狀及座標系統

$$u_{is} = \mu U_1 \int_d^D \int_{-L}^L \left[\left(\frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_1} \right) \sin \theta + \left(\frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_3} + \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_1} \right) \cos \theta \right] d\xi_1 d\xi \quad (4.5)$$

$$u_{id} = \mu U \int_d^D \int_{-L}^L \left[2 \left(\sin \theta \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi} - \cos \theta \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi} \right) + \left(\frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_3} \right) \right] d\xi_1 d\xi \quad (4.6)$$

由於斷層面是位於地底下，為了計算地下錯動對地面上位移的關係，則須將斷層面作座標轉換，如下圖 4.10 所示，並有

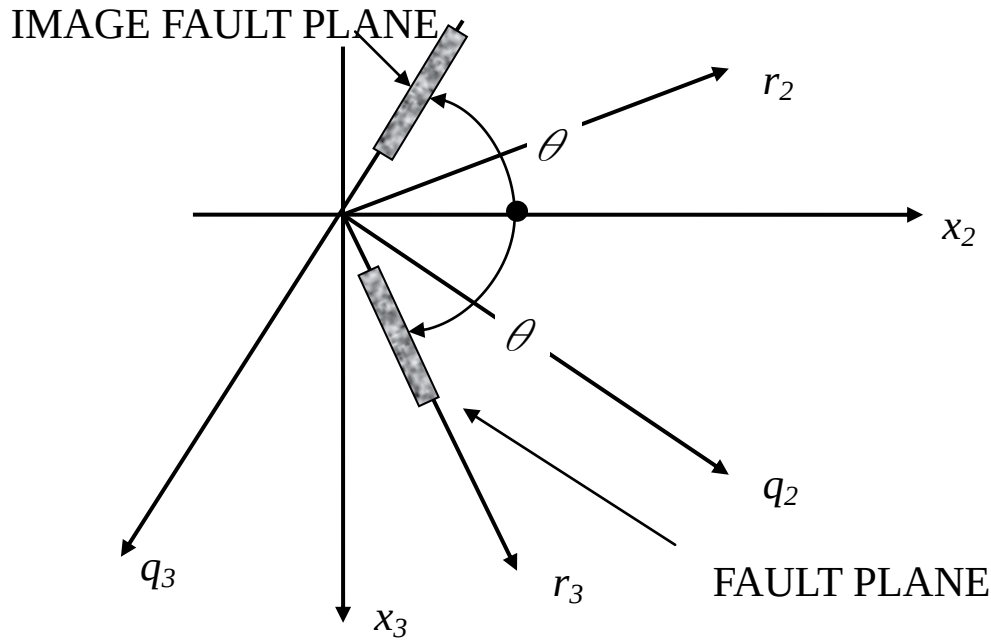


圖 4.10 斷層及映像斷層座標系統

$$S = [(x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2 + (x_3 - \xi_3^2)]^{1/2}$$

$$R = [(x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2 + (x_3 - \xi_3^2)]^{1/2}$$

$$r_2 = x_2 \sin \theta - x_3 \cos \theta, \quad r_3 = x_2 \cos \theta + x_3 \sin \theta$$

$$q_2 = x_2 \sin \theta + x_3 \cos \theta, \quad q_3 = -x_2 \cos \theta + x_3 \sin \theta \dots (4.7)$$

其中， R 和 S 分別代表斷層面上的震源點(ξ_1, ξ_2, ξ_3)至地表(x_1, x_2, x_3)的距離，以及對映像斷層面上的震源點(ξ_1, ξ_2, ξ_3)至地表(x_1, x_2, x_3)的距離。 r_2, r_3 及 q_2, q_3 分別代表斷層面及映像面的垂直及向下傾斜之座標，由此可將 R 和 S 以新座標表示為：

$$\begin{aligned} S &= [(x_1 - \xi_1)^2 + h^2]^{1/2} = [k^2 + (q_3 - \xi)^2]^{1/2} \\ R &= [(x_1 - \xi_1)^2 + r_2^2 + (r_3 - \xi)^2]^{1/2} \\ h &= [q_2^2 + (q_3 + \xi)^2]^{1/2} \\ k &= [(x_1 - \xi_1)^2 + q_2^2]^{1/2} \dots\dots\dots (4.8) \end{aligned}$$

其中， h 是 S 在 $x_1=0$ 平面即地表切平面上的投影，而 k 是在 $q_3=0$ 平面上的投影。最後經過座標轉換後，計算出斷層傾向滑距及走向滑距在地面上產生的垂直位移分量如下：

走向滑距(strike-slip displacement)在 x_3 方向之位移量為：

$$\begin{aligned} \frac{12\pi}{U_1} u_3 &= \cos\delta(a_1 + b_1 a_2 - b_2 a_4) + \frac{b_3}{R} + 2\sin\delta \frac{b_4}{S} - \frac{b_5}{\text{Rexp}(a_1)} + \\ &\frac{b_7 - b_8}{\text{Sexp}(a_2)} + \frac{b_{10} b_{11}}{S^3} - \frac{b_{12} b_{13}}{b_{14}} \\ &\dots\dots\dots (4.9) \end{aligned}$$

傾向滑距(dip-slip displacement)在 x_3 方向之位移量則為：

$$\begin{aligned} \frac{12\pi}{U} u_3 &= \sin\delta(x_2 - \xi_2) \left[\frac{2(x_3 - \xi_3)}{\text{Rexp}(a_3)} + \frac{4(x_3 - \xi_3)}{\text{Sexp}(a_6)} - 4\xi_3 x_3 (x_3 - \xi_3) \frac{S + \text{exp}(a_6)}{S^3 (\text{exp}(a_6))^2} \right] - \\ &3\sin\delta \left[2\tan^{-1} \left[\frac{(x_4 - \xi_4)(x_2 - \xi_2)}{(h + x_3 + \xi_3)(S + h)} \right] - \tan^{-1} \left[\frac{(x_4 - \xi_4)(r_3 - \xi)}{r_2 R} \right] \right] - \\ &6\sin\delta \tan^{-1} \left[\frac{(x_4 - \xi_4)(q_3 + \xi)}{q_2 S} \right] + \cos\delta \left[a_5 - a_6 - \frac{2(x_3 - \xi_3)^2}{\text{Rexp}(a_3)} \right] - 4\cos\delta \left[\frac{x_3^2 + x_3 \xi_3 + \xi_3^2}{\text{Sexp}(a_6)} + \right. \\ &\left. \xi_3 x_3 (x_3 + \xi_3) \frac{S + \text{exp}(a_6)}{S^3 (\text{exp}(a_6))^2} \right] + 3x_3 \sin 2\delta \left[\frac{2(q_3 + \xi)}{\text{Sexp}(a_6)} + \frac{(x_4 - \xi_4)}{\text{Sexp}(a_2)} + \frac{q_2 \cos 2\delta}{\text{Sexp}(a_6)} \right] \\ &\dots\dots\dots (4.10) \end{aligned}$$

4.3.2 格林函數應用

一般海嘯模式只需得知或猜測一個地震震源或是海嘯傳遞路徑，就可以模擬該點震源(S)對全計算區域各點(r_i)之可能之水位分佈；其影響即稱為格林函數(Green's Function, GF)，如圖 4.11。

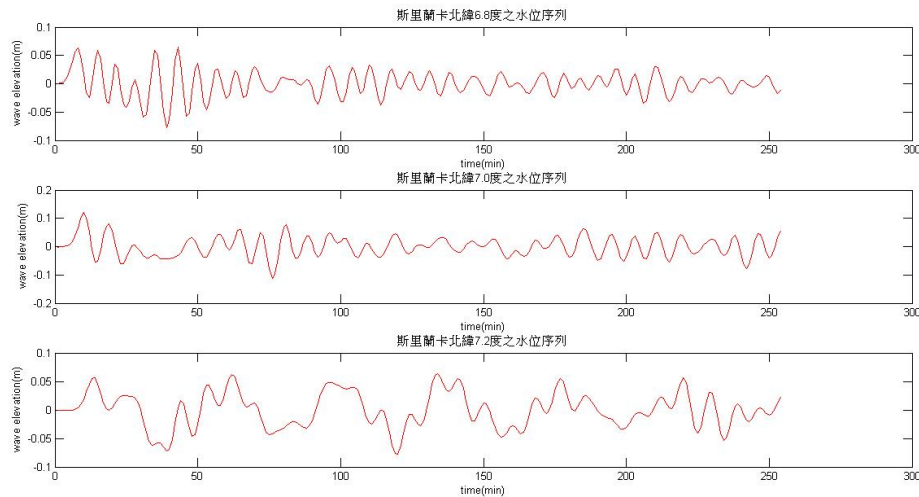


圖 4.11 傳統海嘯模式所計算出之水位時序列資料即為格林函數

傳統海嘯模式之最大缺點，在於必須知道海嘯之震央，藉以模擬海嘯之傳播路徑及受災範圍，依照目前地震測報之研究顯示，雖然有些方式可以成功預測震央之可能位址，但也僅止於少數中之特例，並不能應用在目前實務上；另一方面，利用已知水位反推初始水位之方式目前仍在持續研究中；總而言之，依照傳統模式運算進行實務海嘯預報作業在效率上顯有不及。對於防災需求而言，人口密集區域才是預報作業之重點所在，故其他區域之計算便顯得可以忽略，以減少計算時間以及電腦儲存容量。

有鑑於此，本研究利用線性格林函數之可逆性(稱為互逆格林函數)為主要理論基礎，發展一簡單之海嘯計算模組，並以視窗化介面呈現。由於格林函數在線性系統裡具有可逆性，且海嘯波在水深 50 公尺以上者可以利用線性淺水方程式描述(Shuto, 1991)，故互逆格林函數可以應

用在精進現有海嘯模式中。格林函數亦是線性淺水方程式之解，故此一解之物理結果也包含了海嘯波在深水區域之傳遞行為。互逆格林函數(Loomis, 1979)可以改進此一缺點並提高預報效率，利用線性互逆格林函數之特性可以降低對初始條件(即震央)之依賴性及提高計算效率，劉及陳(2008)即利用此一概念用來快速預估高雄港受海嘯侵襲時之最大高度。Chen et al.(2009)亦利用互逆格林函數來建議海嘯感測器於台灣北海岸之最佳佈放位址。

在互逆格林函數由於是在一個或數個接收點施加一單位振幅後計算其水位變化，並且 $GF_r^s = GF_s^r$ ，故表示互逆格林函數即可在未確定初始水位前針對重要點位先行計算後並以資料庫方式儲存之；當地震發生時，僅需透過資料分享方式獲得地震參數後，利用斷層模式計算可能之初始水位後，兩者相乘之後即可得到與海嘯模式一致之結果。故互逆格林函數可以減少對初始水位之依賴性以及提高測報之效率，並且可以用以建立單位振幅下之海嘯波高資料庫。

簡易之互逆格林函數可寫為

$$H_r(t) = \sum_{r=1}^N GF_r^s(t) \times H_s \dots\dots\dots(4.11)$$

其中(4.11)式的 $H_r(t)$ 為各接收點(或是預報點位) r 在時間 t 的水位高度， GF_r^s 為各 r 點在時間 t 的 GF ， H_s 各波源點的初始水位高度， N 為所有 r 點的總數。 GF_r^s 實務上由於傳遞時間及計算點位均為已知，故可以先行計算以資料庫方式儲存；(4.11)式唯一的未知是初始水位 H_r ，該值只要在地震發生初期擷取地震參數後即可馬上得知，故互逆格林函數可以在海嘯發生初期時即可獲得該點之時序列資料，可以得知最大波及到達時間；同時(4.11)式經與海嘯模式相互驗證下，可發現兩者甚為符合，如圖 4.12 所示。

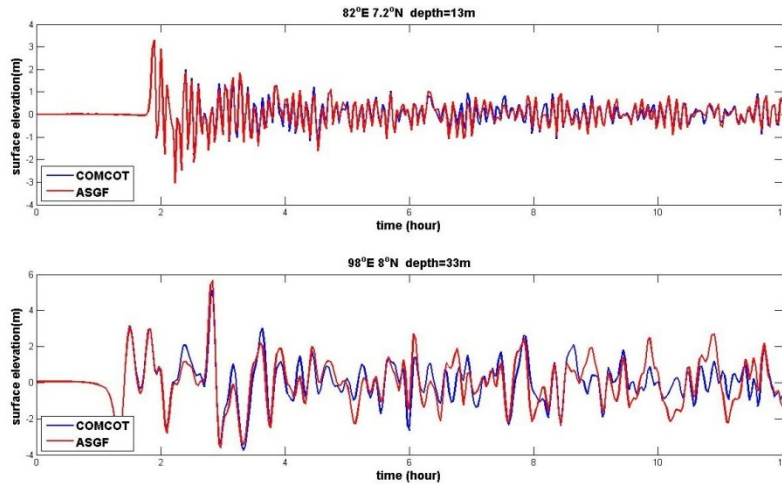


圖 4.12 互逆格林函數與傳統海嘯模式之水位變化驗證

4.3.3 點位設定

格林函數數值資料庫的建置，由上節所述位置需滿足水深大於 50 公尺，因此本研究在台北港以及基隆港外海水深大於 50 公尺一點位設置建立格林函數水位變化資料庫，如下圖 4.13、圖 4.14：

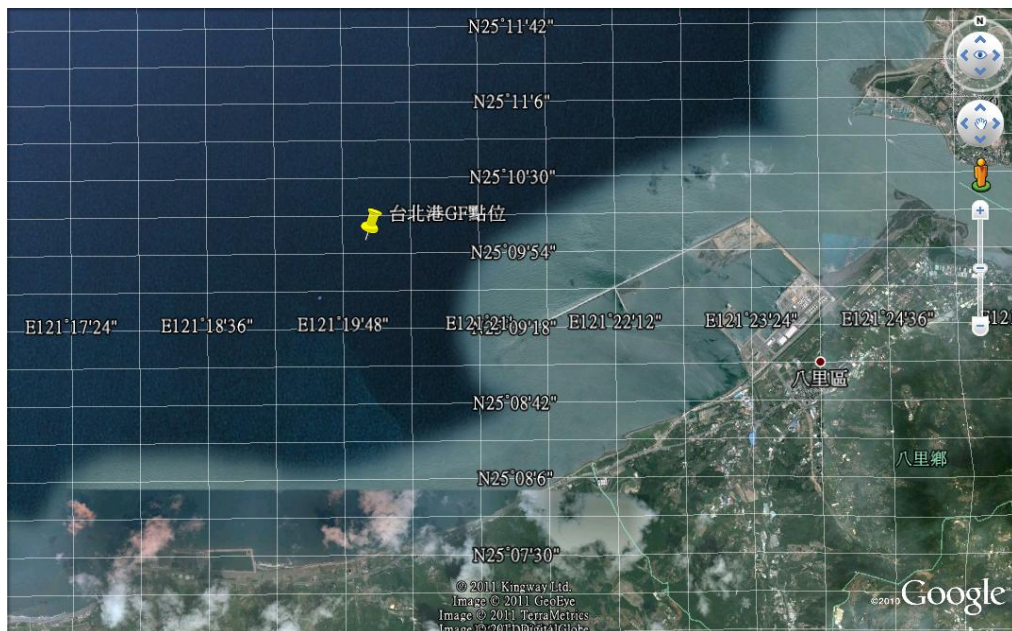


圖 4.13 台北港格林函數點位位置



圖 4.14 基隆港格林函數點位位置

來自太平洋東岸之海嘯波傳遞至台灣沿海約需 28 小時，也因此要計算太平洋區域對台北港之格林函數資料庫，其儲存量相當龐大，故以下選擇台北港之案例作為介紹。圖 4.15 為太平洋區對台北港地區之格林函數圖，時間長度為 28 小時；其模擬點位如圖 4.16 所示；其格林函數在第 24 小時之空間分佈則如圖 4.17 所示。

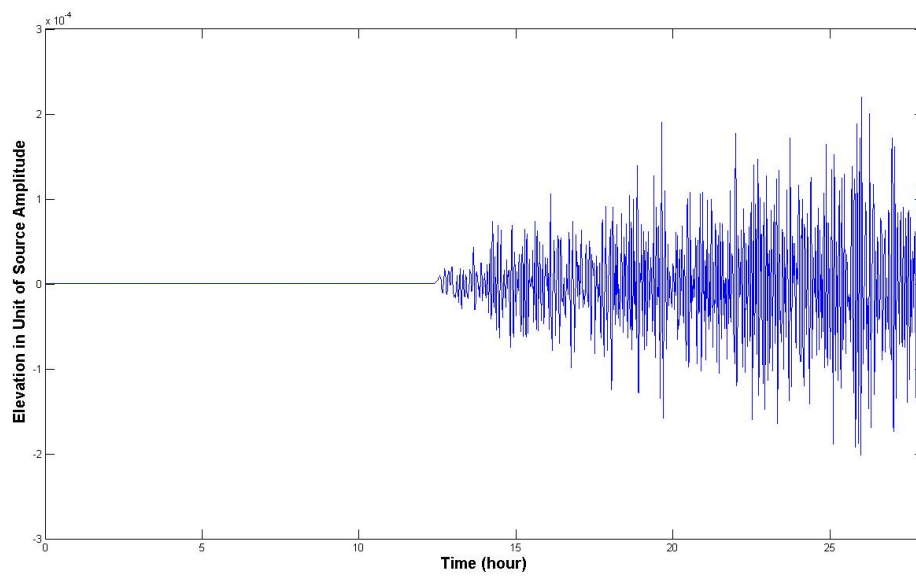


圖 4.15 太平洋區對台北港之格林函數

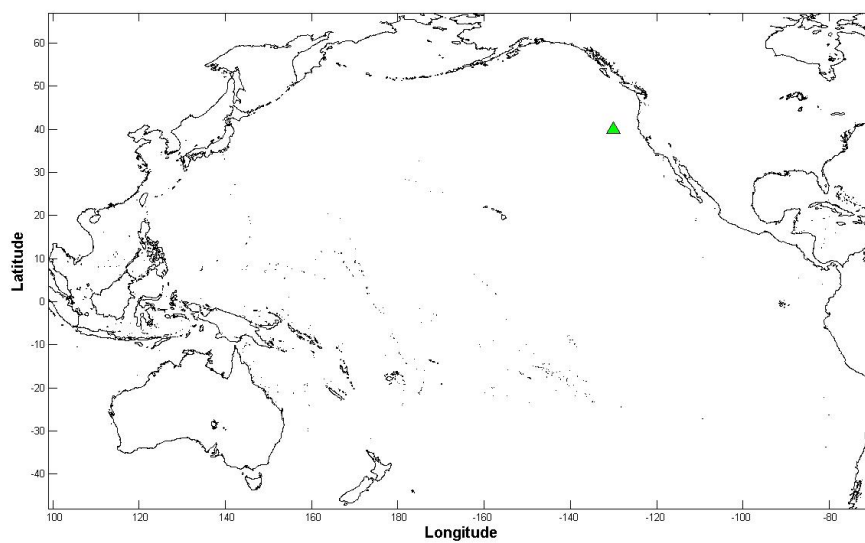


圖 4.16 上圖 4.15 所模擬之可能震源之點位

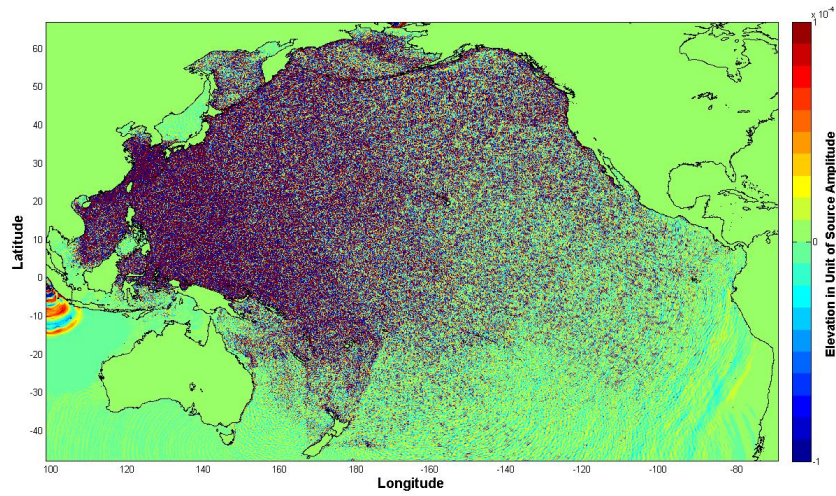


圖 4.17 可能震源對台北港在第 24 小時之水位值空間分佈

4.3.4 初始水位斷層參數設定

模式計算初始水未所需斷層參數，本研究使用全球 CMT(global CMT)地震解，如下圖 4.18。取得各區域在統計年內的地震參數資料，將震央位置剔除陸源部分後平均假設為可能發生地震位置，並將 strike 角度取平均並與海溝走向做比對，作為此區域走向角(strike)參數，傾角(dip)參數則對 dip 角度取平均，滑移角(slip)在本研究取 90 度。因此可得各點位參數如下表 4-6：

Global CMT Catalog

Search criteria:

```
Start date: 1976/1/1    End date: 2011/1/1
22 <=lat<= 36          120 <=lon<= 141
0 <=depth<= 1000       -9999 <=time shift<= 9999
0 <=mb<= 10            0<=Ms<= 10              0<=Mw<= 10
0 <=tension plunge<= 90      0 <=null plunge<= 90
```

Results

Output in [GMT](#) psvelomeca (old) format

Columns: lon lat str1 dip1 rake1 str2 dip2 rake2 sc iexp name

```
130.64 28.12 230 33 -114 78 61 -75 4.620 25 121476A
136.80 30.62 33 32 -163 289 81 -59 1.340 24 010177C
140.96 32.69 325 57 31 216 64 142 1.940 25 021877B
139.27 31.66 269 38 85 96 52 94 1.930 24 033077A
137.70 30.34 213 35 -117 65 59 -72 5.130 24 042077B
126.68 26.92 357 49 -57 133 51 -121 2.100 24 050977A
139.73 28.12 121 24 -129 342 72 -74 6.100 25 051377A
139.72 27.28 124 36 -132 352 64 -65 7.160 23 052177B
122.09 23.84 300 10 142 67 84 82 6.810 24 071577A
140.99 35.42 314 16 152 71 82 76 2.630 24 082177B
126.59 26.09 93 60 -167 357 79 -31 2.610 24 090277A
139.41 35.85 266 18 -158 155 83 -73 1.340 24 100477B
122.09 22.64 345 38 -119 200 57 -69 2.430 24 101977A
140.40 33.64 88 49 157 193 72 43 4.050 24 111777B
127.45 29.00 92 33 -55 233 64 -110 11.110 24 122277A
138.34 28.50 54 27 -136 283 72 -70 4.690 24 122977A
```

圖 4.18 Global CMT 地震資料庫

表 4-6 日本東側東經 133 到 139，北緯 34 到 36，地震參數

經度	緯度	strike	dip
139.07	34.62	-12	45.49444

在本研究中所有點位滑移角(slip)度皆取 90，震源深度皆取 15 公

里。因為求得相對較大之海嘯波高結果，故滑移角(slip)取 90 度，而討論地震震源深度為 30 公里，因此震源深度參數部分取 15 公里。圖 4.19 為各參數帶入彈性半空間錯移理論計算地震所造成之海嘯初始波高。

022090A NR S COAST HONSHU, JAPAN

```
Date: 1990/ 2/20   Centroid Time:  6:53:45.3 GMT  
Lat=  34.62  Lon= 139.05  
Depth= 32.2   Half duration= 5.6  
Centroid time minus hypocenter time:  5.7  
Moment Tensor: Expo=25   0.603 0.591 -1.194 -0.780 0.554 -4.104  
Mw = 6.4   mb = 6.1   Ms = 6.4   Scalar Moment = 4.33e+25  
Fault plane:  strike=355   dip=79   slip=10  
Fault plane:  strike=263   dip=80   slip=169
```

接近此地震參數值之地震記錄

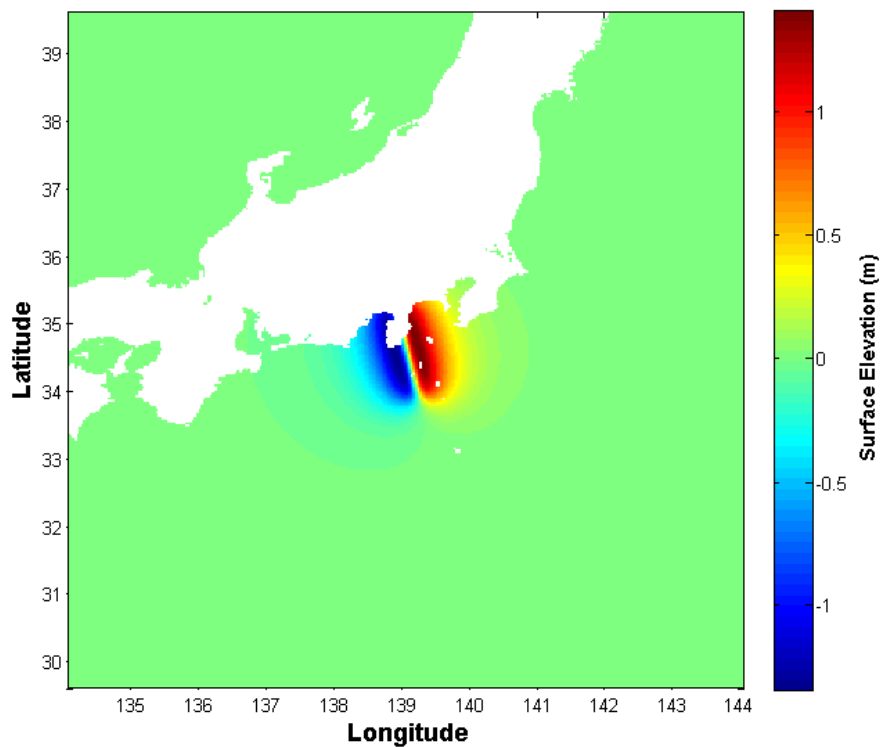
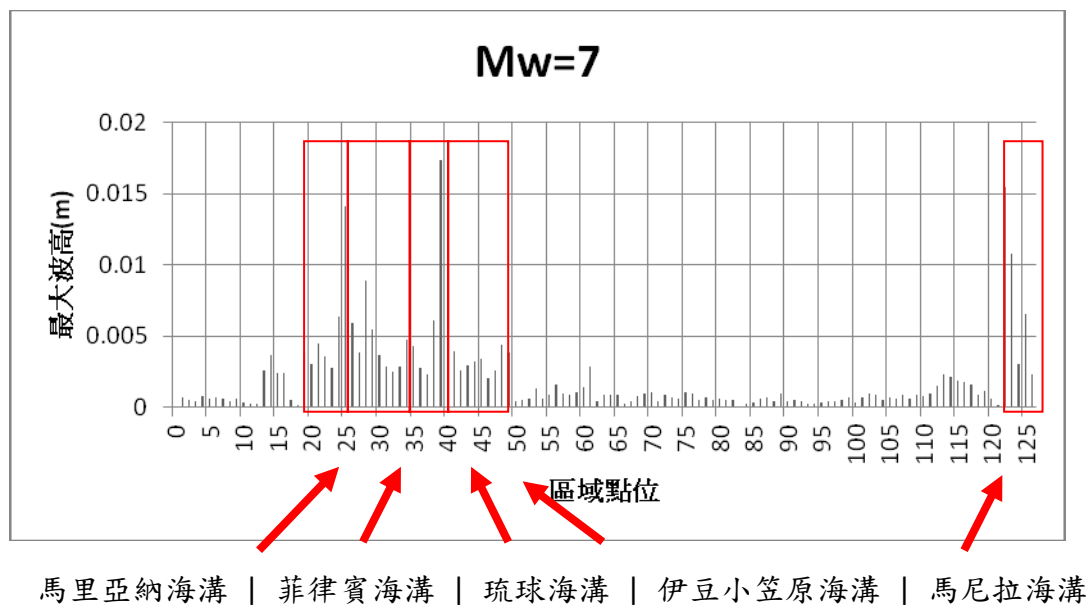
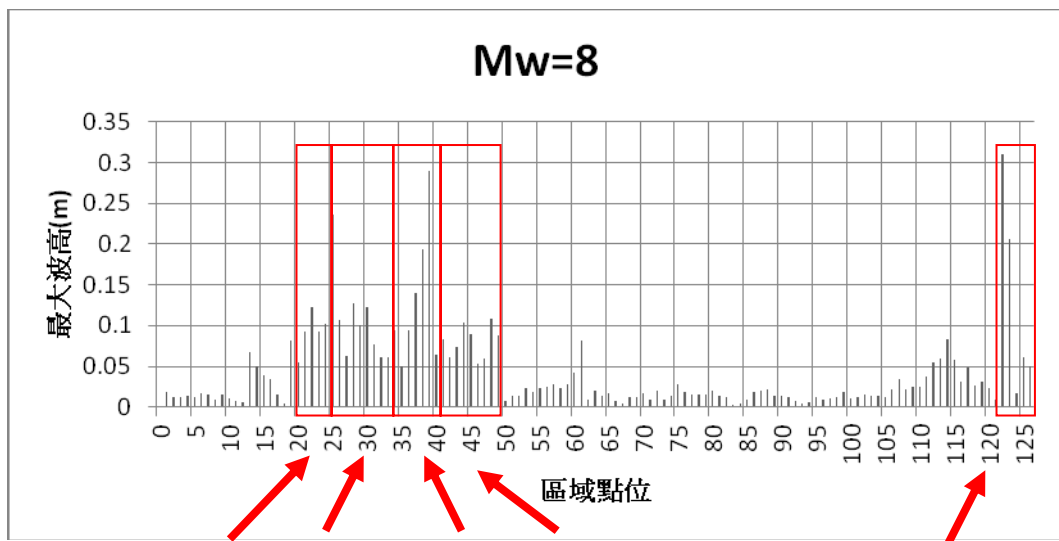


圖 4.19 日本東側東經 133 到 139，北緯 34 到 36，初始水位

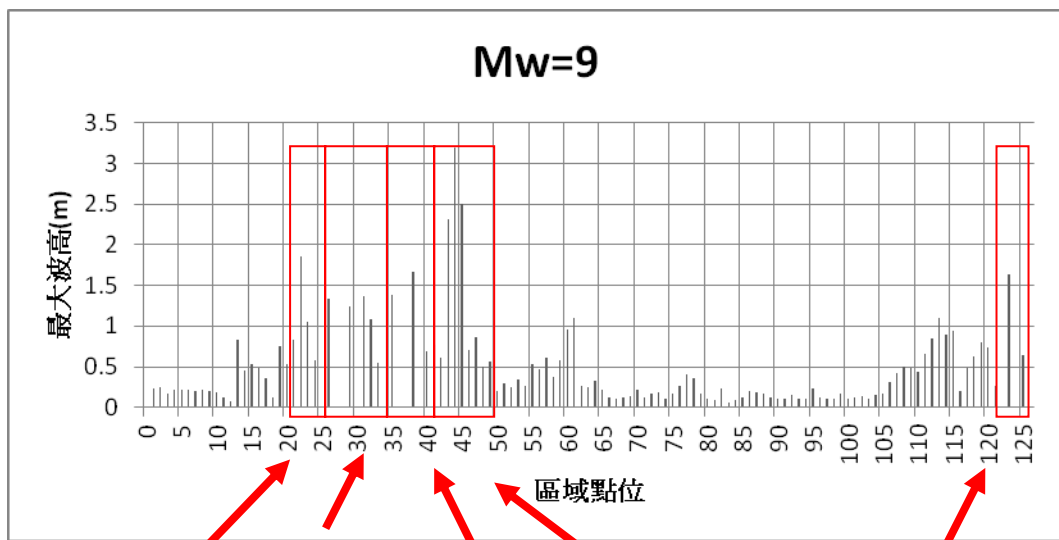
4.3.5 波高計算結果

將各區域斷層參數帶入，以彈性半空間錯移理論計算此地震造成之初始水位變化，並應用已建置完成之格林函數水位變化資料庫，快速計算各地震引發海嘯對台北港及基隆港外海所產生之水位時序變化，並計算所產生之最大波高變化，以此估算出 126 個子區間發生不同地震矩規模之海嘯時，海嘯波在台北港以及基隆港之最大波高及到達時間。以台北港為例，分別計算地震矩規模 7、8、9 之結果如圖 4.20 所示。根據初步計算結果顯示，馬里亞納海溝(19-24)、菲律賓海溝(25-33)、琉球海溝(35-39)、伊豆小笠原海溝(40-49)以及馬尼拉海溝(122-126)對台北港較具威脅性。





馬里亞納海溝 | 菲律賓海溝 | 琉球海溝 | 伊豆小笠原海溝 | 馬尼拉海溝



馬里亞納海溝 | 菲律賓海溝 | 琉球海溝 | 伊豆小笠原海溝 | 馬尼拉海溝

圖 5.49 126 個震源區發生地震矩規模 7、8、9 之海嘯時，台北港最大
波高

4.4 溢淹模擬

4.4.1 數值地形

本節說明本研究溢淹模擬部分，本研究為求模擬溢淹之精細度，數值地形檔水深採取台灣大學海洋資料庫網格解析度 500 公尺之數值地形檔(圖 4.21)，配合內政部網格解析度 5 公尺之陸地數值地形檔(圖 4.22)，內插製作網格解析度為 5 公尺之台北港、基隆港數值地形圖(圖 4.23)，選取接近/包含格林函數點位，且人口較密集區域圖 紅色框線處，製作網格解析度 5m 之數值地形檔，作為模式模擬之數值地形檔。

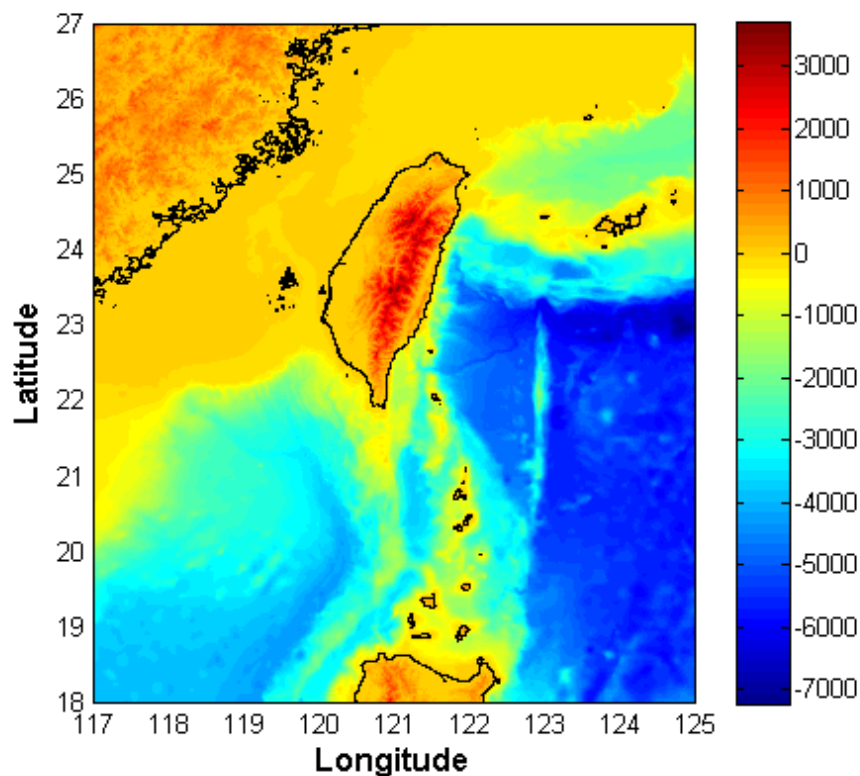


圖 4.21 台灣 500m 解析度水深地形資料

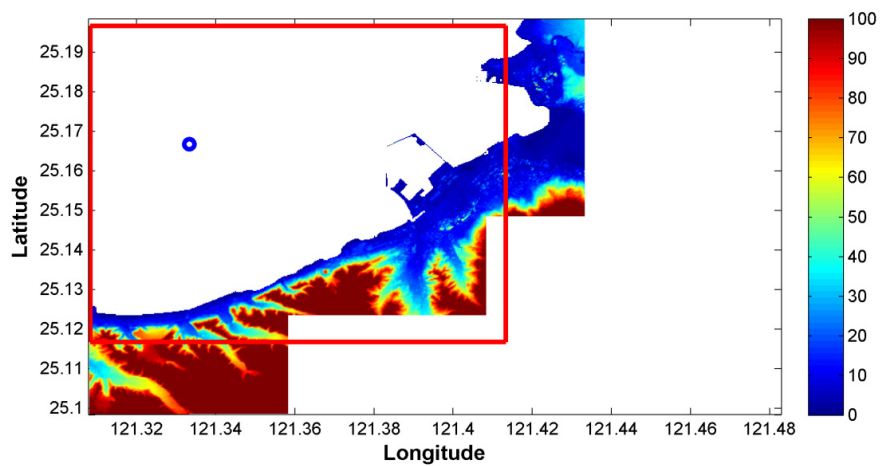


圖 4.22 台北港 5m 解析度數值地形檔

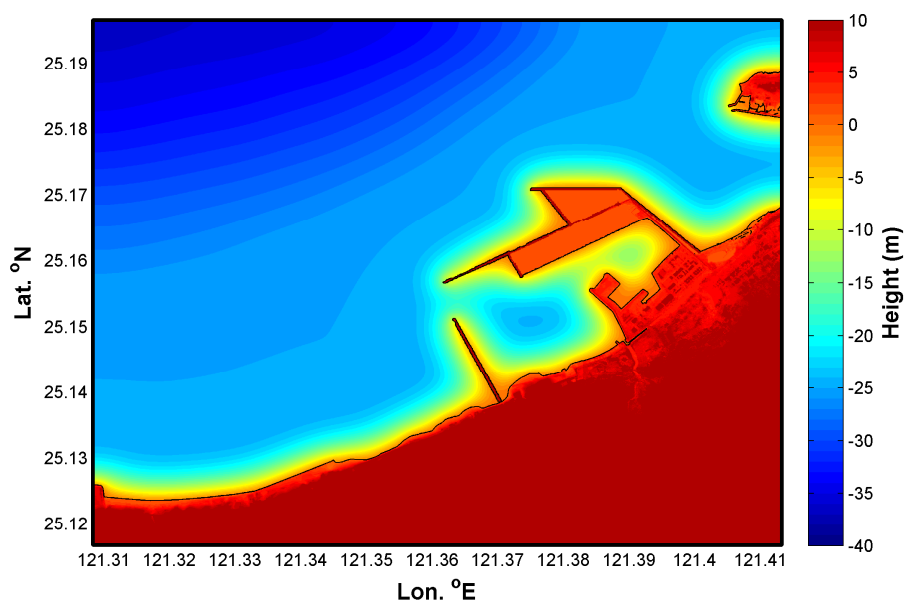


圖 4.23 內插修正溢淹模擬所需數值地形檔

4.4.2 溢淹模擬

本研究使用 COMCOT 溢淹模式，以不同波高之孤立波(邊界水深)模擬海嘯波垂直岸線入射(0.5m、1m、2m、3m、4m、6m、12m)，以台北港為例，模擬週期 20 分鐘海嘯波，圖 4.24 為波高 4m 週期 20 分鐘孤立波波形，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。圖 4.25 為 4m 海嘯波溢淹台北港狀況。

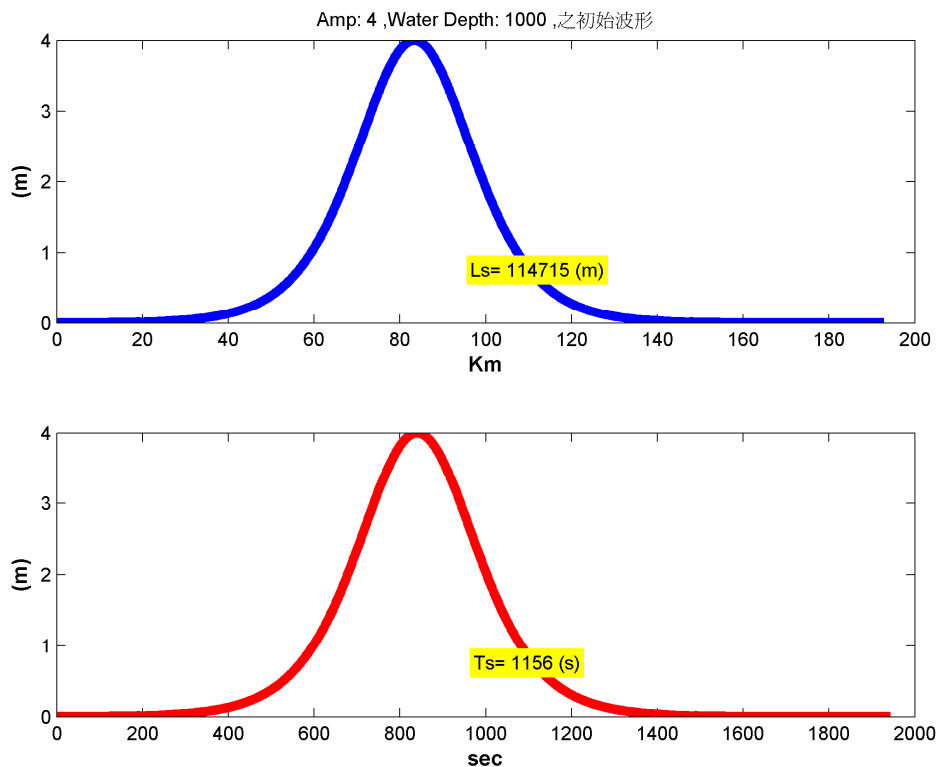


圖 4.24 週期 20 分鐘波高 4m 孤立波

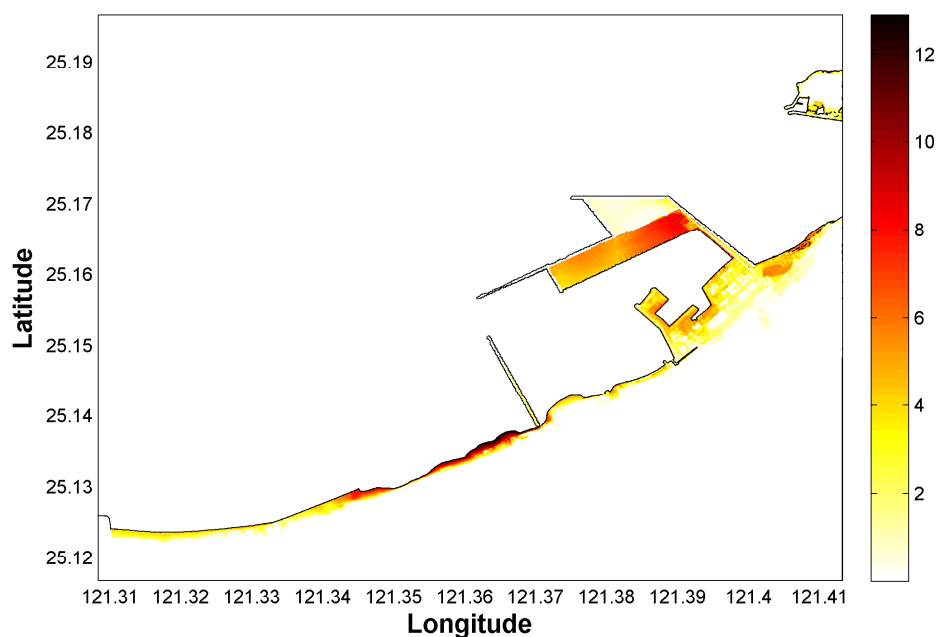


圖 4.25 台北港受 4m 海嘯波溢淹結果

4.4.3 溢淹機率

本研究之海嘯溢淹機率(IP)定義為當海嘯溢淹超過離岸 50 公尺，溢淹高度超過 50 公分時，即表示該處為發生溢淹。圖 4.26 為台北港離岸 50 公尺線，取 50 公尺是因為台北港沿海地區有較緩坡度之沿海沙灘或是礫灘地形，而在海堤地區若造成海水高過防波堤而溢淹，往往都會溢淹超過 50 公尺，因此本研究定義以 50 公尺為溢淹災害發生應當合適。本研究定義溢淹條件為溢淹高度超過 50 公分，主要考量到海水溢淹陸地後要產生危害需要一定的溢淹高度與強度，因此在定義選取溢淹的條件下，以溢淹入陸地 50 公尺且溢淹高度超過 50 公分為溢淹條件。此兩條件與模式模擬地形的離岸 50 公尺岸線網格數長度比值，定義為溢淹機率，圖 4.27 為溢淹機率定義之簡示圖：黑點為岸線，紅點為離岸 50 公尺線，藍點為水溢淹的點位，黃線為溢淹範圍線，此

例紅點與藍點相疊的點位總計有 3 點，紅點總數為 8 點，因此溢淹機率為 $3/8=0.375$ 。

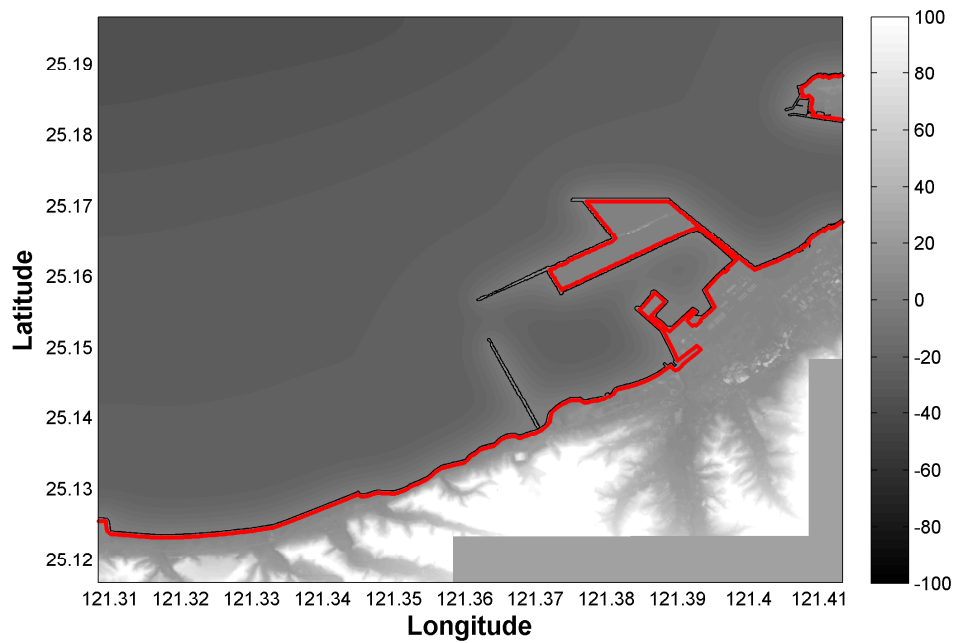


圖 4.26 台北港離岸 50m 岸線

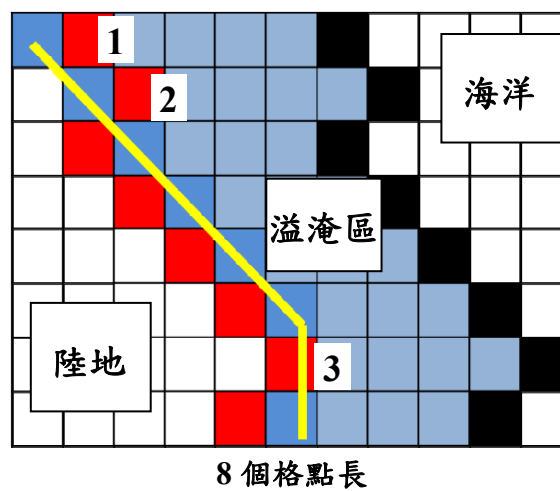


圖 4.27 溢淹機率簡示圖

計算不同波高(0.5m、1m、2m、3m、4m、6m、12m)對於區域內的溢淹機率結果，並對各波高之溢淹機率作內差可得 0 公尺到 12 公尺波高對應之溢淹機率，圖 4.28。前一節由各地震參數應用互逆格林函數快速計算完之各鄉鎮外海波高，在與模式邊界水深修正過後之最大波高結果，與此節計算完成之各波高對應之溢淹機率互相對應，即可得到各區域產生不同規模地震海嘯，對台北港產生之溢淹機率。

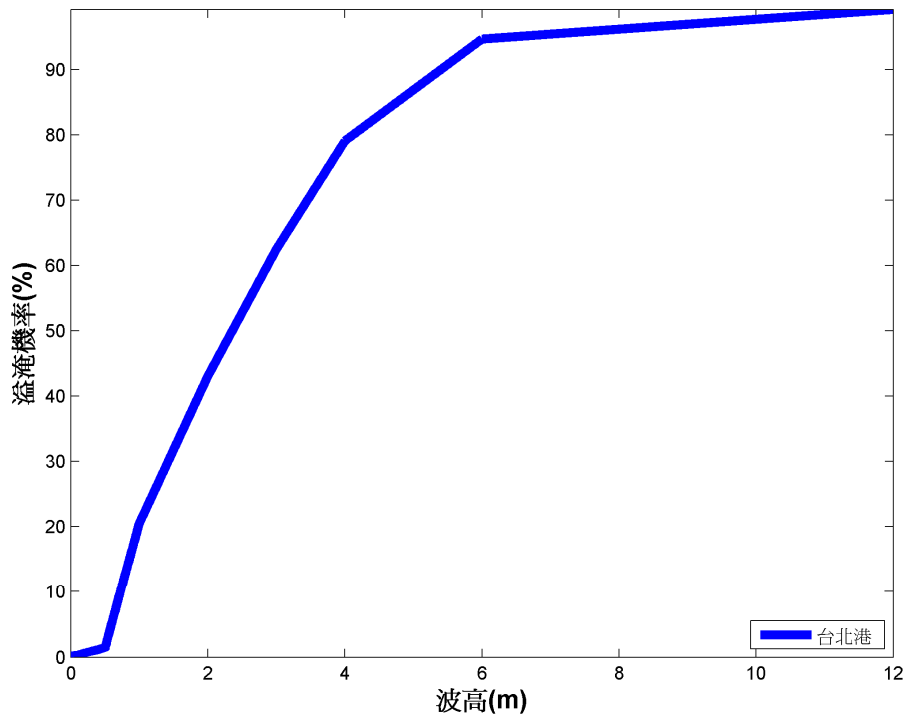


圖 4.28 台北港不同波高溢淹機率

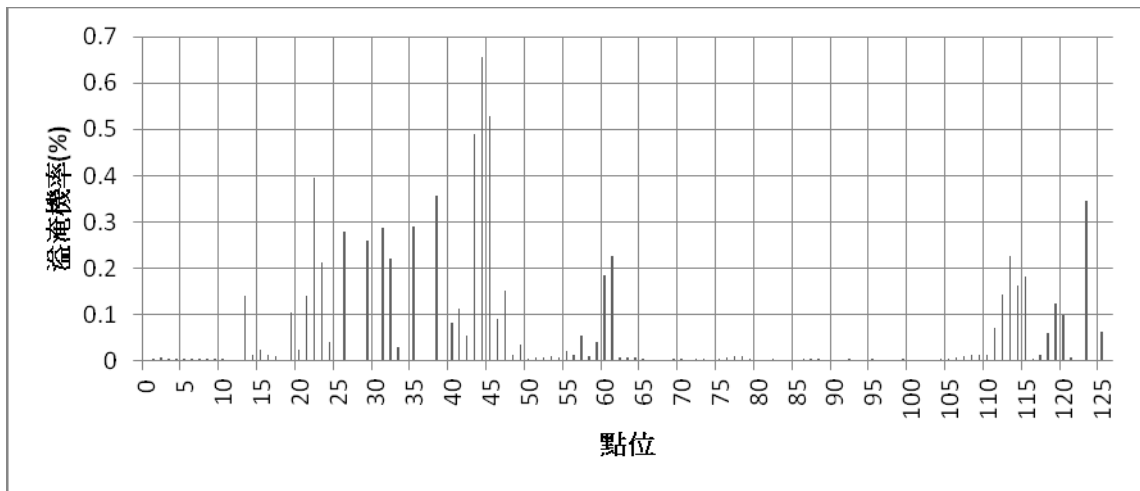


圖 4.29 台北港規模 9 地震海嘯產生最大波高對應溢淹機率

4.5 海嘯地震且溢淹機率

第二節計算完各區域海嘯地震發生次數期望值，第三節快速的計算各區域若發生海嘯對台灣東南部產生之水位變化，第四節使用模式模擬不同程度波高溢淹各鄉鎮之狀況並定義溢淹機率。最後本節將所有點位，五個規模(7、7.5、8、8.5、9)海嘯地震次數期望值，乘上五個規模發生海嘯產生之溢淹機率，加總點位與規模得此區發生海嘯且溢淹之機率。以下以台北港為例，圖 4.30 為台北港各點位發生規模 9 海嘯地震次數期望值，圖 4.31 為規模 9 海嘯地震次數期望值與規模 9 海嘯的溢淹機率相乘結果。

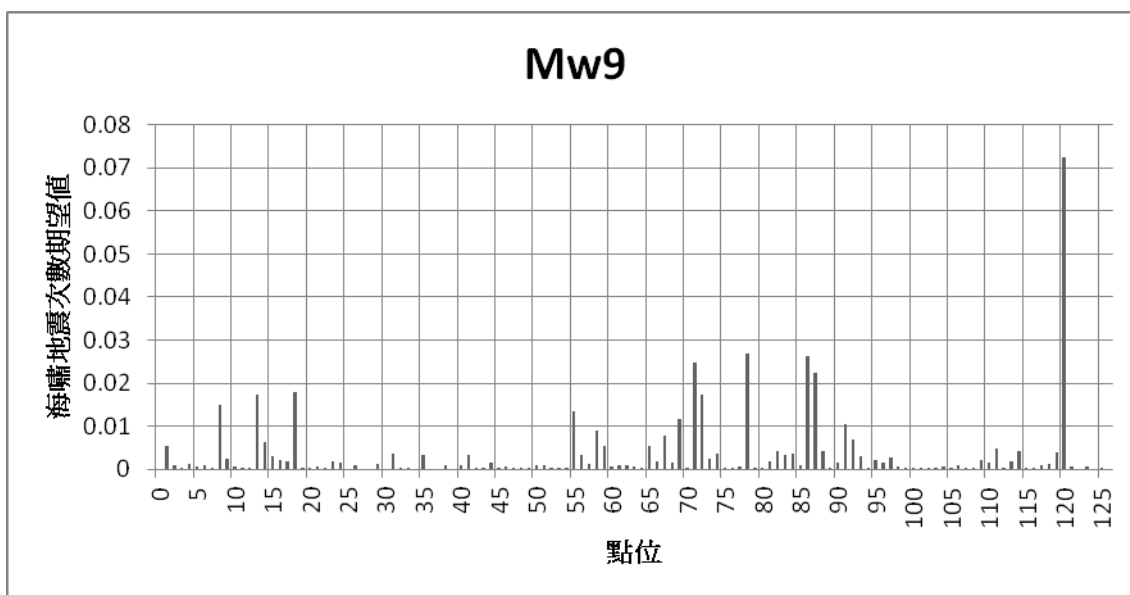


圖 4.30 台北港各點位未來 50 年發生規模 9 海嘯地震次數期望值

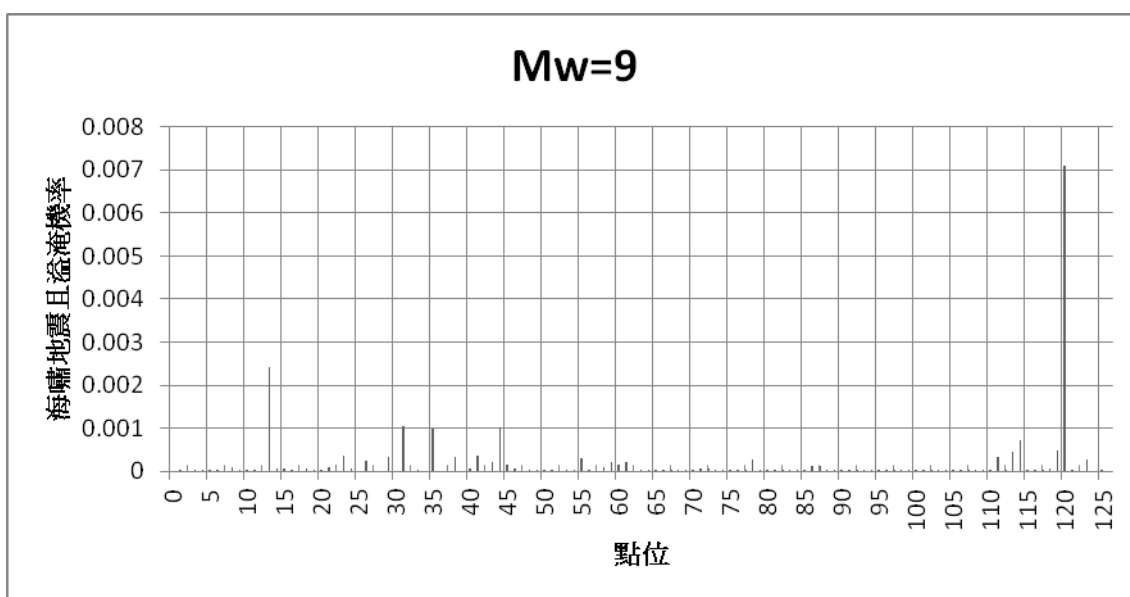


圖 4.31 台北港各點位未來 50 年發生規模 9 海嘯地震且溢淹機率

最後總機率部分，將 5 個規模、126 個點位各別發生海嘯且溢淹機率相加為此區發生海嘯且溢淹機率。以台北港為例，未來 50 年發生海嘯且溢淹機率為 2.79%，未來 100 年發生海嘯且溢淹機率為 5.59%

第五章 基隆港域及台北港域海嘯災害風險評估

5.1 前言

第四章中說明機率式海嘯風險評估中可能引發海嘯的地震評估方法，大多數海嘯發生源在板塊潛沒帶上，如圖 5.1；圖 5.2 為本計畫討論之環太平洋地震帶依海溝分佈，並包含台灣西南鄰近活躍的馬尼拉海溝共 126 個點位。本計畫使用 United States Geological Survey(USGS) — National Earthquake Information Center (NEIC) 歷史地震資料庫，由第四章所說明之機率式海嘯風險評估方法，分別對各點區域求得發生震源深度小於 30 公里海底地震的機率(Pocsh)附錄 1，以及地震發生期望數(EN)，進而評估環太平洋地震帶未來 50 年及未來 100 年發海嘯地震次數期望值(TEN)，附錄 2、附錄 3。並就機率式海嘯風險評估「海嘯溢淹機率 Tsunami Inundation Probability (TIP)」的計算方式討論其台北港與基隆港溢淹機率計算結果。最後將各區域各震度引發海嘯之地震期望數與海嘯溢淹機率作加總則可得到各評估位置未來可能遭受海嘯災害風險的機率值，流程圖如圖 5.3。

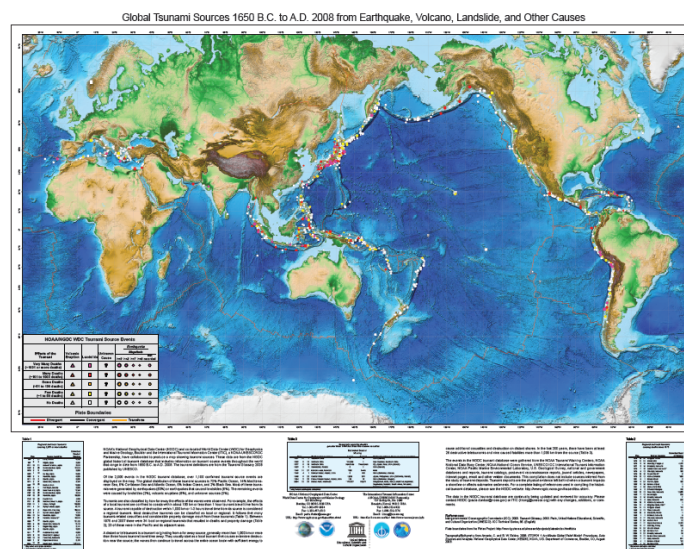


圖 5.1 NOAA-海嘯災害分佈圖

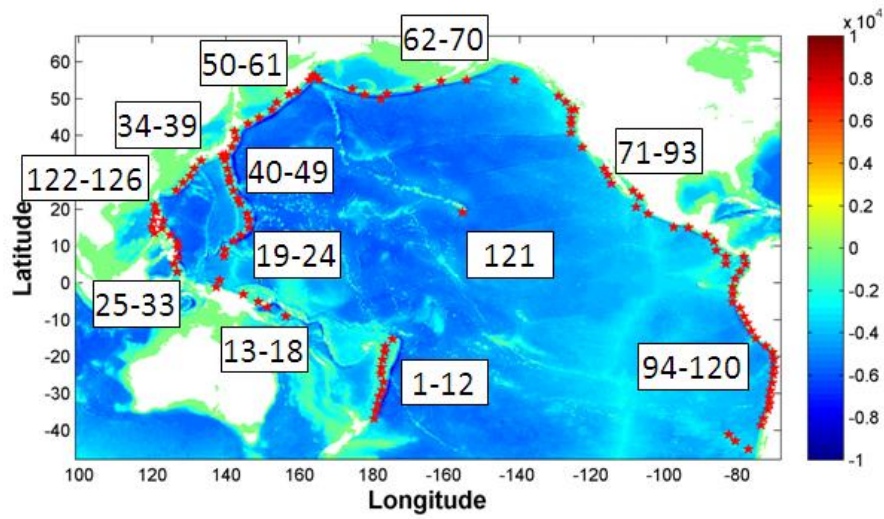


圖 5.2 環太平洋地震帶依海溝分佈 126 個點位

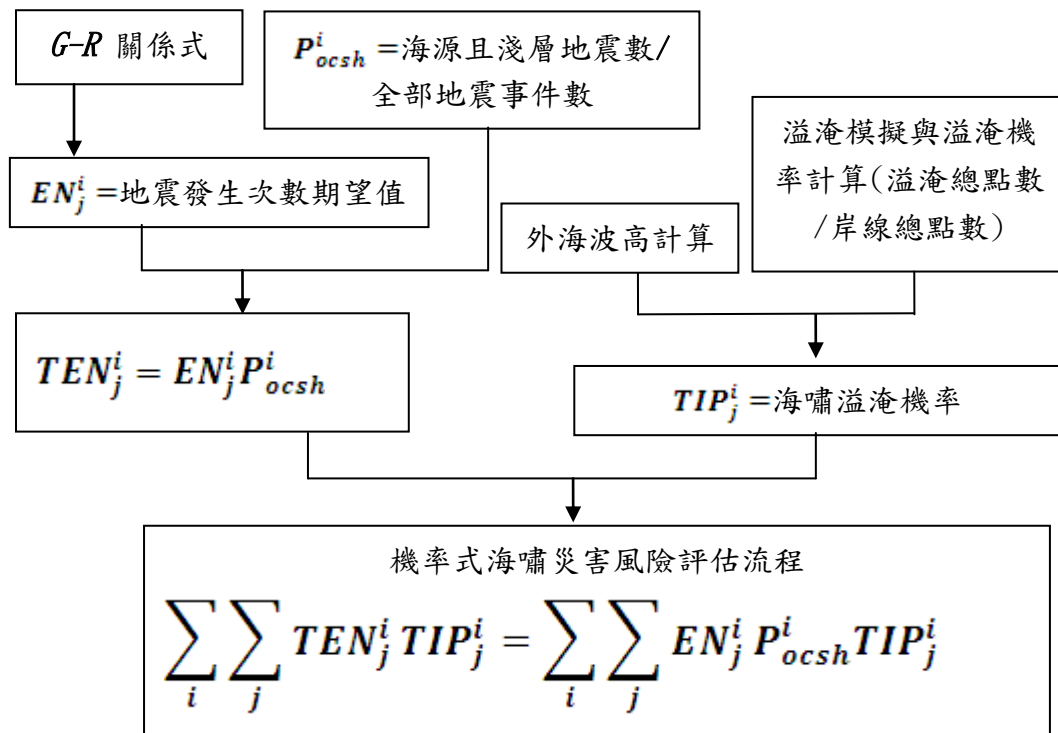


圖 5.3 機率式海嘯災害風險評估流程圖

5.2 海嘯且溢淹機率風險評估

5.2.1 海嘯地震次數期望數

由第四章介紹之海嘯風險評估方法，討論劃分地區太平洋各主要海溝及台灣西南部活躍海溝：馬尼拉海溝共 126 個區域點位。分別針對各區域點位計算未來 50 年與未來 100 年發生海嘯地震次數期望值。圖 5.4 為本研究討論地區 126 個點位未來 50 年發生規模 8 與規模 9 海嘯地震次數期望值。

5.2.2 外海波高計算

外海波高計算部分應用已建構完成之介面化海嘯模擬預警系統如圖 5.5，由第四章說明之地震參數給定方法，給予各點位（經度、緯度）不同程度地震矩規模以及各點位區域平均之地震解角度等參數，附錄 4、附錄 5，求得各點為若發生不同程度海嘯時對台北港域所產生之最大波高，如圖 5.6 及附錄 6，基隆港域最大波高，附錄 10。

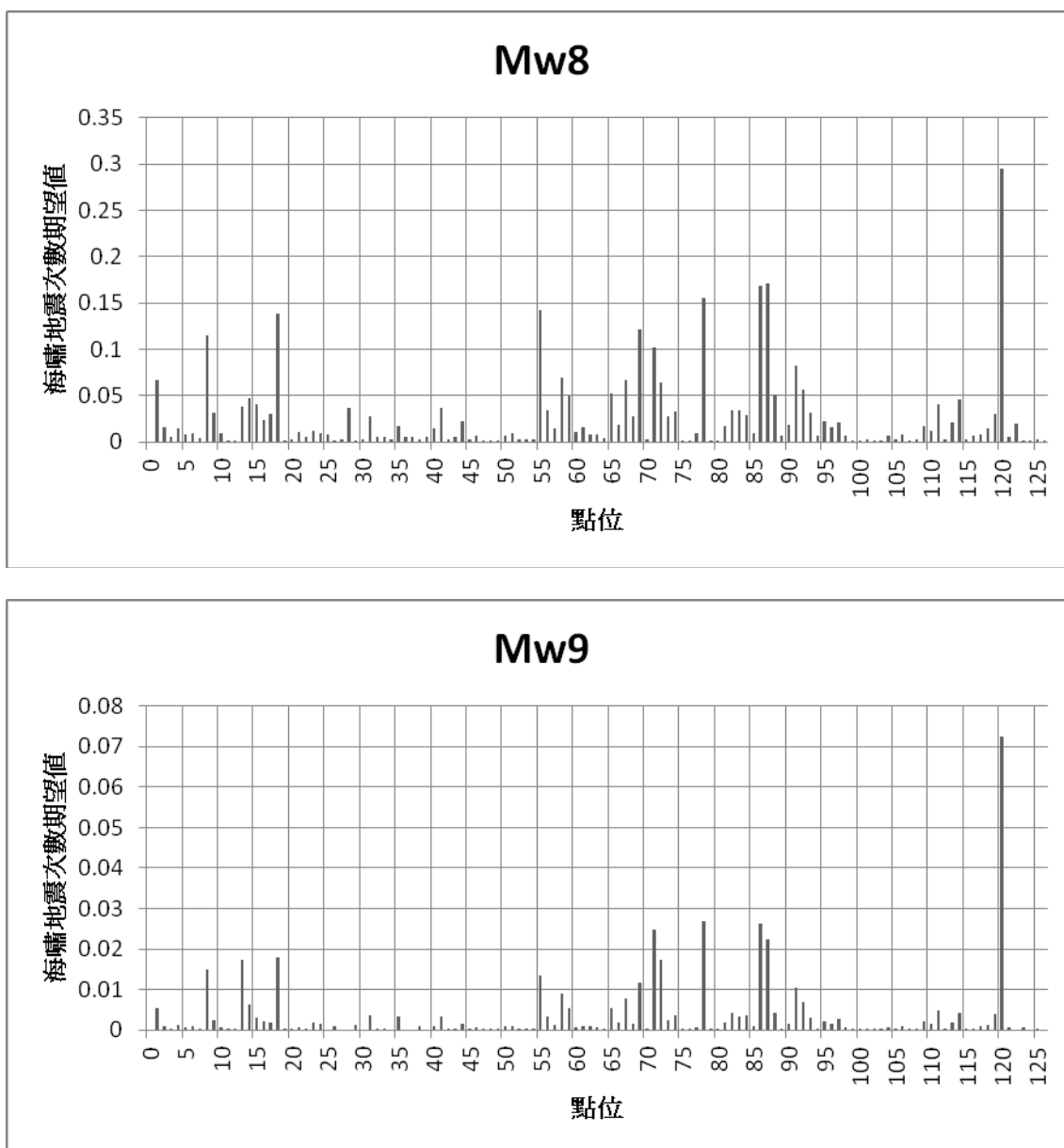


圖 5.4 研究區域 126 點位發生地震矩規模 Mw8 與 Mw9 之海嘯地震次數期望值

圖 5.5，由第四章說明之地震參數給定方法，給予各點位（經度、緯度）

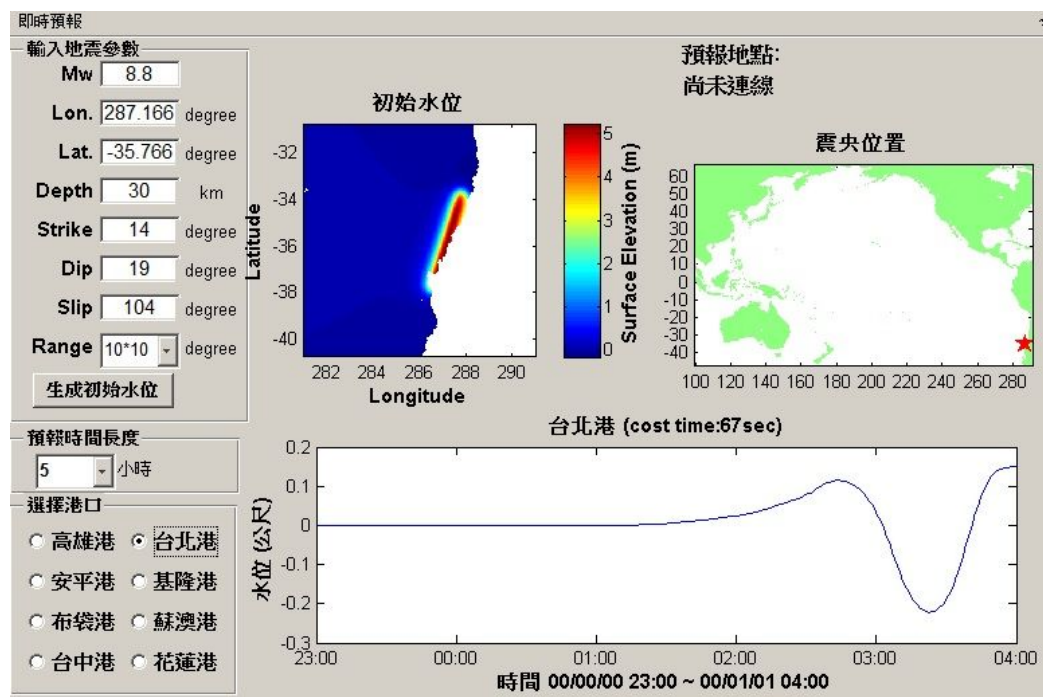


圖 5.5 介面化海嘯模擬預警系統

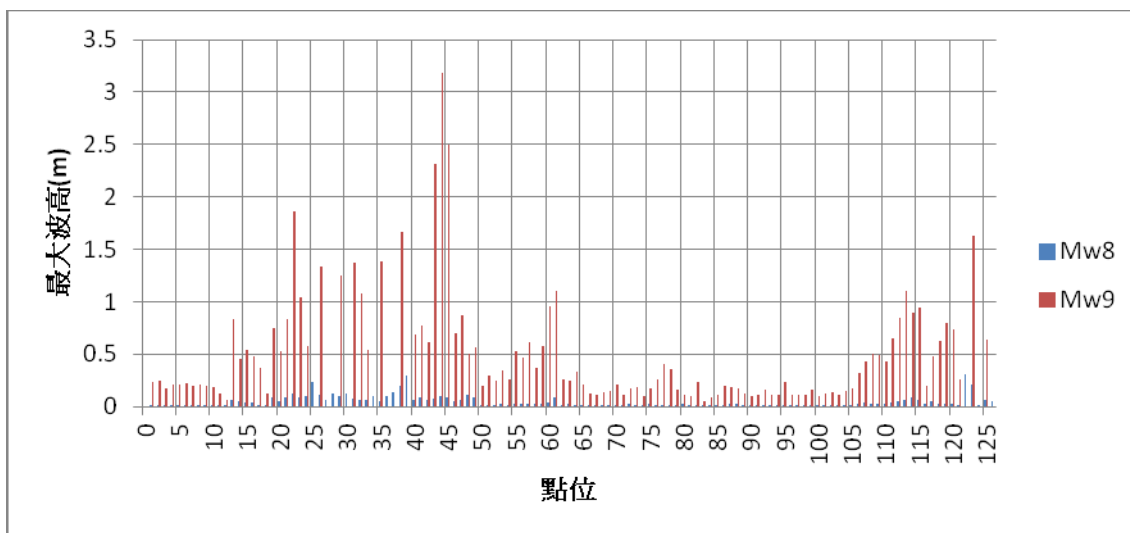


圖 5.6 台北港 126 點位地震矩規模 Mw8 與 Mw9 所求得最大波高

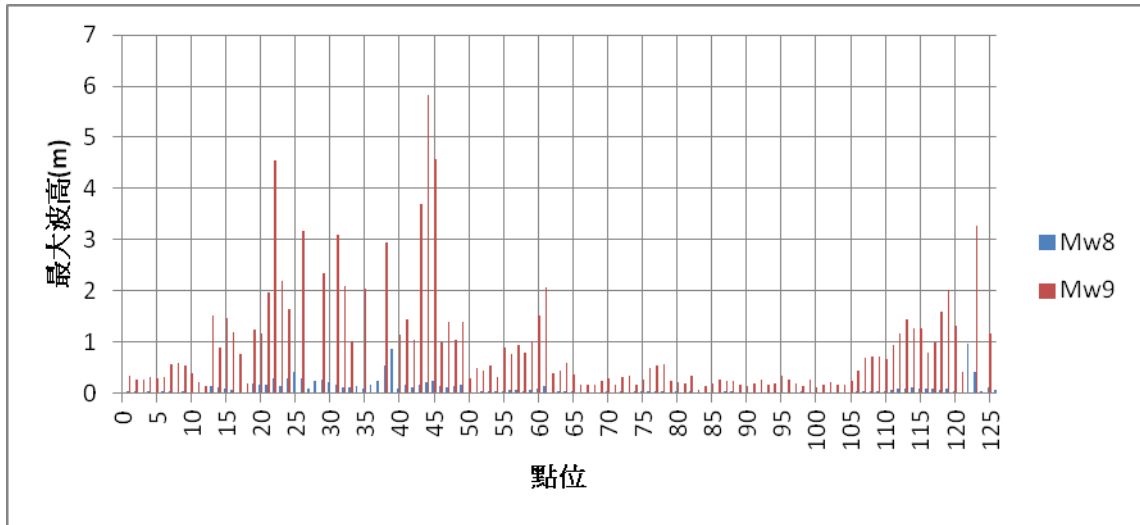


圖 5.7 基隆港 126 點位地震矩規模 Mw8 與 Mw9 所求得最大波高

5.2.3 數值地形處理

溢淹狀況部分，本計畫數值地形檔水深採取台灣大學海洋科技研究中心網格解析度 500 公尺之數值地形檔，配合內政部網格解析度 5 公尺之數值地形檔，圖 5.8、圖 5.9，內插製作網格解析度為 5 公尺之數值地形圖，並使用交通部港灣技術研究中心提供台北港與基隆港解析度 50 公尺水深地形圖做水深修正，圖 5.10、圖 5.11，作為模式模擬之數值地形檔，圖 5.12、圖 5.13。圖 5.14 為台北港離岸 50 公尺點位，圖 5.15 為基隆港離岸 50 公尺點位。

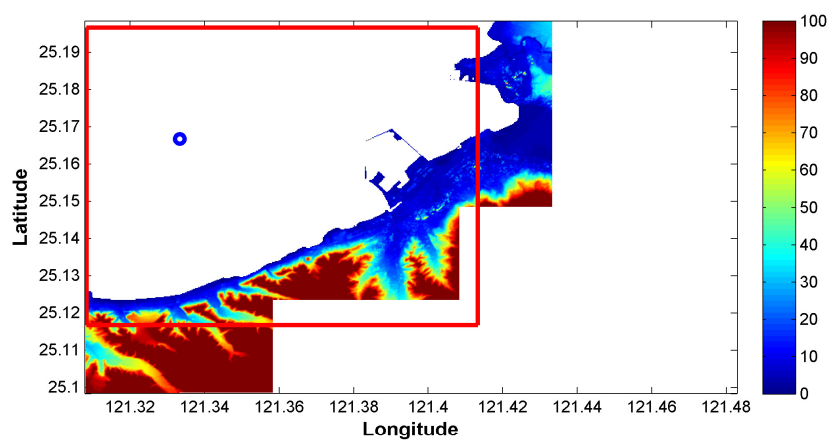


圖 5.8 台北港內政部網格解析度 5 公尺之數值地形檔

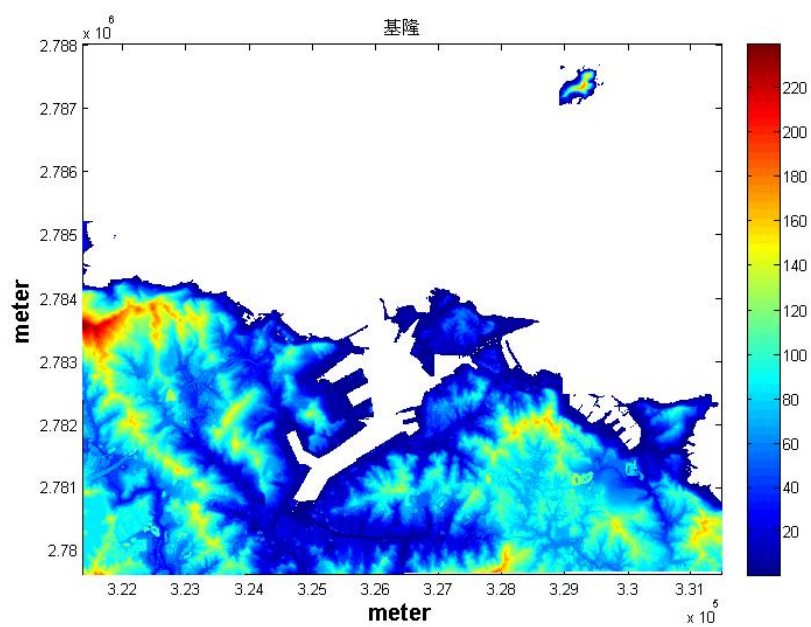


圖 5.9 基隆港內政部網格解析度 5 公尺之數值地形檔

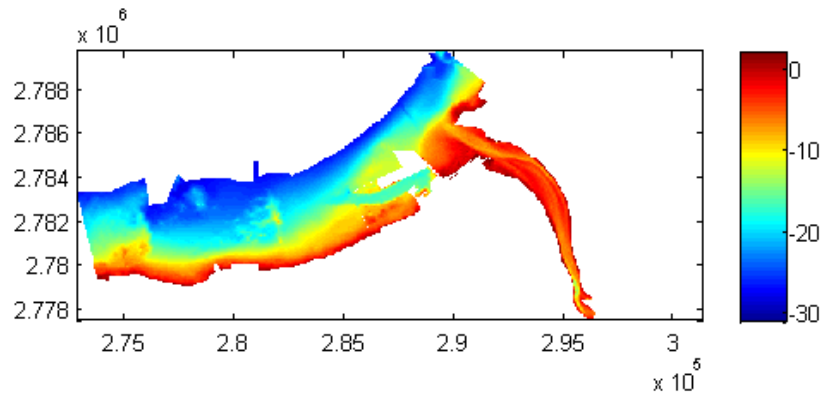


圖 5.10 台北港解析度 50 公尺水深地形圖

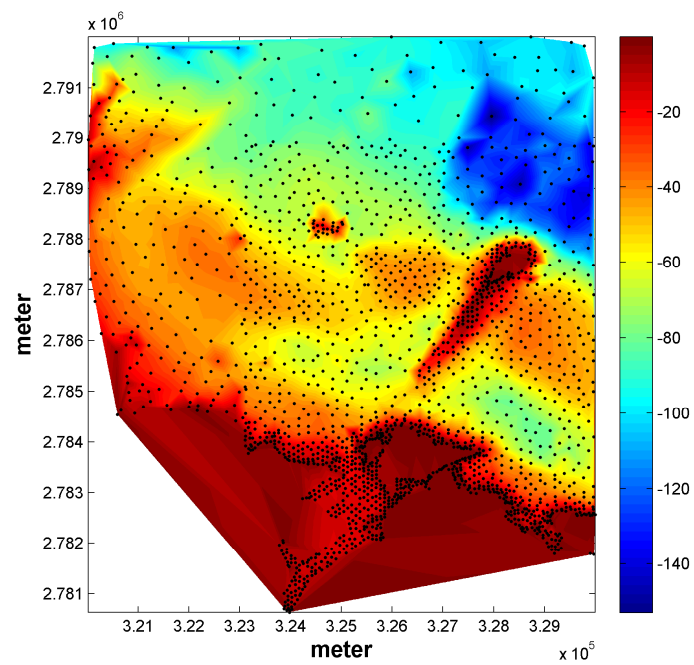


圖 5.11 基隆港解析度 50 公尺水深地形圖

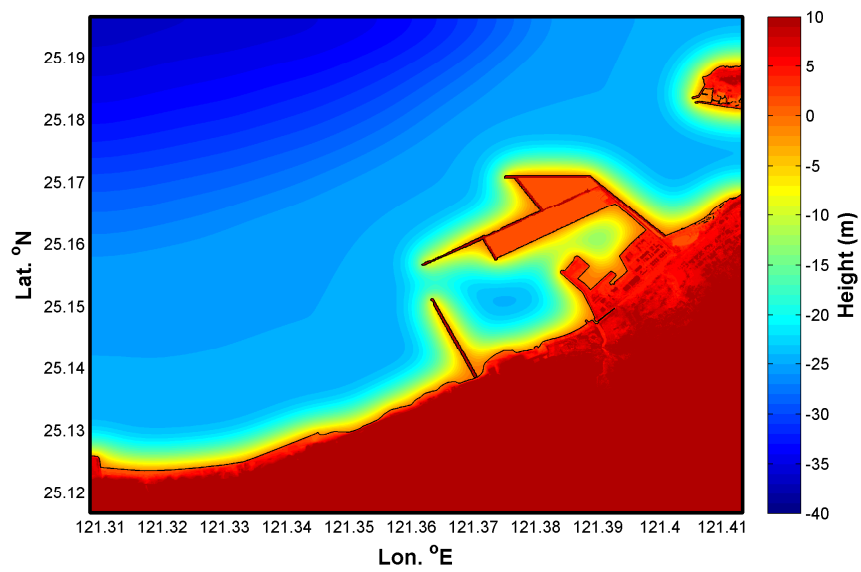


圖 5.12 台北港數值地形圖

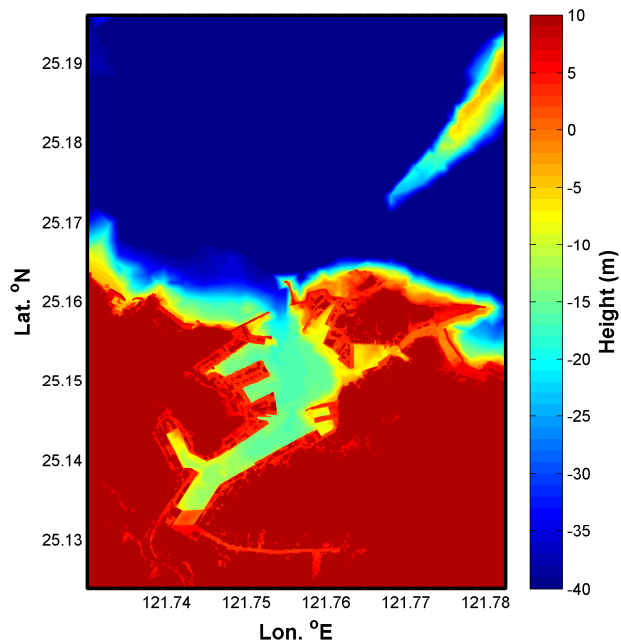


圖 5.13 基隆港數值地形圖

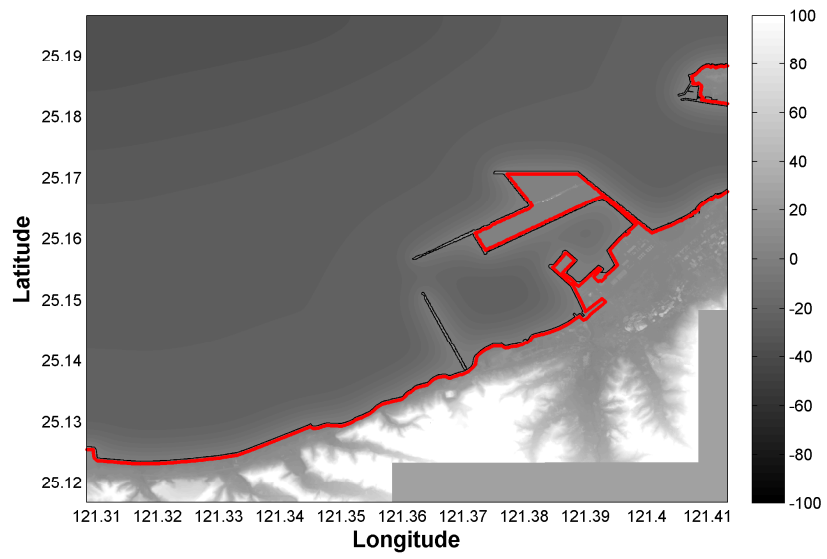


圖 5.14 台北港離岸 50 公尺點位

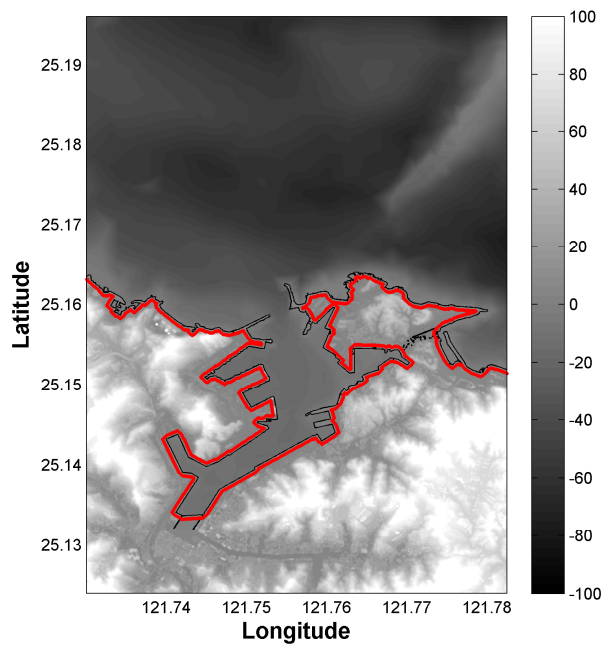


圖 5.15 基隆港離岸 50 公尺點位

5.2.4 海嘯溢淹模擬機率與溢淹機率

海嘯溢淹機率部分使用不同波高孤立波模擬海嘯波垂直岸線入射，圖 5.16 與圖 5.17 為台北港與基隆港不同波高海嘯波(週期 20 分鐘)所造成之溢淹狀況，由此可得不同海嘯波所對應的海嘯溢淹機率，圖 5.18，全區域 126 個點位最大波高對應機率，台北港附份附錄 7，基隆港部分附錄 11。

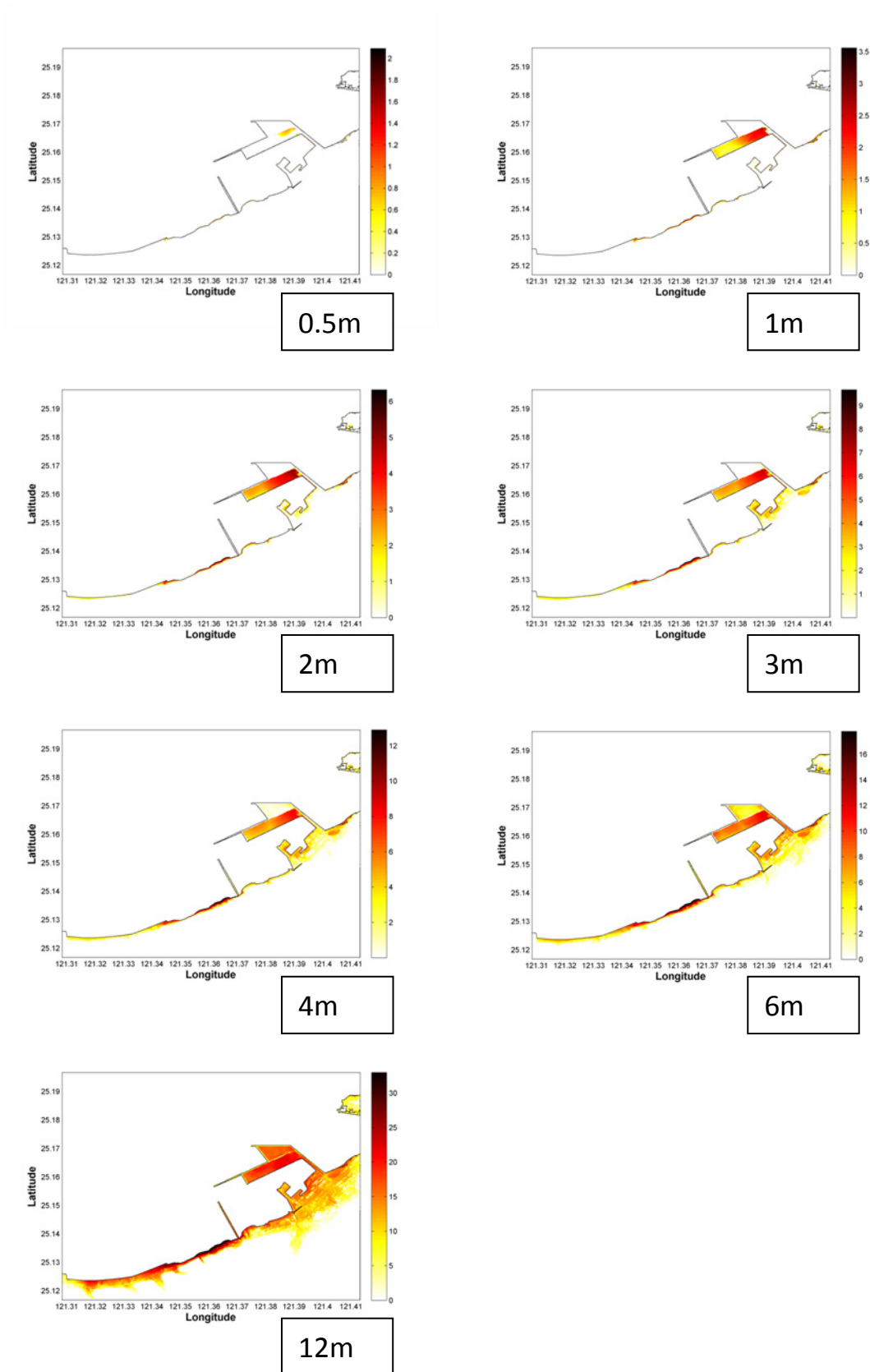


圖 5.16 台北港不同程度波高溢淹範圍圖

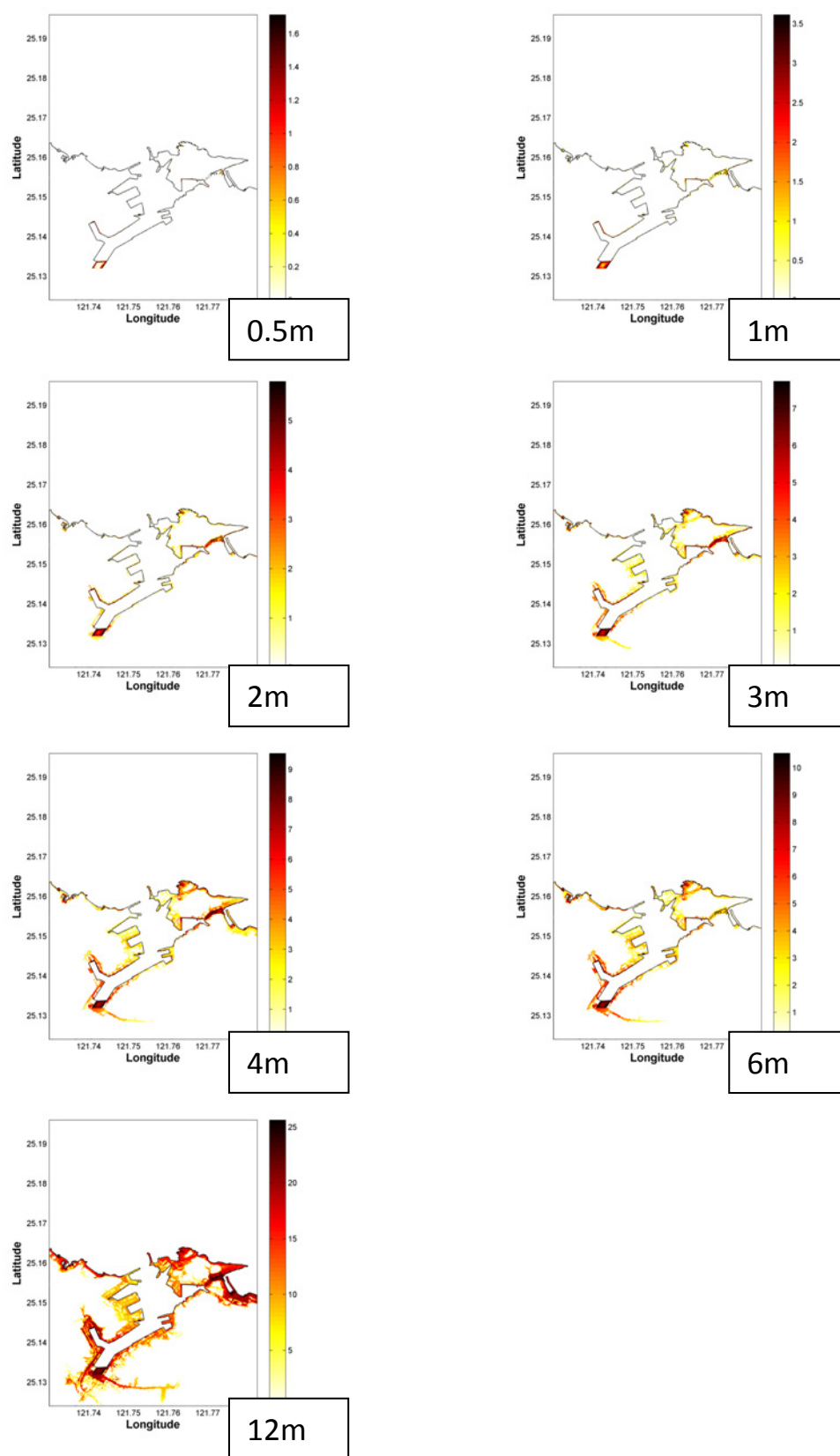


圖 5.17 基隆港不同程度波高溢淹範圍圖

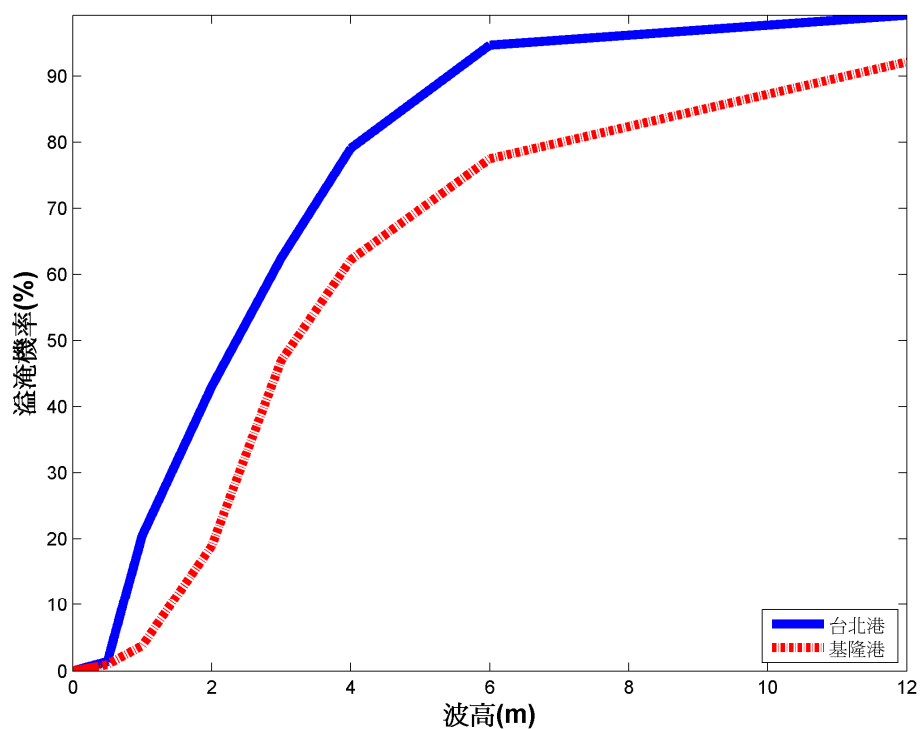


圖 5.18 台北港與基隆港不同波高溢淹機率

5.3 台北港、基隆港海嘯風險評估

經由第四章所說明之機率式海嘯風險評估方法，將本章所計算引發海嘯之地震期望數乘上不同程度地震海嘯最大波高所對應的溢淹機率，求得台北港未來 50 年與未來 100 年發生引發海嘯之地震且溢淹的機率分別為 2.79%與 5.59%，附錄 8、9。基隆港未來 50 年與未來 100 年發生引發海嘯之地震且溢淹的機率分別為 3.25%與 6.49%，附錄 12、13。

5.4 台北港新舊地形比較

本節比較內政部提供之台北港數值地形檔(2006 年)與目前(2011 年)完成之南堤與北外擴堤地形所計算出之溢淹結果差異比較。圖 5.19 為台北港舊地形(2006 年)，圖 5.20 為目前台北港地形(2011 年)，圖 5.21 為模擬溢淹結果，新舊地形溢淹機率比較。最後計算海嘯地震且溢淹機率分別為舊地形 50 年為 3.08%、100 年為 6.16%，新地形 50 年為 2.79%、100 年為 5.59%。

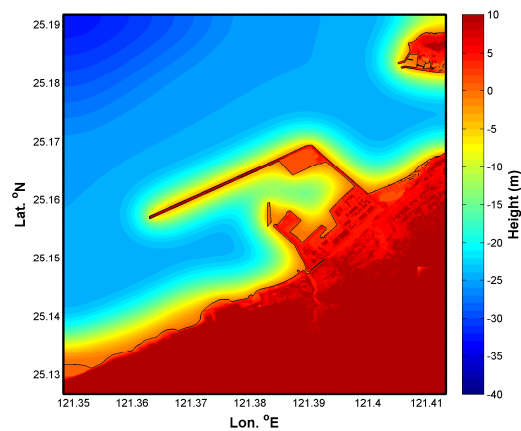


圖 5.19 台北港舊地形

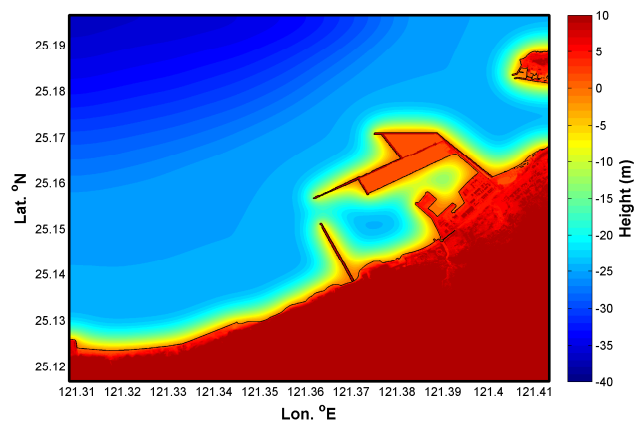


圖 5.20 台北港目前地形

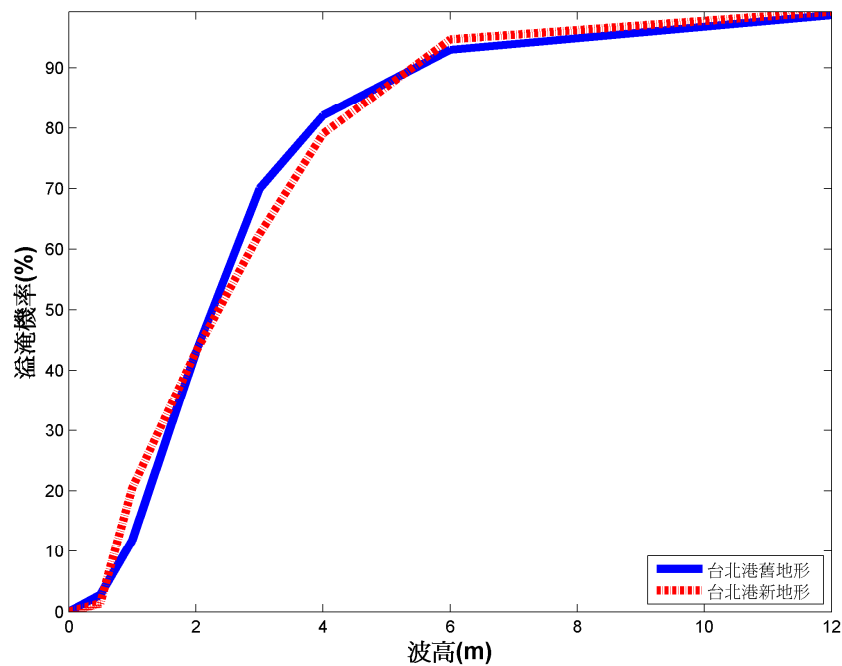


圖 5.21 新舊地形溢淹機率比較

5.5 台北港不同週期入射波溢淹比較

本節比較台北港不同週期溢淹所計算出之溢淹結果差異比較。本節分別使用 10、20、30、40 分鐘週期之外海 2 公尺波高入射波，垂直入射台北港比較不同週期之溢淹機率結果，分別計算結果為下表 5-1。一般常見海嘯波波長為 10 分鐘到 30 分鐘，但也可能長達 1 小時，由表 5-1 可知本節比較 10 分鐘到 40 分鐘結果，差異度不大，但從 4 種週期溢淹結果觀察，週期越長其溢淹機率有減小趨勢。目前所計算之溢淹機率使用 20 分鐘做為溢淹模擬之條件。分別計算之溢淹圖檔為圖 5.22。

表 5-1 不同週期波高 2 公尺溢淹台北港之溢淹機率

週期	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘
溢淹機率	43.5%	43.05%	42.49%	40.4%

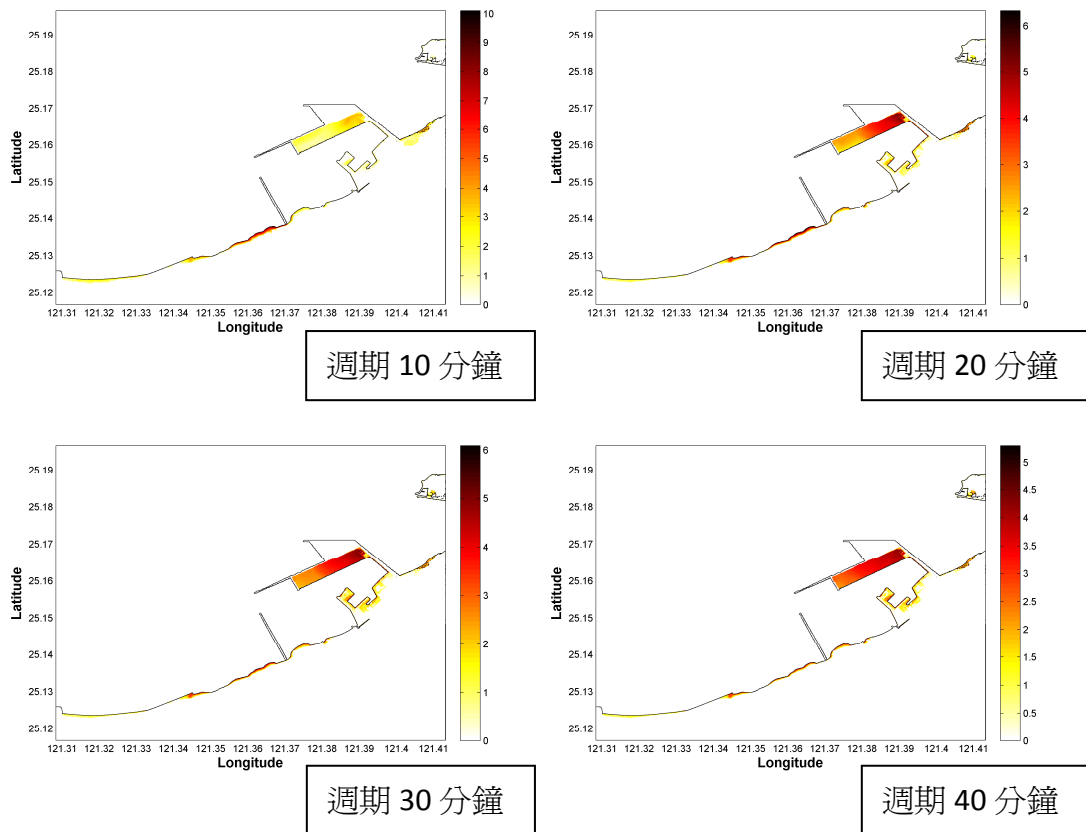


圖 5.22 台北港 2 公尺波高不同週期入射波溢淹結果

第六章 結論與建議

6.1 結論

- (1) 有鑑於近來太平洋區域發生多起重大之海嘯事件，且現今預報機制多依賴美日等鄰國之資訊，為增進臺灣海嘯警報之可信度、減少假警報以及提供較充裕之預警時間及海嘯資訊，將近岸海嘯預警系統拓展至遠海域，並建立子系統已達到強化應變海嘯風險之能力。
- (2) 傳統海嘯模式模擬時間受網格解析度、海嘯源位置、模擬時間等因素影響，需要相當長之計算時間；本系統應用格林函數之可逆性值，加速海嘯模擬之時間，以提供災防之參考依據，爭取海嘯侵襲時的警報時間。
- (3) 本年度計畫精進基隆港域及台北港域海嘯數值模式之格林函數，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度。
- (4) 完成海嘯模擬預警即時地震資料擷取系統，並增加日本防災科學技術研究所(NIED)所提供之 F-net 即時地震資料庫，以供與 USGS 與 CWB 資料庫結果比較。
- (5) 台北港域未來 50 年及 100 年海嘯災害風險，評估結果分別為 2.79% 與 5.59%；基隆港域未來 50 年及 100 年海嘯災害風險，評估結果分別為 3.25% 與 6.49%，以提供相關單位港灣構造物設計基準之參考。

6.2 建議與後續研究方向

- (1) 目前完成台北港、基隆港預警子系統與海嘯風險評估，未來可擴大至臺灣各國際商港，用以作為海嘯災防之參考評估。
- (2) 本研究模擬海嘯波部分使用週期 20 分鐘之單一入射波，入射方向為正向入射，雖然可造成較大溢淹結果，但與實際海嘯波仍有落差，未來可針對入射波波形、數個連續的波、不同週期與入射方向等條

件進行討論；並除了模擬海嘯波高變化外，另模擬流量、流速等結果，用以提供港灣結構物設計與結構物受海嘯侵襲承受度等，更詳盡的參考資訊。

參考文獻

1. 江新春(1976) 「宜蘭平原之震測」，礦業技術第 14 卷，第 6 期，pp.215-221。
2. 徐明同(1981) 「海嘯所引起之災害」，中央氣象局氣象學報第二十七卷第一期，pp.1-15。
3. 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。
4. 陳冠宇(2004) 「假警報恐引來觀潮人」，中國時報時論廣場。
5. 陳文山、黃能偉、顏一勤、楊志成、李偉彰、楊小青、陳勇全、宋時驊(2005) 「恆春半島增積岩體的構造與地層特性：全新世恆春斷層的活動性」，Western Pacific Earth Sciences, 5, pp.129-154。
6. 于福江、吳瑋、趙聯大(2005) 「基於數值預報技術的日本新一代海嘯預警系統」，國際地震動態，第 1 期，pp.19-20。
7. 陳陽益、陳冠宇(2006) 「海嘯模式建置研究」，交通部運輸研究所合作研究計畫期末報告。
8. 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。
9. 黃永德、陳營華(2006) 「影響中國東南沿岸的海嘯」，第二屆粵港澳地震科技研討會。
10. 蕭嘉緯(2007) 「考量風險相關性之地震風險評估研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文
11. 陳陽益、陳冠宇、陳文山(2007) 「臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(1/4)」，交通部運輸研究所合作研究計畫期末報告。
12. 陳冠宇(2007) 「淺談海嘯及其數值模擬」，港灣報導。

- 13.張孟挺(2008)「台灣的海嘯威脅與高雄市溢淹之模擬」，國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所碩士論文。
- 14.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。
- 15.劉俊志、陳冠宇(2008)「以逆向格林函數快速預報高雄港外海嘯高度」，天氣分析與預報研討會，中央氣象局。
- 16.陳陽益、陳冠宇(2008)「臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(2/4)」，交通部運輸研究所合作研究計畫期末報告。
- 17.陳冠宇、陳陽益(2009)「臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析(3/4)」，交通部運輸研究所合作研究計畫期末報告。
- 18.林柏佑(2009)「利用單位海嘯模擬方法建立台灣近海海嘯警報系統」，國立中央大學地球物理研究所碩士論文
- 19.連政佳(2011)「地震引發海嘯對台灣東南部海岸的影響」，國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所碩士論文初稿
- 20.李昭興、許明光、林欽隆、徐月娟、郭鎧紋、王承韜「台灣地區海域地震與海嘯發生之關聯性研究」
<http://scman.cwb.gov.tw/eqv5/research/51vol/MOTC-CWB-97-E-26.pdf>
- 21.Global CMT <http://www.globalcmt.org/>.
- 22.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/>
- 23.中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>.
- 24.美國 NGDC 資料庫 <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/hazards.shtml>.
- 25.美國地調所 USGS 資料庫 <http://www.usgs.gov/>.
- 26.美國地調所 USGS 國家地震訊息中心 NEIC 資料庫
<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>.

27. Anagnos, T., and A. S. Kiremidjian (1988), "A review of earthquake occurrence models for seismic hazard analysis," *Probabilistic Engineering Mechanics*, 3, pp.3-11.
28. Bautista, B. C., M. L. P. Bautista, K. Oike, F. T. Wu and R. S., Punongbayan (2001), "A new insight on the geometry of subducting slabs in northern Luzon," *Philippines, Tectonophysics*, 339, pp. 279-310.
29. Chen, Guan-Yu, Chin-Chu Liu, and Chia-Hao 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,.
30. Chen, Guan-Yu, Chia-Hao Lin, and Chin-Chu Liu (2010), "Quick Evaluation of Run-up Height and Inundation Area for Early Warning of Tsunami," *Journal of Earthquake and Tsunami*, accepted.
31. Chen, Guan-Yu, and Chin-Chu 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).
32. Greenslade D. J. M., M. A. Simanjuntak, and S. C. R. Allen (2009), "An Enhanced Tsunami Scenario Database:T2," *CAWCR Technical Report No. 014*, The Centre for Australian Weather and Climate Research
33. Gusiakov, V. K. (2005), "Tsunami generation potential of different tsunamigenic regions in the Pacific," *Marine Geology*, 215, pp.3-9.
34. Halif M. N. A., and S.N. Sabki (2005), "The Physics of Tsunami: Basic understanding of the Indian Ocean disaster," *American Journal of Applied Sciences* 2 (8): pp.1188-1193
35. 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.
- 36.Lee Shainn-Jong, Wen-Tzong Liang, and Bor-Shouh Huang (2008), “Source Mechanisms and Rupture Processes of the 26 December 2006 Pingtung Earthquake Doublet as Determined from the Regional Seismic Records,” *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 19, No. 6
 - 37.Liu, C.-S., I. L. Huang, and L. S. Teng (1997), “Structral features off Southwestern Taiwan,” *Mar. Geol.*, 137, pp.305-319.
 - 38.Liu, Ying-Chun, A. Santos, S. M. Wang, Y. Shi, H. Liu, and D. A. Yuen (2007), “Tsunami hazards along Chinese coast from potential earthquakes in South China Sea,” *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, 163, pp.233-244.
 - 39.Loomis, H.G. (1979), “Tsunami prediction using the reciprocal property of Green's functions,” *Mar. Geod.*, 2(1), pp.27-39.
 - 40.Megawati, K. , F. Shaw, K. Sieh , Z. Huang, T.-R. Wu, Y. Lin, S. K. Tan, and T.-C. Pan (2009), “Tsunami hazard from the subduction megathrust of the South China Sea: Part I. Source characterization and the resulting tsunami,” *J. Asian Earth Sciences*, 36(1), pp.13-20.
 - 41.Rabinovich A. B., Fred E. S. and Richard E. T. (2005) “The California Tsunami of 15 June 2005 along the Coast of North America,” *Atmophere-ocean*, 44 (4), pp.415–427
 - 42.Wiegel, R.L. (1980), “Tsunamis along West Coast of Luzon,” *International Conference of Coastal Engineering*, pp. 672-694.
 - 43.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*.
 - 44.Xu, Z. (2007), “The All-source Green's Function and its Applications to Tsunami,” *Science of Tsunami Hazards*, 26(1), pp.59-69.

附錄

附錄 1 環太平洋地震帶 126 點位發生淺層海底地震的機率

環太平洋地震帶 126 點位發生淺層海底地震的機率					
區域	經度	緯度	地震事件總數	海源且淺層(<30km)數	比率
1	-174.54	-15.32	2540	641	25.23%
2	-176.51	-17.24	4717	421	8.93%
3	-176.64	-18.92	3288	158	4.82%
4	-177.26	-20.88	4507	253	5.62%
5	-177.64	-23.04	2606	154	5.89%
6	-177.72	-24.8	1156	82	7.10%
7	-177	-27	980	104	10.64%
8	-177.43	-29.14	1510	284	18.84%
9	-178.14	-30.84	2044	370	18.10%
10	-178.67	-32.93	1412	340	24.06%
11	-179.15	-34.78	415	46	11.16%
12	-179.55	-36.87	198	17	8.81%
13	138.36	0.7	20	2	9.52%
14	137.49	-1.18	1153	168	14.57%
15	144.76	-3.2	4646	643	13.84%
16	148.95	-5.16	9471	237	2.50%
17	151.29	-6.67	6209	828	13.34%
18	156.38	-9.12	1499	382	25.48%
19	146.28	17.08	622	85	13.66%
20	146.35	14.93	1033	176	17.05%
21	144.07	12.86	2107	359	17.06%
22	142.27	11.35	745	186	25.00%
23	139.85	8.92	98	20	20.41%
24	139.53	7.2	59	14	23.33%
25	121.23	19.28	742	140	18.87%
26	123	16.8	587	21	3.65%
27	122.68	14.81	552	43	7.84%

28	125	12.96	1943	282	14.52%
29	127	10.91	1339	100	7.49%
30	127	9.31	2084	96	4.62%
31	127	6.9	1849	81	4.35%
32	125.99	5.12	2531	118	4.68%
33	126.83	2.92	3717	312	8.38%
34	139.07	34.62	2239	783	34.95%
35	133.4038	33.13188	1433	371	25.86%
36	131.46	31.02878	1235	89	7.20%
37	130.3494	28.92551	1851	172	9.30%
38	128.5244	27.13333	1458	180	12.36%
39	126.6147	25.13265	2675	682	25.51%
40	139.95	34.71	1790	585	32.68%
41	139.77	33.2	1776	476	26.82%
42	140.44	30.95	1276	138	10.79%
43	140.92	28.82	1499	144	9.60%
44	141.1	27.3	1488	655	44.02%
45	142.11	25	398	30	7.64%
46	143.33	22.77	730	59	8.02%
47	144	21.42	908	75	8.24%
48	145.88	18.82	1267	47	3.74%
49	146.28	17.09	625	85	13.60%
50	163.74	56.28	188	23	12.24%
51	162.75	54.93	1372	101	7.33%
52	159.48	52	1828	66	3.62%
53	157.25	51.16	925	43	4.65%
54	153.9	48.86	1306	133	10.17%
55	152.67	46.86	3371	1469	43.58%
56	149.14	44.83	3622	292	8.06%
57	146.08	43.16	3252	196	6.04%
58	142.49	41.11	1715	236	13.74%
59	142.88	39.06	1396	268	19.19%
60	141.76	36.82	1879	262	13.92%
61	140.15	34.74	2170	857	39.48%
62	164.46	56.2	72	15	21.33%

63	165.39	55.03	460	134	29.05%
64	174.49	52.68	509	99	19.49%
65	177.9	51	1348	349	25.90%
66	-154.41	55	520	147	28.27%
67	-161.39	54.68	654	310	47.41%
68	-167.66	52.91	2268	1347	59.41%
69	-176.1	51.37	3014	1108	36.75%
70	-177.68	49.88	10	5	45.16%
71	-141.36	55	80	69	86.87%
72	-127.41	49	39	17	44.21%
73	-129.39	50.67	340	317	93.27%
74	-124.91	47	348	216	62.12%
75	-126	46.94	145	8	5.67%
76	-126	44.73	477	113	23.66%
77	-126	43.01	559	256	45.84%
78	-126	40.72	413	244	59.06%
79	-123	36.81	569	7	1.22%
80	-117	30.87	163	34	21.09%
81	-116	29.29	146	93	63.73%
82	-115	27	166	130	78.22%
83	-109.06	24.96	336	292	86.97%
84	-107.33	23.29	138	111	80.79%
85	-108.317	20.55	123	68	55.68%
86	-105	18.72	1029	314	30.47%
87	-98	15	2220	685	30.87%
88	-94.05	14.93	2851	947	33.20%
89	-89.15	12.95	2642	239	9.06%
90	-87.12	11.15	1471	244	16.59%
91	-86.5	8.78	793	262	33.01%
92	-83.85	7.16	297	209	70.37%
93	-83.9	5.08	280	200	71.38%
94	-79	7.01	2022	269	13.31%
95	-78.54	4.99	666	185	27.81%
96	-80.03	3.02	632	149	23.59%
97	-81.36	1.02	219	57	26.25%

98	-82	-1.2	471	41	8.61%
99	-82	-3.08	463	9	1.88%
100	-82	-5.23	384	5	1.24%
101	-80	-6.95	329	8	2.32%
102	-79	-9.07	566	12	2.04%
103	-78	-10.95	414	8	1.84%
104	-77	-13.14	390	45	11.53%
105	-75.76	-15.09	1025	66	6.39%
106	-73.03	-17.12	943	47	4.94%
107	-71.21	-18.95	234	27	11.38%
108	-70.76	-20.75	129	12	9.15%
109	-70.73	-23.08	355	43	11.98%
110	-70.9	-24.92	254	27	10.81%
111	-71.31	-27.2	362	138	38.16%
112	-71.8	-29.33	495	65	13.15%
113	-71.92	-31.21	930	251	26.95%
114	-71.98	-32.88	1446	454	31.43%
115	-72.43	-34.48	1215	109	9.00%
116	-73.6	-36.89	822	133	16.16%
117	-74.34	-38.62	294	58	19.57%
118	-83.01	-41.2	242	149	61.75%
119	-81.27	-42.97	160	87	54.55%
120	-77.75	-45.13	177	81	45.81%
121	-155.5	19.16	185	53	28.76%
122	120.7568	20.9668	503	33	6.60%
123	120.8642	19.27471	720	4	0.55%
124	120.4388	16.89667	457	31	6.75%
125	119.9961	15.06286	660	120	18.18%
126	120.6027	13.47519	898	66	7.35%

附錄 2 環太平洋地震帶 126 點位未來 50 年各震度發生引發海嘯之地震期望數

環太平洋地震帶 126 點位未來 50 年各震度發生引發海嘯之地震期望數					
震度(Mw)/點位	7	7.5	8	8.5	9
1	0.7859	0.2283	0.0663	0.0193	0.0056
2	0.2384	0.0617	0.0159	0.0041	0.0011
3	0.0821	0.0208	0.0053	0.0013	0.0003
4	0.2036	0.0558	0.0153	0.0042	0.0011
5	0.1131	0.0304	0.0082	0.0022	0.0006
6	0.0995	0.0303	0.0092	0.0028	0.0009
7	0.068	0.0174	0.0045	0.0011	0.0003
8	0.8825	0.3187	0.1151	0.0416	0.015
9	0.3966	0.1116	0.0314	0.0088	0.0025
10	0.1608	0.039	0.0095	0.0023	0.0006
11	0.0201	0.0049	0.0012	0.0003	0.0001
12	0.0141	0.0041	0.0012	0.0004	0.0001
13	0.0869	0.0581	0.0388	0.026	0.0174
14	0.3631	0.1317	0.0478	0.0173	0.0063
15	0.5303	0.147	0.0407	0.0113	0.0031
16	0.27	0.0813	0.0245	0.0074	0.0022
17	0.4663	0.1189	0.0303	0.0077	0.002
18	1.0662	0.3841	0.1384	0.0499	0.018
19	0.0279	0.0066	0.0016	0.0004	0.0001
20	0.0543	0.0125	0.0029	0.0007	0.0002
21	0.1759	0.0449	0.0115	0.0029	0.0007
22	0.0937	0.0236	0.0059	0.0015	0.0004
23	0.0782	0.0304	0.0118	0.0046	0.0018
24	0.0592	0.0234	0.0092	0.0036	0.0014
25	0.103	0.0285	0.0079	0	0
26	0.0218	0.0063	0.0019	0.0034	0.0009
27	0.0304	0.0085	0.0024	0	0
28	0.3446	0.1136	0.0374	0	0
29	0.0269	0.0062	0.0014	0.0049	0.0013

30	0.0516	0.0137	0.0037	0	0
31	0.2149	0.0776	0.028	0.0101	0.0037
32	0.0834	0.0225	0.0061	0.0016	0.0004
33	0.1081	0.0252	0.0059	0.0014	0.0003
34	0.036	0.0099	0.0027	0	0
35	0.1447	0.0506	0.0177	0.0108	0.0034
36	0.063	0.0186	0.0055	0	0
37	0.0807	0.0218	0.0059	0	0
38	0.0557	0.0133	0.0032	0.0036	0.0009
39	0.0795	0.021	0.0055	0	0
40	0.2685	0.0637	0.0151	0.0036	0.0008
41	0.4192	0.1246	0.037	0.011	0.0033
42	0.0563	0.0142	0.0036	0.0009	0.0002
43	0.0865	0.0233	0.0063	0.0017	0.0005
44	0.3416	0.0889	0.0231	0.006	0.0016
45	0.0315	0.0097	0.003	0.0009	0.0003
46	0.0622	0.0198	0.0063	0.002	0.0006
47	0.012	0.0025	0.0005	0.0001	0
48	0.0301	0.0083	0.0023	0.0006	0.0002
49	0.0277	0.0065	0.0015	0.0004	0.0001
50	0.0566	0.0199	0.007	0.0025	0.0009
51	0.1053	0.0325	0.01	0.0031	0.001
52	0.045	0.0122	0.0033	0.0009	0.0002
53	0.034	0.0095	0.0027	0.0007	0.0002
54	0.0591	0.0146	0.0036	0.0009	0.0002
55	1.4836	0.4593	0.1422	0.044	0.0136
56	0.3702	0.1133	0.0347	0.0106	0.0033
57	0.1823	0.0526	0.0152	0.0044	0.0013
58	0.5435	0.1949	0.0699	0.0251	0.009
59	0.4705	0.1538	0.0503	0.0164	0.0054
60	0.1553	0.0417	0.0112	0.003	0.0008
61	0.2764	0.0661	0.0158	0.0038	0.0009
62	0.0548	0.0208	0.0079	0.003	0.0011
63	0.1009	0.0285	0.008	0.0023	0.0006
64	0.0563	0.015	0.004	0.0011	0.0003

65	0.5011	0.1629	0.0529	0.0172	0.0056
66	0.1842	0.0586	0.0186	0.0059	0.0019
67	0.573	0.1964	0.0673	0.0231	0.0079
68	0.4849	0.1167	0.0281	0.0068	0.0016
69	1.2557	0.3912	0.1219	0.038	0.0118
70	0.0159	0.0063	0.0025	0.001	0.0004
71	0.4246	0.2086	0.1025	0.0504	0.0248
72	0.2421	0.1252	0.0648	0.0335	0.0173
73	0.2943	0.09	0.0275	0.0084	0.0026
74	0.3048	0.1008	0.0333	0.011	0.0036
75	0.0012	0.0003	0.0001	0	0
76	0.0328	0.0081	0.002	0.0005	0.0001
77	0.1364	0.0373	0.0102	0.0028	0.0008
78	0.8924	0.3719	0.155	0.0646	0.0269
79	0.0064	0.0019	0.0006	0.0002	0
80	0.0078	0.0018	0.0004	0.0001	0
81	0.1574	0.0524	0.0174	0.0058	0.0019
82	0.275	0.0963	0.0337	0.0118	0.0041
83	0.3396	0.1069	0.0337	0.0106	0.0033
84	0.2423	0.0844	0.0294	0.0103	0.0036
85	0.0946	0.0305	0.0098	0.0032	0.001
86	1.0802	0.4272	0.169	0.0668	0.0264
87	1.303	0.4722	0.1712	0.062	0.0225
88	0.629	0.1802	0.0516	0.0148	0.0042
89	0.0979	0.025	0.0064	0.0016	0.0004
90	0.2139	0.0631	0.0186	0.0055	0.0016
91	0.6307	0.2274	0.082	0.0296	0.0107
92	0.4732	0.1639	0.0568	0.0197	0.0068
93	0.3165	0.0998	0.0315	0.0099	0.0031
94	0.1136	0.0288	0.0073	0.0019	0.0005
95	0.2421	0.0738	0.0225	0.0069	0.0021
96	0.1751	0.0538	0.0165	0.0051	0.0016
97	0.1621	0.0586	0.0212	0.0076	0.0028
98	0.0657	0.0213	0.0069	0.0022	0.0007
99	0.0136	0.0043	0.0014	0.0004	0.0001

100	0.0084	0.0028	0.0009	0.0003	0.0001
101	0.0207	0.0074	0.0026	0.0009	0.0003
102	0.0128	0.0038	0.0011	0.0003	0.0001
103	0.0097	0.003	0.0009	0.0003	0.0001
104	0.0667	0.0208	0.0065	0.002	0.0006
105	0.0375	0.0097	0.0025	0.0007	0.0002
106	0.0757	0.0249	0.0082	0.0027	0.0009
107	0.0181	0.005	0.0014	0.0004	0.0001
108	0.0221	0.0073	0.0024	0.0008	0.0003
109	0.1335	0.0483	0.0175	0.0063	0.0023
110	0.0889	0.0323	0.0117	0.0043	0.0015
111	0.3411	0.1176	0.0405	0.014	0.0048
112	0.0404	0.0108	0.0029	0.0008	0.0002
113	0.2368	0.072	0.0219	0.0067	0.002
114	0.4909	0.151	0.0465	0.0143	0.0044
115	0.0468	0.0117	0.0029	0.0007	0.0002
116	0.0879	0.0235	0.0063	0.0017	0.0005
117	0.0888	0.0278	0.0087	0.0027	0.0008
118	0.1717	0.0497	0.0144	0.0042	0.0012
119	0.2458	0.0868	0.0306	0.0108	0.0038
120	1.1971	0.5935	0.2942	0.1459	0.0723
121	0.0548	0.0181	0.006	0.002	0.0007
122	0.209769	0.064649	0.019924		
123	0.024095	0.006007	0.001498	0.003073	0.000814
124	0.011503	0.003187	0.000883		
125	0.025653	0.00845	0.002783	0.001677	0.000489
126	0.024535	0.005964	0.00145		

附錄3 環太平洋地震帶 126 點位未來 100 年各震度發生引發海嘯之地震期望數

環太平洋地震帶 126 點位未來 100 年各震度發生引發海嘯之地震期望數					
震度(Mw)/點位	7	7.5	8	8.5	9
1	1.5703	0.456	0.1324	0.0385	0.0112
2	0.4763	0.1232	0.0318	0.0082	0.0021
3	0.1641	0.0415	0.0105	0.0027	0.0007
4	0.4069	0.1114	0.0305	0.0084	0.0023
5	0.2259	0.0608	0.0164	0.0044	0.0012
6	0.1987	0.0604	0.0184	0.0056	0.0017
7	0.1359	0.0348	0.0089	0.0023	0.0006
8	1.7523	0.6313	0.2275	0.082	0.0295
9	0.7922	0.2229	0.0627	0.0176	0.005
10	0.3215	0.0781	0.019	0.0046	0.0011
11	0.0401	0.0098	0.0024	0.0006	0.0001
12	0.0281	0.0082	0.0024	0.0007	0.0002
13	0.1649	0.1078	0.0705	0.0461	0.0301
14	0.7209	0.2609	0.0944	0.0342	0.0124
15	1.0598	0.2936	0.0814	0.0225	0.0062
16	0.5384	0.162	0.0487	0.0147	0.0044
17	0.9321	0.2376	0.0606	0.0154	0.0039
18	2.117	0.761	0.2736	0.0983	0.0354
19	0.0558	0.0132	0.0031	0.0007	0.0002
20	0.1086	0.025	0.0058	0.0013	0.0003
21	0.3516	0.0897	0.0229	0.0058	0.0015
22	0.1873	0.0471	0.0119	0.003	0.0008
23	0.156	0.0605	0.0235	0.0091	0.0035
24	0.1184	0.0467	0.0184	0.0073	0.0029
25	0.206	0.057	0.0158	0	0
26	0.0435	0.0127	0.0037	0.0067	0.0019
27	0.0608	0.0171	0.0048	0	0
28	0.6881	0.2267	0.0747	0	0
29	0.0537	0.0124	0.0029	0.0098	0.0026

30	0.1031	0.0275	0.0073	0	0
31	0.4276	0.1542	0.0556	0.0201	0.0072
32	0.1665	0.045	0.0122	0.0033	0.0009
33	0.2163	0.0503	0.0117	0.0027	0.0006
34	0.0721	0.0198	0.0054	0	0
35	0.289	0.101	0.0353	0.0216	0.0068
36	0.126	0.0371	0.0109	0	0
37	0.1614	0.0435	0.0117	0	0
38	0.1115	0.0265	0.0063	0.0072	0.0018
39	0.159	0.042	0.0111	0	0
40	0.5369	0.1273	0.0302	0.0072	0.0017
41	0.8371	0.2486	0.0738	0.0219	0.0065
42	0.1126	0.0283	0.0071	0.0018	0.0004
43	0.1729	0.0466	0.0125	0.0034	0.0009
44	0.683	0.1777	0.0462	0.012	0.0031
45	0.063	0.0193	0.0059	0.0018	0.0006
46	0.1244	0.0396	0.0126	0.004	0.0013
47	0.0241	0.0051	0.0011	0.0002	0
48	0.0603	0.0166	0.0046	0.0013	0.0003
49	0.0553	0.0131	0.0031	0.0007	0.0002
50	0.113	0.0398	0.014	0.0049	0.0017
51	0.2103	0.0648	0.02	0.0062	0.0019
52	0.09	0.0244	0.0066	0.0018	0.0005
53	0.068	0.019	0.0053	0.0015	0.0004
54	0.1181	0.0291	0.0072	0.0018	0.0004
55	2.9633	0.9171	0.2838	0.0878	0.0272
56	0.7371	0.2253	0.0689	0.0211	0.0064
57	0.3642	0.1051	0.0303	0.0087	0.0025
58	1.0793	0.3862	0.1382	0.0494	0.0177
59	0.9394	0.3069	0.1003	0.0328	0.0107
60	0.3105	0.0834	0.0224	0.006	0.0016
61	0.5527	0.1322	0.0316	0.0076	0.0018
62	0.1096	0.0415	0.0157	0.0059	0.0022
63	0.2017	0.0569	0.0161	0.0045	0.0013
64	0.1126	0.03	0.008	0.0021	0.0006

65	0.9998	0.3248	0.1055	0.0343	0.0111
66	0.368	0.117	0.0372	0.0118	0.0038
67	1.1428	0.3914	0.134	0.0459	0.0157
68	0.9697	0.2333	0.0561	0.0135	0.0032
69	2.5081	0.7811	0.2433	0.0758	0.0236
70	0.0317	0.0127	0.0051	0.002	0.0008
71	0.8428	0.4133	0.2027	0.0994	0.0488
72	0.4796	0.2474	0.1276	0.0658	0.034
73	0.5885	0.1799	0.055	0.0168	0.0051
74	0.609	0.2013	0.0665	0.022	0.0073
75	0.0024	0.0005	0.0001	0	0
76	0.0655	0.0161	0.004	0.001	0.0002
77	0.2727	0.0745	0.0204	0.0056	0.0015
78	1.7768	0.7395	0.3078	0.1281	0.0533
79	0.0128	0.0038	0.0011	0.0003	0.0001
80	0.0156	0.0037	0.0009	0.0002	0
81	0.3146	0.1047	0.0348	0.0116	0.0039
82	0.5492	0.1923	0.0673	0.0236	0.0083
83	0.6786	0.2136	0.0672	0.0212	0.0067
84	0.4843	0.1687	0.0588	0.0205	0.0071
85	0.1891	0.0609	0.0196	0.0063	0.002
86	2.1399	0.8438	0.3327	0.1312	0.0517
87	2.5867	0.9354	0.3383	0.1223	0.0442
88	1.2562	0.3597	0.103	0.0295	0.0085
89	0.1958	0.0499	0.0127	0.0032	0.0008
90	0.4272	0.1259	0.0371	0.0109	0.0032
91	1.2583	0.4535	0.1634	0.0589	0.0212
92	0.9455	0.3274	0.1134	0.0393	0.0136
93	0.6325	0.1994	0.0629	0.0198	0.0063
94	0.2272	0.0576	0.0146	0.0037	0.0009
95	0.4839	0.1475	0.0449	0.0137	0.0042
96	0.3501	0.1075	0.033	0.0101	0.0031
97	0.3237	0.1169	0.0422	0.0153	0.0055
98	0.1314	0.0426	0.0138	0.0045	0.0014
99	0.0272	0.0087	0.0028	0.0009	0.0003

100	0.0168	0.0055	0.0018	0.0006	0.0002
101	0.0414	0.0148	0.0053	0.0019	0.0007
102	0.0256	0.0076	0.0022	0.0007	0.0002
103	0.0193	0.0059	0.0018	0.0006	0.0002
104	0.1333	0.0416	0.013	0.0041	0.0013
105	0.075	0.0194	0.005	0.0013	0.0003
106	0.1511	0.0497	0.0164	0.0054	0.0018
107	0.0361	0.01	0.0027	0.0008	0.0002
108	0.0441	0.0147	0.0049	0.0016	0.0005
109	0.266	0.0962	0.0348	0.0126	0.0046
110	0.1776	0.0645	0.0234	0.0085	0.0031
111	0.6817	0.2348	0.0809	0.0279	0.0096
112	0.0808	0.0217	0.0058	0.0016	0.0004
113	0.4733	0.1439	0.0437	0.0133	0.004
114	0.9799	0.3014	0.0927	0.0285	0.0088
115	0.0935	0.0234	0.0059	0.0015	0.0004
116	0.1757	0.047	0.0126	0.0034	0.0009
117	0.1774	0.0555	0.0173	0.0054	0.0017
118	0.3434	0.0993	0.0287	0.0083	0.0024
119	0.4909	0.1732	0.0611	0.0216	0.0076
120	2.3247	1.14	0.5591	0.2742	0.1345
121	0.1096	0.0362	0.012	0.004	0.0013
122	0.419539	0.129298	0.039849	0	0
123	0.04819	0.012015	0.002996	0.006146	0.001629
124	0.023005	0.006374	0.001766	0	0
125	0.051306	0.0169	0.005567	0.003354	0.000978
126	0.04907	0.011928	0.002899	0	0

附錄 4 環太平洋地震帶 126 區域點位地震參數(地震矩規模小於等於 8)

環太平洋地震帶 126 區域點位地震參數(地震矩規模小於等於 8)							
規模小於等於 8 使用參數							
點位	地點	經度	緯度	深度(m)	strike	dip	slip
1	湯加海溝 & 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	15000	-84	43.88649	90
2		-176.51	-17.24	15000	-74.2543	38.72711	90
3		-176.64	-18.92	15000	-51.0241	37.08086	90
4		-177.26	-20.88	15000	-77.9875	28.44976	90
5		-177.64	-23.04	15000	77.62623	28.81268	90
6		-177.72	-24.8	15000	54.95969	32.08721	90
7		-177	-27	15000	42.22768	35.43684	90
8		-177.43	-29.14	15000	36.77013	28.5233	90
9		-178.14	-30.84	15000	34.02716	31.6	90
10		-178.67	-32.93	15000	36.27189	27.72589	90
11		-179.15	-34.78	15000	33.4214	29.09804	90
12		-179.55	-36.87	15000	22.1959	35.27778	90
13	布千維爾海溝	138.36	0.7	15000	16	67.75	90
14		137.49	-1.18	15000	-34	43.15328	90
15		144.76	-3.2	15000	-24.8266	54.12878	90
16		148.95	-5.16	15000	-13.294	38.24032	90
17		151.29	-6.67	15000	-26.9695	36.68821	90
18		156.38	-9.12	15000	-21.4182	44.56311	90
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	15000	-56	36.80597	90
20		146.35	14.93	15000	-30	34.07895	90
21		144.07	12.86	15000	-22.584	38.57009	90
22		142.27	11.35	15000	33.67052	39.00909	90
23		139.85	8.92	15000	-10.7156	45.36364	90
24		139.53	7.2	15000	-3.77473	46.125	90
25	菲律賓賓海溝	121.23	19.28	15000	30.6111	39.11475	90
26		123	16.8	15000	20.93416	42.54054	90
27		122.68	14.81	15000	25.58782	45.61538	90
28		125	12.96	15000	158.7407	39.58442	90

29		127	10.91	15000	163.035	37.47368	90
30		127	9.31	15000	176.9124	35.12821	90
31		127	6.9	15000	-68.0583	39.84444	90
32		125.99	5.12	15000	78.12844	36.55519	90
33		126.83	2.92	15000	36.56601	36.54962	90
34	琉球海溝	139.07	34.62	15000	-12	45.49444	90
35		133.4038	33.13188	15000	163.3966	73.875	90
36		131.46	31.02878	15000	47.16612	69.82927	90
37		130.3494	28.92551	15000	47.13275	69.44928	90
38		128.5244	27.13333	15000	70.37409	71.30556	90
39		126.6147	25.13265	15000	38.39664	66.35294	90
40	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	15000	-12	39.03196	90
41		139.77	33.2	15000	68.5	40.08125	90
42		140.44	30.95	15000	15.32191	31.18487	90
43		140.92	28.82	15000	-0.5113	32.40244	90
44		141.1	27.3	15000	-8.75775	35.39744	90
45		142.11	25	15000	-25.4358	44.88	90
46		143.33	22.77	15000	-50.2585	30.36508	90
47		144	21.42	15000	-44.5816	41.10959	90
48		145.88	18.82	15000	-47.4296	37.07477	90
49		146.28	17.09	15000	-44.5816	36.80597	90
50	千島海溝&日本海溝	163.74	56.28	15000	-61	58.85185	90
51		162.75	54.93	15000	-73.5	40.19444	90
52		159.48	52	15000	81.77024	31.32948	90
53		157.25	51.16	15000	61.50597	29.33333	90
54		153.9	48.86	15000	47.00168	31.25287	90
55		152.67	46.86	15000	64.74577	35.29487	90
56		149.14	44.83	15000	62.32607	30.72664	90
57		146.08	43.16	15000	61.10713	32.17284	90
58		142.49	41.11	15000	58.34534	26.43128	90
59		142.88	39.06	15000	56.87765	26.23034	90
60		141.76	36.82	15000	51.58504	25.57143	90
61		140.15	34.74	15000	46.99059	37.56593	90
62	申海	164.46	56.2	15000	-61	70.94444	90
63		165.39	55.03	15000	71	59.57143	90

64		174.49	52.68	15000	88.40403	36.23881	90
65		177.9	51	15000	85.46259	29.91176	90
66		-154.41	55	15000	49	33.66071	90
67		-161.39	54.68	15000	40.5	28.14634	90
68		-167.66	52.91	15000	50.30824	30.11858	90
69		-176.1	51.37	15000	61.13007	27.47837	90
70		-177.68	49.88	15000	61.13007	27.47837	90
71	美國西岸 與中美海溝	-141.36	55	15000	-88	70.28571	90
72		-127.41	49	15000	-55.114	40	90
73		-129.39	50.67	15000	-67.6916	75.27907	90
74		-124.91	47	15000	-50.932	75.8	90
75		-126	46.94	15000	-36.9641	50	90
76		-126	44.73	15000	-44.9768	54.69231	90
77		-126	43.01	15000	-61.8287	63.9	90
78		-126	40.72	15000	-80.8914	66.86567	90
79		-123	36.81	15000	-80.7721	59.5	90
80		-117	30.87	15000	-87.1168	56.6	90
81		-116	29.29	15000	-78.8788	71.54545	90
82		-115	27	15000	-68.8777	63.625	90
83		-109.06	24.96	15000	-85.4023	65.92	90
84		-107.33	23.29	15000	-76.9324	76.59259	90
85		-108.317	20.55	15000	-76.7153	56	90
86		-105	18.72	15000	-73.5823	54.52096	90
87		-98	15	15000	-82.6458	37.85321	90
88		-94.05	14.93	15000	86.71764	30.47511	90
89		-89.15	12.95	15000	-84.2209	31.42857	90
90		-87.12	11.15	15000	-78.5672	34.79747	90
91		-86.5	8.78	15000	-88.5435	46.68548	90
92		-83.85	7.16	15000	81.43292	69.36207	90
93		-83.9	5.08	15000	83.1608	77.48438	90
94	秘魯智利海溝	-79	7.01	15000	42	54.47945	90
95		-78.54	4.99	15000	-22.5	62.73043	90
96		-80.03	3.02	15000	53.3824	49.53226	90
97		-81.36	1.02	15000	75.42348	58.08163	90
98		-82	-1.2	15000	-67.6323	28.45902	90

99		-82	-3.08	15000	-73.4386	41.26866	90
100		-82	-5.23	15000	81.13619	33.68421	90
101		-80	-6.95	15000	51.72814	30.53333	90
102		-79	-9.07	15000	38.22244	32.85915	90
103		-78	-10.95	15000	58.62027	35.38095	90
104		-77	-13.14	15000	42.5585	31.82456	90
105		-75.76	-15.09	15000	71.84839	35.97638	90
106		-73.03	-17.12	15000	-89.4824	32.20408	90
107		-71.21	-18.95	15000	28.81873	32.14286	90
108		-70.76	-20.75	15000	13.60428	31.71429	90
109		-70.73	-23.08	15000	9.42305	22.63333	90
110		-70.9	-24.92	15000	15.02206	23.95122	90
111		-71.31	-27.2	15000	11.20131	25.83051	90
112		-71.8	-29.33	15000	-0.42917	30.86957	90
113		-71.92	-31.21	15000	-0.35287	28.37681	90
114		-71.98	-32.88	15000	-0.60149	27.64948	90
115		-72.43	-34.48	15000	-8.37442	27.325	90
116		-73.6	-36.89	15000	-7.20716	23.875	90
117		-74.34	-38.62	15000	-10.767	36.1	90
118		-83.01	-41.2	15000	-9.93414	59.13699	90
119		-81.27	-42.97	15000	-2.85874	49.43243	90
120		-77.75	-45.13	15000	-2.27616	64.89231	90
121	夏威夷	-155.5	19.16	15000	42.5	21.875	90
122	馬尼拉海溝	120.7568	20.9668	15000	-10.0829	39.89333	90
123		120.8642	19.27471	15000	22.9525	34.9902	90
124		120.4388	16.89667	15000	11.99269	41.54902	90
125		119.9961	15.06286	15000	-0.46894	40.46429	90
126		120.6027	13.47519	15000	0.599891	39.96104	90

附錄 5 環太平洋地震帶 126 區域點位地震參數(地震矩規模大於 8)

環太平洋地震帶 126 區域點位地震參數(地震矩規模大於 8)							
規模大於 8 使用參數,因已知無如此大破裂面							
	地點	經度	緯度	深度(m)	strike	dip	slip
1	湯加海溝 & 克瑪迪克海溝	-174.54	-15.32	15000	-84	43.88649	90
2		-176.51	-17.24	15000	-74.2543	38.72711	90
3		-176.64	-18.92	15000	-51.0241	37.08086	90
4		-177.26	-20.88	15000	-77.9875	28.44976	90
5		-177.64	-23.04	15000	77.62623	28.81268	90
6		-177.72	-24.8	15000	54.95969	32.08721	90
7		-177	-27	15000	42.22768	35.43684	90
8		-177.43	-29.14	15000	36.77013	28.5233	90
9		-178.14	-30.84	15000	34.02716	31.6	90
10		-178.67	-32.93	15000	36.27189	27.72589	90
11		-179.15	-34.78	15000	33.4214	29.09804	90
12		-179.55	-36.87	15000	22.1959	35.27778	90
13	布干維爾海溝	138.36	0.7	15000	16	67.75	90
14		137.49	-1.18	15000	-34	43.15328	90
15		144.76	-3.2	15000	-24.8266	54.12878	90
16		148.95	-5.16	15000	-13.294	38.24032	90
17		151.29	-6.67	15000	-26.9695	36.68821	90
18		156.38	-9.12	15000	-21.4182	44.56311	90
19	馬里亞納海溝	146.28	17.08	15000	-56	36.80597	90
20		146.35	14.93	15000	-30	34.07895	90
21		144.07	12.86	15000	-22.584	38.57009	90
22		142.27	11.35	15000	33.67052	39.00909	90
23		139.85	8.92	15000	-10.7156	45.36364	90
24		139.53	7.2	15000	-3.77473	46.125	90
	菲律賓海溝						
25		123	16.8	15000	6.137199	40.36806	90

26		127	10.91	15000	165.5459	37.58696	90
27		127	6.9	15000	-68.0583	39.84444	90
28		125.99	5.12	15000	78.12844	36.55519	90
29		126.83	2.92	15000	36.56601	36.54962	90
30	琉球海溝	134.2388	32.95372	15000	77.60519	73.19008	90
31		128.8532	27.57966	15000	52.24941	69.8255	90
32	伊豆小笠原海溝	139.95	34.71	15000	-12	39.03196	90
33		139.77	33.2	15000	68.5	40.08125	90
34		140.44	30.95	15000	15.32191	31.18487	90
35		140.92	28.82	15000	-0.5113	32.40244	90
36		141.1	27.3	15000	-8.75775	35.39744	90
37		142.11	25	15000	-25.4358	44.88	90
38		143.33	22.77	15000	-50.2585	30.36508	90
39		144	21.42	15000	-44.5816	41.10959	90
40		145.88	18.82	15000	-47.4296	37.07477	90
41		146.28	17.09	15000	-44.5816	36.80597	90
42	千島海溝 日本海溝	163.74	56.28	15000	-61	58.85185	90
43		162.75	54.93	15000	-73.5	40.19444	90
44		159.48	52	15000	81.77024	31.32948	90
45		157.25	51.16	15000	61.50597	29.33333	90
46		153.9	48.86	15000	47.00168	31.25287	90
47		152.67	46.86	15000	64.74577	35.29487	90
48		149.14	44.83	15000	62.32607	30.72664	90
49		146.08	43.16	15000	61.10713	32.17284	90
50		142.49	41.11	15000	58.34534	26.43128	90
51		142.88	39.06	15000	56.87765	26.23034	90
52		141.76	36.82	15000	51.58504	25.57143	90
53		140.15	34.74	15000	46.99059	37.56593	90
54	溝 申 阿 海 留	164.46	56.2	15000	-61	70.94444	90
55		165.39	55.03	15000	71	59.57143	90

56		174.49	52.68	15000	88.40403	36.23881	90
57		177.9	51	15000	85.46259	29.91176	90
58		-154.41	55	15000	49	33.66071	90
59		-161.39	54.68	15000	40.5	28.14634	90
60		-167.66	52.91	15000	50.30824	30.11858	90
61		-176.1	51.37	15000	61.13007	27.47837	90
62		-177.68	49.88	15000	61.13007	27.47837	90
63	美國西岸 與中美海溝	-141.36	55	15000	-88	70.28571	90
64		-127.41	49	15000	-55.114	40	90
65		-129.39	50.67	15000	-67.6916	75.27907	90
66		-124.91	47	15000	-50.932	75.8	90
67		-126	46.94	15000	-36.9641	50	90
68		-126	44.73	15000	-44.9768	54.69231	90
69		-126	43.01	15000	-61.8287	63.9	90
70		-126	40.72	15000	-80.8914	66.86567	90
71		-123	36.81	15000	-80.7721	59.5	90
72		-117	30.87	15000	-87.1168	56.6	90
73		-116	29.29	15000	-78.8788	71.54545	90
74		-115	27	15000	-68.8777	63.625	90
75		-109.06	24.96	15000	-85.4023	65.92	90
76		-107.33	23.29	15000	-76.9324	76.59259	90
77		-108.317	20.55	15000	-76.7153	56	90
78		-105	18.72	15000	-73.5823	54.52096	90
79		-98	15	15000	-82.6458	37.85321	90
80		-94.05	14.93	15000	86.71764	30.47511	90
81		-89.15	12.95	15000	-84.2209	31.42857	90
82		-87.12	11.15	15000	-78.5672	34.79747	90
83		-86.5	8.78	15000	-88.5435	46.68548	90
84		-83.85	7.16	15000	81.43292	69.36207	90
85		-83.9	5.08	15000	83.1608	77.48438	90
86	秘魯 智利海溝	-79	7.01	15000	42	54.47945	90
87		-78.54	4.99	15000	-22.5	62.73043	90
88		-80.03	3.02	15000	53.3824	49.53226	90
89		-81.36	1.02	15000	75.42348	58.08163	90
90		-82	-1.2	15000	-67.6323	28.45902	90

91		-82	-3.08	15000	-73.4386	41.26866	90
92		-82	-5.23	15000	81.13619	33.68421	90
93		-80	-6.95	15000	51.72814	30.53333	90
94		-79	-9.07	15000	38.22244	32.85915	90
95		-78	-10.95	15000	58.62027	35.38095	90
96		-77	-13.14	15000	42.5585	31.82456	90
97		-75.76	-15.09	15000	71.84839	35.97638	90
98		-73.03	-17.12	15000	-89.4824	32.20408	90
99		-71.21	-18.95	15000	28.81873	32.14286	90
100		-70.76	-20.75	15000	13.60428	31.71429	90
101		-70.73	-23.08	15000	9.42305	22.63333	90
102		-70.9	-24.92	15000	15.02206	23.95122	90
103		-71.31	-27.2	15000	11.20131	25.83051	90
104		-71.8	-29.33	15000	-0.42917	30.86957	90
105		-71.92	-31.21	15000	-0.35287	28.37681	90
106		-71.98	-32.88	15000	-0.60149	27.64948	90
107		-72.43	-34.48	15000	-8.37442	27.325	90
108		-73.6	-36.89	15000	-7.20716	23.875	90
109		-74.34	-38.62	15000	-10.767	36.1	90
110		-83.01	-41.2	15000	-9.93414	59.13699	90
111		-81.27	-42.97	15000	-2.85874	49.43243	90
112		-77.75	-45.13	15000	-2.27616	64.89231	90
113	夏威夷	-155.5	19.16	15000	42.5	21.875	90
	馬尼拉海溝						
114		120.7337	19.29939	15000	15.72075	38.07018	90
115		120.3473	14.14368	15000	-7.46601	40.17293	90

附錄 6 台北港各點位不同震度地震海嘯最大波高

台北港各點位不同震度地震海嘯最大波高(m)					
震度/點位	7	7.5	8	8.5	9
1	7.30E-04	0.004072	0.018431	0.089076	0.232308
2	4.88E-04	0.002552	0.011976	0.052987	0.248575
3	4.19E-04	0.002267	0.012118	0.061874	0.172226
4	7.58E-04	0.003814	0.014377	0.044732	0.213166
5	6.34E-04	0.003047	0.012044	0.054347	0.210806
6	6.71E-04	0.003648	0.017046	0.079809	0.22339
7	6.49E-04	0.003439	0.014994	0.042947	0.201866
8	3.86E-04	0.002064	0.009557	0.04945	0.210016
9	6.11E-04	0.003165	0.015143	0.05853	0.193268
10	3.82E-04	0.002108	0.010344	0.044474	0.182419
11	2.72E-04	0.001432	0.007263	0.0315	0.119618
12	2.75E-04	0.001343	0.005677	0.016451	0.068242
13	0.002593	0.014055	0.067947	0.213675	0.83222
14	0.003687	0.012213	0.049765	0.154807	0.459964
15	0.002403	0.010648	0.039016	0.198851	0.535803
16	0.002435	0.011005	0.034614	0.113743	0.479311
17	5.01E-04	0.002791	0.015624	0.056124	0.365266
18	2.03E-04	0.001047	0.004589	0.025996	0.118282
19	0.003843	0.019234	0.081574	0.205486	0.74676
20	0.003014	0.014483	0.054798	0.167476	0.531399
21	0.004471	0.02327	0.092146	0.263162	0.833394
22	0.003572	0.020486	0.121889	0.568939	1.857522
23	0.002764	0.01399	0.092316	0.288922	1.046718
24	0.006383	0.029709	0.102683	0.373675	0.576432
25	0.014143	0.057556	0.236137		
26	0.005963	0.02945	0.106822	0.485019	1.339632
27	0.003891	0.014986	0.063168		
28	0.008858	0.040373	0.127102		
29	0.005477	0.026068	0.100515	0.343517	1.247455
30	0.00371	0.023766	0.122465		
31	0.00283	0.015421	0.076372	0.349192	1.374715

32	0.002511	0.012387	0.061552	0.29076	1.07852
33	0.002857	0.013311	0.060333	0.278452	0.544668
34	0.004715	0.022388	0.093544		
35	0.00427	0.01632	0.049797	0.31192	1.381158
36	0.002756	0.016349	0.093669		
37	0.002338	0.017307	0.140585		
38	0.006136	0.032583	0.193821	1.00403	1.670047
39	0.017392	0.077486	0.289131		
40	0.002633	0.014795	0.064758	0.260428	0.684584
41	0.003926	0.020226	0.08378	0.29331	0.768819
42	0.002563	0.012908	0.060579	0.240097	0.615692
43	0.002947	0.015199	0.074	0.421458	2.315475
44	0.003236	0.017869	0.104253	0.614795	3.187826
45	0.003406	0.017509	0.08927	0.503611	2.501838
46	0.002059	0.010975	0.053254	0.255525	0.704546
47	0.002549	0.013616	0.06018	0.233106	0.867786
48	0.004371	0.023193	0.10906	0.240042	0.504809
49	0.003891	0.020009	0.087143	0.157998	0.563954
50	4.36E-04	0.001733	0.007588	0.027863	0.200186
51	5.35E-04	0.002698	0.013517	0.060023	0.294917
52	6.22E-04	0.003439	0.01435	0.065132	0.243883
53	0.001348	0.005944	0.023819	0.075992	0.344516
54	5.71E-04	0.002622	0.017983	0.068688	0.258598
55	9.23E-04	0.004828	0.023515	0.123854	0.525653
56	0.001561	0.006983	0.024676	0.11499	0.46322
57	0.001011	0.005366	0.027203	0.137142	0.6143
58	8.86E-04	0.004569	0.022775	0.083634	0.371332
59	0.001066	0.005655	0.027583	0.138449	0.578948
60	0.001433	0.007767	0.042165	0.216831	0.957578
61	0.002865	0.015479	0.08096	0.364302	1.100973
62	3.85E-04	0.001853	0.008376	0.046365	0.261753
63	9.19E-04	0.004906	0.020679	0.061472	0.241581
64	8.86E-04	0.003737	0.013586	0.067495	0.32818
65	8.65E-04	0.004258	0.017563	0.073076	0.209189
66	2.92E-04	0.001486	0.006861	0.033975	0.120359

67	4.46E-04	0.001906	0.004821	0.012638	0.107931
68	7.88E-04	0.003469	0.011741	0.044908	0.129862
69	9.73E-04	0.004512	0.012618	0.054691	0.141913
70	0.00108	0.005415	0.017544	0.046637	0.214653
71	4.57E-04	0.002081	0.008593	0.034152	0.11535
72	8.95E-04	0.004899	0.019685	0.058036	0.166701
73	7.30E-04	0.00282	0.009535	0.045919	0.180893
74	6.30E-04	0.00299	0.014478	0.060802	0.099744
75	0.001081	0.005482	0.02873	0.097735	0.175912
76	9.41E-04	0.004739	0.019015	0.056785	0.258964
77	4.97E-04	0.002535	0.015385	0.119569	0.407829
78	6.90E-04	0.003169	0.015991	0.096095	0.357926
79	5.17E-04	0.002925	0.015129	0.05252	0.16538
80	6.12E-04	0.003536	0.020031	0.051741	0.106796
81	5.21E-04	0.00272	0.013153	0.054045	0.097841
82	5.16E-04	0.002448	0.012656	0.064593	0.230303
83	1.06E-04	5.93E-04	0.003103	0.012465	0.053382
84	2.07E-04	9.75E-04	0.004876	0.022679	0.089921
85	3.78E-04	0.001846	0.008468	0.031868	0.114459
86	6.50E-04	0.003489	0.017811	0.076452	0.19902
87	7.42E-04	0.003782	0.019645	0.102513	0.185148
88	4.67E-04	0.002832	0.021206	0.063491	0.168053
89	9.84E-04	0.004279	0.014279	0.028643	0.124194
90	4.21E-04	0.00231	0.013359	0.031338	0.10187
91	4.93E-04	0.002496	0.012477	0.063747	0.112807
92	4.00E-04	0.002136	0.008164	0.039277	0.157659
93	2.37E-04	0.001383	0.004847	0.024747	0.111884
94	2.58E-04	0.001247	0.005572	0.023583	0.10629
95	3.74E-04	0.002135	0.01168	0.063938	0.235899
96	4.35E-04	0.002196	0.009788	0.051224	0.115941
97	3.99E-04	0.00192	0.0102	0.044279	0.110031
98	5.08E-04	0.002363	0.011501	0.044036	0.106288
99	6.72E-04	0.003439	0.018156	0.063655	0.16467
100	3.00E-04	0.001615	0.010934	0.037941	0.099513
101	7.33E-04	0.002818	0.011786	0.037627	0.125313

102	9.71E-04	0.004213	0.015593	0.037749	0.1359
103	8.96E-04	0.004248	0.014173	0.037659	0.107069
104	4.84E-04	0.002584	0.013246	0.044131	0.14679
105	7.12E-04	0.003567	0.01282	0.046908	0.16882
106	5.89E-04	0.003556	0.022192	0.099697	0.318506
107	8.96E-04	0.00508	0.033889	0.166605	0.425315
108	5.77E-04	0.003469	0.022029	0.13154	0.503356
109	8.36E-04	0.004901	0.024706	0.119642	0.492318
110	8.13E-04	0.004902	0.025242	0.113542	0.433233
111	9.94E-04	0.006139	0.03725	0.17964	0.652956
112	0.001539	0.009322	0.055211	0.229911	0.841824
113	0.002288	0.012797	0.059158	0.288922	1.106793
114	0.002166	0.014041	0.0834	0.349312	0.898127
115	0.001912	0.011578	0.057688	0.21608	0.945826
116	0.001806	0.007994	0.030733	0.078672	0.201626
117	0.001599	0.009318	0.049065	0.185908	0.482654
118	8.39E-04	0.004644	0.026002	0.137882	0.627232
119	0.001159	0.00621	0.031538	0.163448	0.792263
120	6.38E-04	0.003871	0.023459	0.139753	0.729472
121	1.41E-04	0.001253	0.009062	0.046506	0.259612
122	0.015428	0.067702	0.310272		
123	0.010798	0.053041	0.20623	0.609265	1.630327
124	0.003076	0.00811	0.016551		
125	0.006509	0.021048	0.060518	0.14418	0.637543
126	0.002282	0.014909	0.050397		

附錄 7 台北港各點位不同震度地震海嘯最大波高對應溢淹機 率

台北港各點位不同震度地震海嘯最大波高對應溢淹機率(%)					
震度/點位	7	7.5	8	8.5	9
1	0.00%	0.00%	0.03%	0.23%	0.65%
2	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%	0.68%
3	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.48%
4	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.59%
5	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%	0.59%
6	0.00%	0.00%	0.03%	0.20%	0.62%
7	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.56%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	0.59%
9	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%	0.54%
10	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.51%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.31%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%
13	0.00%	0.03%	0.17%	0.59%	13.99%
14	0.00%	0.03%	0.11%	0.42%	1.27%
15	0.00%	0.03%	0.08%	0.54%	2.55%
16	0.00%	0.03%	0.08%	0.31%	1.33%
17	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%	1.02%
18	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.31%
19	0.00%	0.03%	0.23%	0.56%	10.56%
20	0.00%	0.03%	0.14%	0.45%	2.55%
21	0.00%	0.06%	0.25%	0.73%	13.99%
22	0.00%	0.06%	0.34%	3.70%	39.66%
23	0.00%	0.03%	0.25%	0.79%	21.37%
24	0.00%	0.06%	0.28%	1.04%	4.08%
25	0.03%	0.14%	0.65%	NaN	NaN
26	0.00%	0.06%	0.28%	1.35%	27.92%
27	0.00%	0.03%	0.17%	NaN	NaN
28	0.00%	0.11%	0.34%	NaN	NaN
29	0.00%	0.06%	0.28%	0.96%	25.89%

30	0.00%	0.06%	0.34%	NaN	NaN
31	0.00%	0.03%	0.20%	0.96%	28.82%
32	0.00%	0.03%	0.17%	0.82%	22.05%
33	0.00%	0.03%	0.17%	0.76%	2.93%
34	0.00%	0.06%	0.25%	NaN	NaN
35	0.00%	0.03%	0.11%	0.87%	29.05%
36	0.00%	0.03%	0.25%	NaN	NaN
37	0.00%	0.03%	0.39%	NaN	NaN
38	0.00%	0.08%	0.54%	20.47%	35.60%
39	0.03%	0.20%	0.79%	NaN	NaN
40	0.00%	0.03%	0.17%	0.73%	8.27%
41	0.00%	0.06%	0.23%	0.82%	11.32%
42	0.00%	0.03%	0.17%	0.68%	5.60%
43	0.00%	0.03%	0.20%	1.18%	49.08%
44	0.00%	0.03%	0.28%	5.60%	65.49%
45	0.00%	0.03%	0.23%	1.41%	52.78%
46	0.00%	0.03%	0.14%	0.71%	9.03%
47	0.00%	0.03%	0.17%	0.65%	15.13%
48	0.00%	0.06%	0.28%	0.68%	1.41%
49	0.00%	0.06%	0.23%	0.42%	3.70%
50	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.56%
51	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.82%
52	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.68%
53	0.00%	0.00%	0.06%	0.20%	0.96%
54	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.71%
55	0.00%	0.00%	0.06%	0.34%	2.17%
56	0.00%	0.00%	0.06%	0.31%	1.30%
57	0.00%	0.00%	0.06%	0.37%	5.60%
58	0.00%	0.00%	0.06%	0.23%	1.04%
59	0.00%	0.00%	0.06%	0.37%	4.08%
60	0.00%	0.00%	0.11%	0.59%	18.56%
61	0.00%	0.03%	0.23%	1.02%	22.73%
62	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	0.73%
63	0.00%	0.00%	0.06%	0.17%	0.68%
64	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.90%

65	0.00%	0.00%	0.03%	0.20%	0.56%
66	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.34%
67	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.28%
68	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.34%
69	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%	0.39%
70	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.59%
71	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.31%
72	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%	0.45%
73	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	0.51%
74	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.25%
75	0.00%	0.00%	0.06%	0.25%	0.48%
76	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%	0.71%
77	0.00%	0.00%	0.03%	0.31%	1.13%
78	0.00%	0.00%	0.03%	0.25%	0.99%
79	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%	0.45%
80	0.00%	0.00%	0.06%	0.14%	0.28%
81	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%	0.25%
82	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.65%
83	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.14%
84	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.23%
85	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.31%
86	0.00%	0.00%	0.03%	0.20%	0.54%
87	0.00%	0.00%	0.03%	0.28%	0.51%
88	0.00%	0.00%	0.06%	0.17%	0.45%
89	0.00%	0.00%	0.03%	0.06%	0.34%
90	0.00%	0.00%	0.03%	0.08%	0.28%
91	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.31%
92	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.42%
93	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.31%
94	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.28%
95	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.65%
96	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%	0.31%
97	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.31%
98	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.28%
99	0.00%	0.00%	0.03%	0.17%	0.45%

100	0.00%	0.00%	0.03%	0.08%	0.25%
101	0.00%	0.00%	0.03%	0.08%	0.34%
102	0.00%	0.00%	0.03%	0.08%	0.37%
103	0.00%	0.00%	0.03%	0.08%	0.28%
104	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.39%
105	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.45%
106	0.00%	0.00%	0.06%	0.25%	0.87%
107	0.00%	0.00%	0.08%	0.45%	1.18%
108	0.00%	0.00%	0.06%	0.37%	1.41%
109	0.00%	0.00%	0.06%	0.31%	1.38%
110	0.00%	0.00%	0.06%	0.31%	1.21%
111	0.00%	0.00%	0.08%	0.48%	7.13%
112	0.00%	0.00%	0.14%	0.62%	14.37%
113	0.00%	0.03%	0.14%	0.79%	22.73%
114	0.00%	0.03%	0.23%	0.96%	16.28%
115	0.00%	0.03%	0.14%	0.59%	18.18%
116	0.00%	0.00%	0.08%	0.20%	0.56%
117	0.00%	0.00%	0.11%	0.51%	1.35%
118	0.00%	0.00%	0.06%	0.37%	5.98%
119	0.00%	0.00%	0.08%	0.45%	12.46%
120	0.00%	0.00%	0.06%	0.37%	9.80%
121	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	0.71%
122	0.03%	0.17%	0.87%	NaN	NaN
123	0.03%	0.14%	0.56%	5.22%	34.70%
124	0.00%	0.00%	0.03%	NaN	NaN
125	0.00%	0.06%	0.17%	0.39%	6.37%
126	0.00%	0.03%	0.14%	NaN	NaN

附錄 8 台北港各點位 50 年不同震度海嘯地震且溢淹機率

台北港各點位 50 年不同震度海嘯地震且溢淹機率					
點位/震度	7	7.5	8	8.5	9
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.24%
14	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
16	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
17	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
18	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
19	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
20	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
21	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
22	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
24	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
25	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%
26	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
27	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
28	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
29	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
30	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
31	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.11%

32	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
33	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
34	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.10%
36	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
37	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
38	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.03%
39	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
40	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
41	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.04%
42	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
43	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
44	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.10%
45	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
46	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
47	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
48	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
49	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
51	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
52	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
53	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
54	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.03%
56	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
57	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
58	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
59	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
60	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
61	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
62	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
63	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
64	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
66	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

67	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
68	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
69	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
71	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
72	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
73	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
74	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
76	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
77	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
78	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.03%
79	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
81	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
82	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
83	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
84	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
85	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
86	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
87	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%
88	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
89	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
91	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
92	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
93	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
94	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
96	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
97	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
98	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
99	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
100	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
101	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

102	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
103	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
104	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
105	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
106	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
107	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
108	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
109	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
110	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
111	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%
112	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
113	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.05%
114	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.07%
115	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
116	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
117	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
118	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
119	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
120	0.00%	0.00%	0.02%	0.05%	0.71%
121	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
122	0.01%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%
123	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.03%
124	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
125	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
126	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
總和	2.79%				

附錄 9 台北港各點位 100 年不同震度海嘯地震且溢淹機率

台北港各點位 100 年不同震度海嘯地震且溢淹機率					
點位/震度	7	7.5	8	8.5	9
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.49%
14	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%
15	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%
16	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
17	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
18	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
19	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
20	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
21	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.02%
22	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%
23	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.08%
24	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
25	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
26	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.05%
27	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
28	0.00%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%
29	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.07%
30	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
31	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.21%

32	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
33	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
34	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.20%
36	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
37	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
38	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	0.07%
39	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
40	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
41	0.00%	0.01%	0.02%	0.02%	0.07%
42	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
43	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
44	0.00%	0.01%	0.01%	0.07%	0.21%
45	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
46	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
47	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
48	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
49	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
51	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
52	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
53	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
54	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55	0.00%	0.00%	0.02%	0.03%	0.06%
56	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
57	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
58	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%
59	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.04%
60	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
61	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.04%
62	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
63	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
64	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
66	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

67	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
68	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
69	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
71	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
72	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
73	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
74	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
76	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
77	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
78	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.05%
79	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
81	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
82	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
83	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
84	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
85	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
86	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.03%
87	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.02%
88	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%
89	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
91	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
92	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
93	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
94	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
96	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
97	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
98	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
99	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
100	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
101	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

102	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
103	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
104	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
105	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
106	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
107	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
108	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
109	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
110	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
111	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.07%
112	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
113	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.09%
114	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.14%
115	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
116	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
117	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
118	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
119	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.10%
120	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	1.42%
121	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
122	0.01%	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%
123	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.06%
124	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
125	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
126	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
總和	5.59%				

附錄 10 基隆港各點位不同震度地震海嘯最大波高

基隆港各點位不同震度地震海嘯最大波高(m)					
震度/點位	7	7.5	8	8.5	9
1	1.53E-03	0.007609	0.036109	0.155699	0.340803
2	1.76E-03	0.008922	0.036624	0.092007	0.260587
3	1.41E-03	0.006977	0.026048	0.066027	0.272978
4	1.38E-03	0.007238	0.030446	0.072819	0.311866
5	1.41E-03	0.006661	0.025292	0.086915	0.291124
6	1.67E-03	0.008031	0.035063	0.149612	0.315705
7	1.34E-03	0.007022	0.0296	0.110333	0.564592
8	1.33E-03	0.005071	0.026195	0.127998	0.582282
9	1.34E-03	0.007227	0.03399	0.134592	0.551415
10	7.24E-04	0.003926	0.022015	0.097726	0.392987
11	8.11E-04	0.004123	0.017008	0.058463	0.220619
12	6.41E-04	0.002902	0.013418	0.038662	0.130425
13	0.005468	0.029735	0.144393	0.518233	1.523515
14	0.008681	0.032096	0.110796	0.297667	0.894126
15	0.0058	0.025366	0.093029	0.319775	1.46264
16	0.004907	0.021256	0.074559	0.188805	1.193074
17	8.96E-04	0.004872	0.026634	0.097442	0.759922
18	4.63E-04	0.002372	0.011353	0.041335	0.198778
19	0.01198	0.054514	0.184026	0.433683	1.246896
20	0.006965	0.034291	0.15896	0.423065	1.158462
21	0.011306	0.053865	0.176337	0.741771	1.959692
22	0.008901	0.048921	0.294845	1.480264	4.553208
23	0.006506	0.031837	0.134252	0.578104	2.198897
24	0.01509	0.069627	0.281926	0.977679	1.643227
25	0.032999	0.132084	0.408741		
26	0.015121	0.07699	0.295468	0.911688	3.182193
27	0.005103	0.019256	0.095801		
28	0.016188	0.074492	0.243716		
29	0.012107	0.060737	0.25817	0.656396	2.340618
30	0.006734	0.039554	0.222237		
31	0.005511	0.027686	0.156061	0.748013	3.100363

32	0.00657	0.029109	0.12582	0.515405	2.105888
33	0.007539	0.03595	0.119408	0.455296	1.027927
34	0.007024	0.03365	0.136519		
35	0.006347	0.024603	0.081847	0.540492	2.039391
36	0.010124	0.048896	0.155119		
37	0.007255	0.041197	0.241702		
38	0.023831	0.125641	0.539065	1.68536	2.943586
39	0.052018	0.208684	0.8645		
40	0.00545	0.022101	0.100633	0.411313	1.138522
41	0.00933	0.036717	0.170736	0.618915	1.433495
42	0.007347	0.02892	0.125408	0.423591	1.036996
43	0.009477	0.043314	0.162345	0.697464	3.695063
44	0.009851	0.049338	0.226744	1.087405	5.831705
45	0.009949	0.051235	0.236762	1.091091	4.575359
46	0.008028	0.038794	0.152028	0.467861	0.998171
47	0.007021	0.035079	0.12641	0.413973	1.390166
48	0.008982	0.034703	0.138768	0.444678	1.030312
49	0.012225	0.050028	0.171088	0.425003	1.402603
50	1.23E-03	0.005318	0.017032	0.05334	0.292178
51	1.58E-03	0.006474	0.021813	0.074313	0.497778
52	1.45E-03	0.007602	0.030829	0.132803	0.429005
53	0.00208	0.007822	0.034087	0.092519	0.534488
54	1.50E-03	0.005545	0.035081	0.128192	0.302758
55	2.06E-03	0.010493	0.051004	0.242641	0.885561
56	0.003127	0.012917	0.053455	0.230932	0.761139
57	0.003355	0.016185	0.068755	0.270469	0.936167
58	1.57E-03	0.007938	0.046014	0.191092	0.784831
59	0.002427	0.011776	0.054553	0.253795	1.013498
60	0.003575	0.018654	0.087385	0.405724	1.527292
61	0.004727	0.024938	0.142167	0.694933	2.057624
62	1.04E-03	0.005021	0.015791	0.081036	0.398423
63	2.51E-03	0.012593	0.04028	0.084805	0.441779
64	2.37E-03	0.009419	0.036764	0.138816	0.585798
65	2.83E-03	0.011599	0.043701	0.147388	0.371247
66	7.34E-04	0.003588	0.010988	0.056397	0.176893

67	8.10E-04	0.00302	0.006755	0.034997	0.173229
68	1.52E-03	0.006092	0.017993	0.069157	0.173547
69	1.70E-03	0.007462	0.022617	0.082764	0.242262
70	0.002183	0.010562	0.036379	0.109519	0.297882
71	1.25E-03	0.005538	0.015097	0.064206	0.165532
72	2.03E-03	0.010343	0.03466	0.102956	0.319122
73	2.02E-03	0.008296	0.02257	0.080645	0.330318
74	1.66E-03	0.00732	0.032717	0.106976	0.163913
75	0.001616	0.007941	0.039706	0.134927	0.252764
76	1.72E-03	0.008595	0.03512	0.122727	0.484948
77	1.37E-03	0.00703	0.030433	0.170767	0.542591
78	3.63E-03	0.012834	0.038459	0.135758	0.555474
79	9.60E-04	0.004133	0.019436	0.069904	0.234777
80	1.19E-03	0.006351	0.03368	0.083812	0.208208
81	1.09E-03	0.005658	0.024435	0.088944	0.194896
82	1.22E-03	0.006594	0.034138	0.078381	0.343168
83	2.53E-04	1.13E-03	0.00477	0.017308	0.061979
84	6.56E-04	3.25E-03	0.011522	0.039061	0.128118
85	1.00E-03	0.004636	0.017553	0.049748	0.192944
86	9.34E-04	0.004792	0.024168	0.102322	0.2593
87	1.22E-03	0.006078	0.029217	0.146248	0.249645
88	7.48E-04	0.004351	0.032296	0.098857	0.228681
89	1.42E-03	0.005665	0.01929	0.043876	0.177056
90	8.61E-04	0.004215	0.017391	0.052117	0.141443
91	1.33E-03	0.006279	0.02557	0.087337	0.177669
92	1.05E-03	0.004849	0.020935	0.068121	0.25832
93	4.71E-04	0.002445	0.010888	0.046494	0.166589
94	5.74E-04	0.002507	0.007443	0.033978	0.183981
95	8.27E-04	0.004406	0.020104	0.100276	0.350192
96	9.72E-04	0.005071	0.019201	0.078048	0.252428
97	1.14E-03	0.005328	0.018574	0.071129	0.198688
98	2.00E-03	0.009528	0.034952	0.074748	0.131973
99	1.23E-03	0.005287	0.025314	0.086918	0.261915
100	7.60E-04	0.0036	0.016976	0.054731	0.119796
101	1.08E-03	0.003864	0.01585	0.050955	0.158491

102	1.51E-03	0.006781	0.023651	0.057544	0.215541
103	1.35E-03	0.005806	0.019766	0.051798	0.16402
104	1.25E-03	0.004657	0.018312	0.055369	0.165103
105	1.08E-03	0.005226	0.020307	0.072724	0.242865
106	8.28E-04	0.004697	0.029167	0.12272	0.428644
107	1.22E-03	0.007418	0.041584	0.204586	0.681857
108	9.57E-04	0.007012	0.041831	0.189238	0.719997
109	1.42E-03	0.007566	0.045168	0.207821	0.706259
110	1.29E-03	0.008653	0.045611	0.212137	0.655915
111	1.55E-03	0.009697	0.058209	0.269276	0.947846
112	0.002549	0.01525	0.084249	0.344606	1.165721
113	0.003423	0.018697	0.084887	0.40214	1.45086
114	0.003664	0.019789	0.119243	0.499319	1.258583
115	0.002685	0.015824	0.08434	0.319627	1.25522
116	0.006626	0.027169	0.093527	0.267429	0.797148
117	0.002866	0.016506	0.081966	0.298937	0.981408
118	2.18E-03	0.012288	0.069087	0.364307	1.585816
119	0.002686	0.014499	0.077171	0.416532	2.018416
120	1.47E-03	0.008197	0.045161	0.249601	1.308125
121	3.53E-04	0.002513	0.020916	0.074495	0.420479
122	0.050801	0.246261	0.964508		
123	0.019723	0.108427	0.409366	1.163167	3.27263
124	0.005992	0.015411	0.032219		
125	0.010869	0.040511	0.120313	0.248661	1.162734
126	0.003612	0.017964	0.073558		

附錄 11 基隆港各點位不同震度地震海嘯最大波高對應溢淹機 率

基隆港各點位不同震度地震海嘯最大波高對應溢淹機率(%)					
震度/點位	7	7.5	8	8.5	9
1	0.00%	0.00%	0.06%	0.29%	0.66%
2	0.00%	0.00%	0.06%	0.17%	0.50%
3	0.00%	0.00%	0.04%	0.12%	0.52%
4	0.00%	0.00%	0.06%	0.14%	0.60%
5	0.00%	0.00%	0.04%	0.16%	0.56%
6	0.00%	0.00%	0.06%	0.27%	0.60%
7	0.00%	0.00%	0.04%	0.21%	1.30%
8	0.00%	0.00%	0.04%	0.23%	1.42%
9	0.00%	0.00%	0.06%	0.25%	1.25%
10	0.00%	0.00%	0.04%	0.17%	0.76%
11	0.00%	0.00%	0.02%	0.10%	0.43%
12	0.00%	0.00%	0.02%	0.06%	0.25%
13	0.00%	0.04%	0.27%	1.03%	11.64%
14	0.00%	0.06%	0.21%	0.56%	3.15%
15	0.00%	0.04%	0.17%	0.60%	10.73%
16	0.00%	0.04%	0.14%	0.35%	6.64%
17	0.00%	0.00%	0.04%	0.17%	2.37%
18	0.00%	0.00%	0.02%	0.08%	0.37%
19	0.02%	0.10%	0.35%	0.83%	7.40%
20	0.00%	0.06%	0.29%	0.81%	6.03%
21	0.02%	0.10%	0.33%	2.31%	18.15%
22	0.00%	0.08%	0.56%	11.03%	66.42%
23	0.00%	0.06%	0.25%	1.36%	24.24%
24	0.02%	0.12%	0.54%	3.59%	13.46%
25	0.06%	0.25%	0.78%	NaN	NaN
26	0.02%	0.14%	0.56%	3.26%	49.71%
27	0.00%	0.02%	0.17%	NaN	NaN
28	0.02%	0.14%	0.47%	NaN	NaN
29	0.02%	0.12%	0.49%	1.81%	28.45%

30	0.00%	0.06%	0.43%	NaN	NaN
31	0.00%	0.04%	0.29%	2.31%	48.49%
32	0.00%	0.04%	0.23%	1.03%	21.72%
33	0.00%	0.06%	0.21%	0.87%	4.06%
34	0.00%	0.06%	0.25%	NaN	NaN
35	0.00%	0.04%	0.16%	1.19%	19.75%
36	0.02%	0.08%	0.29%	NaN	NaN
37	0.00%	0.08%	0.47%	NaN	NaN
38	0.04%	0.23%	1.14%	14.06%	45.28%
39	0.10%	0.39%	2.98%	NaN	NaN
40	0.00%	0.04%	0.19%	0.80%	5.73%
41	0.00%	0.06%	0.33%	1.58%	10.27%
42	0.00%	0.04%	0.23%	0.81%	4.21%
43	0.00%	0.08%	0.31%	2.03%	57.48%
44	0.00%	0.08%	0.43%	4.97%	76.21%
45	0.00%	0.10%	0.45%	5.12%	66.57%
46	0.00%	0.06%	0.29%	0.89%	3.70%
47	0.00%	0.06%	0.23%	0.80%	9.67%
48	0.00%	0.06%	0.25%	0.85%	4.21%
49	0.02%	0.10%	0.33%	0.81%	9.82%
50	0.00%	0.00%	0.02%	0.10%	0.56%
51	0.00%	0.00%	0.04%	0.14%	0.95%
52	0.00%	0.00%	0.06%	0.25%	0.81%
53	0.00%	0.00%	0.06%	0.17%	1.14%
54	0.00%	0.00%	0.06%	0.23%	0.58%
55	0.00%	0.02%	0.10%	0.47%	3.09%
56	0.00%	0.02%	0.10%	0.45%	2.42%
57	0.00%	0.02%	0.12%	0.52%	3.37%
58	0.00%	0.00%	0.08%	0.37%	2.53%
59	0.00%	0.02%	0.10%	0.49%	3.91%
60	0.00%	0.02%	0.16%	0.78%	11.64%
61	0.00%	0.04%	0.27%	2.03%	20.31%
62	0.00%	0.00%	0.02%	0.16%	0.76%
63	0.00%	0.02%	0.08%	0.16%	0.85%
64	0.00%	0.00%	0.06%	0.25%	1.42%

65	0.00%	0.02%	0.08%	0.27%	0.72%
66	0.00%	0.00%	0.02%	0.10%	0.33%
67	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.33%
68	0.00%	0.00%	0.02%	0.12%	0.33%
69	0.00%	0.00%	0.04%	0.16%	0.47%
70	0.00%	0.02%	0.06%	0.19%	0.56%
71	0.00%	0.00%	0.02%	0.12%	0.31%
72	0.00%	0.02%	0.06%	0.19%	0.60%
73	0.00%	0.00%	0.04%	0.16%	0.64%
74	0.00%	0.00%	0.06%	0.19%	0.31%
75	0.00%	0.00%	0.06%	0.25%	0.49%
76	0.00%	0.00%	0.06%	0.23%	0.93%
77	0.00%	0.00%	0.06%	0.33%	1.19%
78	0.00%	0.02%	0.06%	0.25%	1.25%
79	0.00%	0.00%	0.02%	0.12%	0.45%
80	0.00%	0.00%	0.06%	0.16%	0.39%
81	0.00%	0.00%	0.04%	0.16%	0.37%
82	0.00%	0.00%	0.06%	0.14%	0.66%
83	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.12%
84	0.00%	0.00%	0.02%	0.06%	0.23%
85	0.00%	0.00%	0.02%	0.08%	0.37%
86	0.00%	0.00%	0.04%	0.19%	0.49%
87	0.00%	0.00%	0.04%	0.27%	0.47%
88	0.00%	0.00%	0.06%	0.17%	0.43%
89	0.00%	0.00%	0.02%	0.08%	0.33%
90	0.00%	0.00%	0.02%	0.10%	0.27%
91	0.00%	0.00%	0.04%	0.16%	0.33%
92	0.00%	0.00%	0.04%	0.12%	0.49%
93	0.00%	0.00%	0.02%	0.08%	0.31%
94	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.35%
95	0.00%	0.00%	0.04%	0.19%	0.68%
96	0.00%	0.00%	0.02%	0.14%	0.49%
97	0.00%	0.00%	0.02%	0.14%	0.37%
98	0.00%	0.00%	0.06%	0.14%	0.25%
99	0.00%	0.00%	0.04%	0.16%	0.50%

100	0.00%	0.00%	0.02%	0.10%	0.21%
101	0.00%	0.00%	0.02%	0.10%	0.29%
102	0.00%	0.00%	0.04%	0.10%	0.41%
103	0.00%	0.00%	0.02%	0.10%	0.31%
104	0.00%	0.00%	0.02%	0.10%	0.31%
105	0.00%	0.00%	0.04%	0.14%	0.47%
106	0.00%	0.00%	0.04%	0.23%	0.81%
107	0.00%	0.00%	0.08%	0.39%	1.97%
108	0.00%	0.00%	0.08%	0.35%	2.14%
109	0.00%	0.00%	0.08%	0.39%	2.09%
110	0.00%	0.00%	0.08%	0.41%	1.81%
111	0.00%	0.00%	0.10%	0.50%	3.43%
112	0.00%	0.02%	0.16%	0.66%	6.18%
113	0.00%	0.02%	0.16%	0.78%	10.58%
114	0.00%	0.02%	0.21%	0.95%	7.55%
115	0.00%	0.02%	0.16%	0.60%	7.55%
116	0.00%	0.04%	0.17%	0.50%	2.59%
117	0.00%	0.02%	0.16%	0.56%	3.65%
118	0.00%	0.02%	0.12%	0.70%	12.55%
119	0.00%	0.02%	0.14%	0.80%	19.19%
120	0.00%	0.00%	0.08%	0.47%	8.31%
121	0.00%	0.00%	0.04%	0.14%	0.81%
122	0.10%	0.47%	3.54%	NaN	NaN
123	0.02%	0.19%	0.78%	6.18%	51.08%
124	0.00%	0.02%	0.06%	NaN	NaN
125	0.02%	0.08%	0.23%	0.47%	6.18%
126	0.00%	0.02%	0.14%	NaN	NaN

附錄 12 基隆港各點位 50 年不同震度海嘯地震且溢淹機率

基隆港各點位 50 年不同震度海嘯地震且溢淹機率					
點位/震度	7	7.5	8	8.5	9
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.20%
14	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%
15	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.03%
16	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
17	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
18	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
19	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
20	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
21	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
22	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%
24	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%
25	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
26	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.05%
27	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
28	0.01%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%
29	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%
30	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
31	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.18%

32	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
33	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
34	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.07%
36	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
37	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
38	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.04%
39	0.01%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%
40	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
41	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.03%
42	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
43	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
44	0.00%	0.01%	0.01%	0.03%	0.12%
45	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
46	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
47	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
48	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
49	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
51	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
52	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
53	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
54	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%
56	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
57	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
58	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%
59	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
60	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
61	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
62	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
63	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
64	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
66	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

67	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
68	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
69	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
71	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
72	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
73	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
74	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
76	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
77	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
78	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.03%
79	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
81	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
82	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
83	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
84	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
85	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
86	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
87	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%
88	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
89	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
91	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
92	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
93	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
94	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
96	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
97	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
98	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
99	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
100	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
101	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

102	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
103	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
104	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
105	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
106	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
107	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
108	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
109	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
110	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
111	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
112	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
113	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
114	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.03%
115	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
116	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
117	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
118	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
119	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.07%
120	0.00%	0.00%	0.02%	0.07%	0.60%
121	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
122	0.02%	0.03%	0.07%	0.00%	0.00%
123	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.04%
124	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
125	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
126	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
總和	3.25%				

附錄 13 基隆港各點位 100 年不同震度海嘯地震且溢淹機率

基隆港各點位 100 年不同震度海嘯地震且溢淹機率					
點位/震度	7	7.5	8	8.5	9
1	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.04%
9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.02%	0.05%	0.40%
14	0.00%	0.02%	0.02%	0.02%	0.04%
15	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.07%
16	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.03%
17	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
18	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
19	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
20	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
21	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.03%
22	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.05%
23	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.09%
24	0.00%	0.01%	0.01%	0.03%	0.04%
25	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
26	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.09%
27	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
28	0.01%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%
29	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.07%
30	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
31	0.00%	0.01%	0.02%	0.05%	0.36%

32	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
33	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
34	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.13%
36	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
37	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%
38	0.00%	0.01%	0.01%	0.10%	0.08%
39	0.02%	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%
40	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
41	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.07%
42	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
43	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.05%
44	0.00%	0.01%	0.02%	0.06%	0.24%
45	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%
46	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
47	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
48	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
49	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
51	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
52	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
53	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
54	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55	0.00%	0.02%	0.03%	0.04%	0.08%
56	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%
57	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
58	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.05%
59	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%
60	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
61	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%
62	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
63	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
64	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
66	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

67	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
68	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
69	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
71	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%
72	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%
73	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
74	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
76	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
77	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
78	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.07%
79	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
81	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
82	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
83	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
84	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
85	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
86	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.03%
87	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.02%
88	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%
89	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
91	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
92	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
93	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
94	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
96	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
97	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
98	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
99	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
100	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
101	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

102	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
103	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
104	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
105	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
106	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
107	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
108	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
109	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
110	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
111	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.03%
112	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
113	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.04%
114	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.07%
115	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
116	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
117	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
118	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%
119	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.15%
120	0.00%	0.00%	0.05%	0.14%	1.20%
121	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
122	0.04%	0.06%	0.14%	0.00%	0.00%
123	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.08%
124	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
125	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
126	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
總和	6.49%				

附錄 14 信賴區間(95%)與迴歸分析($Y=a+bx$)

	迴歸係數 a	迴歸係數 b	下區間		上區間		判定系數	F 檢定	P 值	誤差值
編號	a	b	bint1_a	bint1_b	bint2_a	bint2_b	R2	F	P	
1	8.271153	-1.07354	7.022409	-1.2875	9.519898	-0.85958	97.08%	166.3519	4.99E-05	4.85%
2	8.916983	-1.17455	7.890467	-1.35044	9.943499	-0.99867	98.33%	294.6819	1.23E-05	3.28%
3	8.858311	-1.19378	7.379562	-1.45947	10.33706	-0.9281	97.49%	155.6364	2.37E-04	4.01%
4	8.697705	-1.12469	7.742265	-1.28839	9.653144	-0.96098	98.42%	311.8864	1.07E-05	2.84%
5	8.527572	-1.13975	7.367248	-1.33857	9.687896	-0.94094	97.75%	217.1715	2.60E-05	4.19%
6	7.643223	-1.03362	6.189326	-1.28274	9.09712	-0.78451	95.79%	113.762	1.25E-04	6.57%
7	8.352305	-1.1825	6.33415	-1.5451	10.37046	-0.81991	95.35%	81.98667	8.24E-04	7.46%
8	7.122407	-0.88428	6.275896	-1.02286	7.968917	-0.7457	97.60%	243.785	4.37E-06	3.37%
9	8.313594	-1.10127	7.075047	-1.31349	9.552141	-0.88906	97.27%	177.9522	4.23E-05	4.77%
10	8.704021	-1.22941	5.274598	-1.87679	12.13344	-0.58203	92.41%	36.52592	0.009085	10.35%
11	8.130492	-1.22892	5.123294	-1.79659	11.13769	-0.66124	94.06%	47.4645	0.006265	7.95%
12	6.928385	-1.06622	-14.1191	-5.48099	27.97588	3.348561	90.40%	9.416832	0.200548	6.04%
13	2.777501	-0.34067	1.763318	-0.54225	3.791684	-0.13909	96.36%	52.87313	0.018393	0.27%
14	6.821643	-0.88044	5.761563	-1.05398	7.881723	-0.70689	96.25%	154.1032	1.67E-05	5.28%
15	8.649765	-1.11447	7.772619	-1.26476	9.52691	-0.96418	98.64%	363.3572	7.32E-06	2.39%
16	8.589946	-1.04213	8.079338	-1.12572	9.100554	-0.95854	99.36%	930.5857	8.24E-08	1.23%
17	9.123105	-1.18707	8.00349	-1.37891	10.24272	-0.99524	98.06%	253.0214	1.79E-05	3.90%
18	7.087059	-0.88624	6.544256	-0.97511	7.629862	-0.79738	99.00%	595.5444	3.11E-07	1.38%
19	8.343409	-1.25111	5.800872	-1.73107	10.88595	-0.77115	95.82%	68.81849	0.00367	5.69%
20	8.714071	-1.27619	5.91928	-1.80377	11.50886	-0.74861	95.18%	59.26271	0.004555	6.87%
21	8.586071	-1.18616	6.835991	-1.50059	10.33615	-0.87174	96.48%	109.7039	4.70E-04	5.61%
22	8.232026	-1.19824	5.518208	-1.71053	10.94584	-0.68595	94.86%	55.40851	0.005019	6.48%
23	5.597971	-0.82148	4.218678	-1.08185	6.977263	-0.56111	97.11%	100.8156	0.002103	1.67%
24	5.321243	-0.80731	3.719588	-1.10966	6.922897	-0.50496	96.01%	72.20918	0.003422	2.26%
25	7.810022	-1.11541	6.587776	-1.33501	9.032268	-0.89582	98.03%	198.8844	1.47E-04	2.74%
26	7.529713	-1.07033	6.205646	-1.30822	8.853781	-0.83244	97.50%	156.0489	2.36E-04	3.21%
27	7.876748	-1.15719	5.618087	-1.58356	10.13541	-0.73082	96.13%	74.60293	0.003264	4.49%
28	7.804676	-1.02503	6.444626	-1.26939	9.164726	-0.78068	97.14%	135.6485	3.11E-04	3.39%
29	8.656897	-1.24122	7.059353	-1.52824	10.25444	-0.9542	97.30%	144.1586	2.76E-04	4.68%
30	8.261672	-1.10625	6.607001	-1.40354	9.916343	-0.80896	96.39%	106.7413	4.95E-04	5.02%
31	7.138322	-0.88319	6.045089	-1.0705	8.231555	-0.69587	96.71%	146.8993	6.75E-05	3.72%

32	8.469524	-1.13605	7.105735	-1.38108	9.833313	-0.89103	97.64%	165.7109	2.10E-04	3.41%
33	9.252946	-1.26651	7.411383	-1.59738	11.09451	-0.93565	96.58%	112.9523	4.44E-04	6.21%
34	8.962035	-1.27071	7.783519	-1.48244	10.14055	-1.05897	98.58%	277.6305	7.60E-05	2.54%
35	7.33623	-0.96864	6.592873	-1.1022	8.079587	-0.83509	99.02%	405.4905	3.59E-05	1.01%
36	7.89359	-1.097	6.485616	-1.36278	9.301564	-0.83121	98.29%	172.5322	9.53E-04	1.74%
37	8.190674	-1.11218	7.08309	-1.31117	9.298258	-0.91318	98.37%	240.7917	1.01E-04	2.25%
38	8.204496	-1.14217	6.329102	-1.4962	10.07989	-0.78815	97.23%	105.4213	0.00197	3.09%
39	9.081946	-1.2709	7.597153	-1.53767	10.56674	-1.00414	97.76%	174.9613	1.89E-04	4.04%
40	8.909791	-1.24991	7.003197	-1.60982	10.81639	-0.89	97.60%	122.1486	0.001587	3.20%
41	7.834522	-1.05408	6.893241	-1.22319	8.775804	-0.88496	98.68%	299.4699	6.54E-05	1.62%
42	8.383543	-1.19932	6.610873	-1.53395	10.15621	-0.86469	97.75%	130.0967	0.001446	2.76%
43	8.195278	-1.13922	6.830253	-1.38447	9.560302	-0.89397	97.65%	166.335	2.08E-04	3.41%
44	8.343383	-1.1693	6.210498	-1.57193	10.47627	-0.76668	96.61%	85.42181	0.00268	4.00%
45	7.067913	-1.02735	5.689932	-1.27493	8.445894	-0.77978	97.07%	132.7392	3.24E-04	3.48%
46	7.114182	-0.99481	5.352565	-1.29665	8.875799	-0.69298	93.49%	71.77962	3.76E-04	9.65%
47	8.89532	-1.34929	6.492234	-1.80293	11.29841	-0.89566	96.76%	89.60302	0.002499	5.08%
48	8.01454	-1.12042	7.025994	-1.29803	9.003086	-0.94281	98.71%	306.7734	6.24E-05	1.79%
49	8.352088	-1.25257	5.806534	-1.73309	10.89764	-0.77204	95.82%	68.81528	0.00367	5.70%
50	6.2624	-0.90533	4.684179	-1.20326	7.840621	-0.60741	96.89%	93.52576	0.002347	2.19%
51	7.57158	-1.02193	6.585396	-1.1909	8.557764	-0.85295	97.97%	241.6927	2.00E-05	3.02%
52	8.305659	-1.13504	7.05927	-1.35897	9.552047	-0.91111	98.02%	198.0447	1.48E-04	2.85%
53	7.863858	-1.10513	6.344815	-1.37805	9.3829	-0.83221	96.93%	126.3961	3.57E-04	4.23%
54	8.542214	-1.2152	6.994643	-1.49325	10.08979	-0.93716	97.36%	147.2457	2.65E-04	4.39%
55	7.920242	-1.01817	6.839449	-1.19511	9.001035	-0.84124	97.06%	198.2656	8.01E-06	5.49%
56	8.119804	-1.02803	7.307521	-1.1672	8.932087	-0.88885	98.63%	360.5226	7.47E-06	2.05%
57	8.298935	-1.07942	7.231458	-1.26233	9.366411	-0.89652	97.87%	230.1478	2.26E-05	3.54%
58	7.091177	-0.89036	6.120753	-1.04923	8.061601	-0.73149	96.91%	188.0606	9.35E-06	4.43%
59	7.446277	-0.97093	6.687903	-1.10087	8.204651	-0.84099	98.66%	368.9313	7.05E-06	1.79%
60	8.305396	-1.14164	7.232628	-1.33438	9.378165	-0.9489	98.54%	270.4557	8.00E-05	2.11%
61	8.818259	-1.24266	6.863885	-1.61159	10.77263	-0.87372	97.46%	114.9038	0.001736	3.36%
62	5.57837	-0.84362	3.955283	-1.15002	7.201458	-0.53723	96.24%	76.78238	0.00313	2.32%
63	7.494899	-1.09863	5.786071	-1.42121	9.203728	-0.77606	97.51%	117.4784	0.00168	2.57%
64	7.76869	-1.14872	5.992257	-1.48406	9.545122	-0.81338	97.54%	118.8456	0.001652	2.78%
65	7.378272	-0.97594	6.591094	-1.11737	8.16545	-0.83451	98.92%	367.0672	4.37E-05	1.14%
66	7.040177	-0.99515	6.405027	-1.10927	7.675326	-0.88104	99.32%	586.2421	1.73E-05	0.74%

67	6.852226	-0.92996	6.238207	-1.04028	7.466246	-0.81964	99.28%	547.7903	1.98E-05	0.69%
68	8.84869	-1.23755	7.442353	-1.49022	10.25503	-0.98488	97.88%	184.9243	1.69E-04	3.62%
69	7.883241	-1.01267	6.988996	-1.15907	8.777485	-0.86628	97.95%	286.4939	2.72E-06	3.76%
70	4.38249	-0.79588	-11.9543	-4.14245	20.48474	2.661729	88.43%	7.645903	0.220916	3.58%
71	4.299149	-0.61649	2.865461	-0.87408	5.732837	-0.35891	91.69%	44.15656	0.002662	3.77%
72	4.15303	-0.61233	2.47708	-0.94544	5.828981	-0.27921	96.90%	62.55356	0.015613	0.75%
73	6.965568	-1.02936	6.321869	-1.15087	7.609268	-0.90785	99.59%	726.8044	1.12E-04	0.36%
74	6.680484	-0.96139	5.908463	-1.10713	7.452504	-0.81565	99.32%	440.7481	2.36E-04	0.52%
75	7.661217	-1.29462	4.898639	-1.84372	10.42379	-0.74553	98.09%	102.9116	0.009578	2.04%
76	7.935831	-1.21748	7.091949	-1.37678	8.779714	-1.05818	99.50%	591.5758	1.52E-04	0.63%
77	7.625349	-1.12663	6.453311	-1.34787	8.797387	-0.90538	98.87%	262.6179	5.11E-04	1.21%
78	5.766527	-0.75946	5.065824	-0.88535	6.46723	-0.63356	98.59%	280.534	7.45E-05	0.90%
79	7.441489	-1.06546	5.256504	-1.47792	9.626475	-0.653	95.75%	67.581	0.003768	4.20%
80	7.649827	-1.25795	-11.5242	-5.27976	26.82387	2.763868	94.05%	15.7947	0.156928	5.01%
81	6.341437	-0.95556	5.038173	-1.20158	7.644702	-0.70954	98.07%	152.7914	0.001141	1.49%
82	6.184774	-0.9112	5.212751	-1.09469	7.156797	-0.72771	98.81%	249.7613	5.51E-04	0.83%
83	6.878718	-1.00382	4.709346	-1.43501	9.04809	-0.57263	98.05%	100.3352	0.00982	1.26%
84	6.146517	-0.91562	3.129505	-1.51529	9.16353	-0.31595	95.57%	43.16023	0.022394	2.43%
85	6.378885	-0.98409	3.279006	-1.60023	9.478764	-0.36795	95.94%	47.22678	0.020525	2.56%
86	6.451254	-0.80501	6.093602	-0.86356	6.808906	-0.74646	99.47%	1131.807	4.59E-08	0.60%
87	7.054391	-0.88102	6.305043	-1.00941	7.803739	-0.75263	98.42%	311.1309	1.07E-05	1.75%
88	8.1406	-1.0857	7.402623	-1.21829	8.878577	-0.95311	99.23%	516.8684	2.22E-05	1.00%
89	8.613841	-1.18715	7.729133	-1.3461	9.498548	-1.0282	99.08%	429.9907	3.20E-05	1.43%
90	7.797412	-1.06067	7.004441	-1.20314	8.590382	-0.91821	99.07%	427.2662	3.24E-05	1.15%
91	6.740756	-0.8854	6.011466	-1.01036	7.470046	-0.76045	98.52%	331.7574	9.17E-06	1.65%
92	6.532952	-0.9207	4.662504	-1.27379	8.403399	-0.56762	95.83%	68.86496	0.003666	3.08%
93	6.922739	-1.00223	4.661839	-1.42902	9.18364	-0.57543	94.90%	55.84935	0.004962	4.50%
94	8.540689	-1.19131	7.519951	-1.3747	9.561428	-1.00792	98.79%	325.2888	5.56E-05	1.91%
95	7.424883	-1.032	6.183447	-1.25504	8.66632	-0.80896	97.63%	165.028	2.12E-04	2.82%
96	7.311356	-1.02567	6.080659	-1.24678	8.542052	-0.80455	97.65%	165.8664	2.10E-04	2.77%
97	6.240059	-0.88403	5.314241	-1.05037	7.165877	-0.7177	98.20%	217.7386	1.23E-04	1.57%
98	6.99265	-0.97854	6.100022	-1.13892	7.885278	-0.81817	98.63%	286.9885	7.12E-05	1.46%
99	7.072306	-0.99299	5.98316	-1.18868	8.161453	-0.79731	98.02%	198.5034	1.47E-04	2.17%
100	6.86002	-0.96719	5.313304	-1.24508	8.406737	-0.68929	95.89%	93.37843	6.42E-04	4.38%
101	6.481759	-0.89562	4.839634	-1.2056	8.123885	-0.58563	96.57%	84.54371	0.002721	2.37%

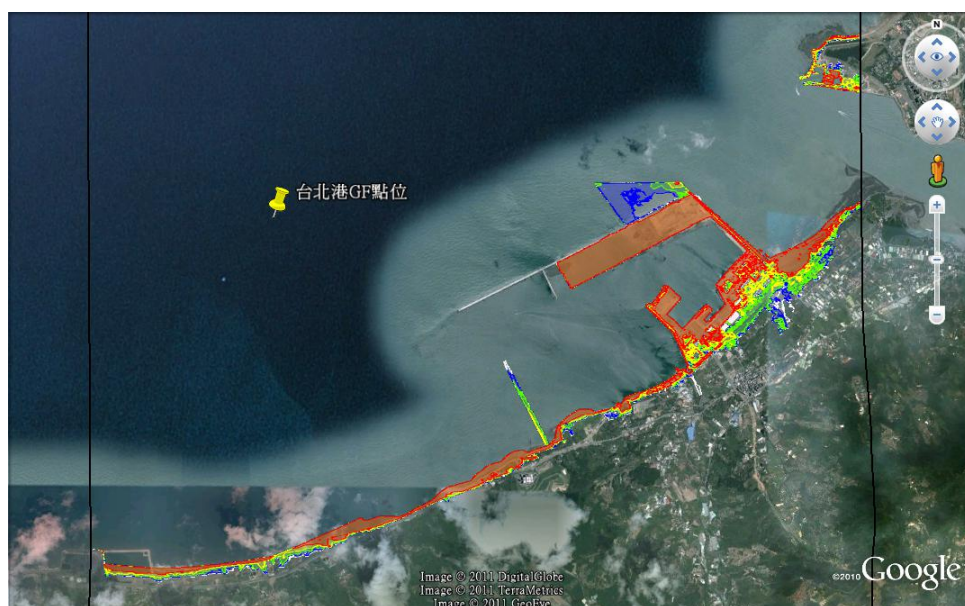
102	7.459728	-1.0573	6.218426	-1.28032	8.701029	-0.83428	97.74%	173.2569	1.92E-04	2.82%
103	7.190728	-1.02999	5.152923	-1.41467	9.228533	-0.64531	96.03%	72.60817	0.003395	3.65%
104	7.094965	-1.01032	5.723685	-1.25669	8.466245	-0.76395	97.01%	129.6322	3.39E-04	3.44%
105	8.244239	-1.17244	5.569644	-1.67732	10.91883	-0.66755	94.79%	54.61488	0.005124	6.29%
106	7.199122	-0.96483	6.283335	-1.12175	8.11491	-0.80792	98.04%	249.8357	1.84E-05	2.61%
107	7.294656	-1.11846	2.68224	-2.03524	11.90707	-0.20169	93.23%	27.55466	0.034428	5.67%
108	6.335881	-0.95624	2.173171	-1.78363	10.49859	-0.12886	92.52%	24.72821	0.038141	4.62%
109	6.48308	-0.8821	5.469948	-1.06412	7.496212	-0.70007	97.84%	181.0301	1.77E-04	1.88%
110	6.331444	-0.87925	4.367354	-1.25002	8.295534	-0.50849	95.00%	56.95758	0.004823	3.39%
111	6.688009	-0.92519	5.527627	-1.13367	7.848392	-0.71671	97.43%	151.813	2.49E-04	2.47%
112	7.757433	-1.14335	5.603277	-1.55	9.911589	-0.73671	96.39%	80.06706	0.002945	4.08%
113	7.443909	-1.03413	6.89962	-1.13192	7.988197	-0.93634	99.54%	862.0707	8.01E-06	0.54%
114	7.620354	-1.02368	6.973481	-1.13452	8.267227	-0.91284	99.12%	563.6766	2.47E-06	1.30%
115	8.410781	-1.20342	7.083225	-1.44194	9.738337	-0.9649	98.00%	196.2353	1.51E-04	3.23%
116	8.015422	-1.14477	6.555698	-1.40704	9.475146	-0.88251	97.35%	146.8743	2.66E-04	3.90%
117	6.982889	-1.00938	4.593579	-1.46042	9.372199	-0.55835	94.42%	50.72415	0.005697	5.02%
118	7.249327	-1.07748	4.169766	-1.65882	10.32889	-0.49615	92.06%	34.79305	0.009728	8.34%
119	6.243911	-0.90422	0.816419	-1.983	11.6714	0.174555	86.67%	13.00647	0.06902	7.86%
120	4.961283	-0.60618	1.257464	-1.34235	8.665101	0.13	86.26%	12.55182	0.071259	3.66%
121	6.270414	-0.96147	5.314101	-1.14199	7.226727	-0.78094	98.97%	287.2891	4.47E-04	0.80%
122	6.724382	-0.94509	4.924891	-1.2684	8.523872	-0.62178	94.28%	65.87113	0.001253	5.93%
123	8.452461	-1.25821	600.74%	-1.71976	10.89749	-0.79666	96.17%	75.26385	0.003223	5.26%
124	7.411233	-1.07533	564.57%	-1.4086	9.176746	-0.74205	97.23%	105.4354	0.00197	2.74%
125	7.120151	-0.98197	571.87%	-1.22208	8.521553	-0.74185	95.67%	110.5114	1.34E-04	6.11%
126	8.944894	-1.33681	557.14%	-1.97363	12.31841	-0.69998	93.70%	44.62932	0.00684	10.01%

附錄 15 台北港波高 4 公尺基隆港波高 6 公尺溢淹狀況 Google

Earth kml 圖檔

紅線部分為溢淹高度記錄 3 公尺以上，黃線為溢淹高度記錄 2 公尺，綠線為溢淹高度記錄 1 公尺，藍線為溢淹高度記錄 50 公分。

台北港波高 4 公尺入射波溢淹狀況



基隆港波高 6 公尺入射波溢淹狀況



附錄 16 ■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)

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、岳景雲:		
1. 研究主題與實務相關具挑戰性，已有初步成果，值得肯定。	1.感謝委員之建議。遵照辦理。	同意
2. 文章內部圖請以彩色區分表示，方便判讀及比較。	2.感謝委員之建議。遵照辦理。	同意
3. 台北港數值地形圖建議以現況(2011)作模擬溢淹範圍；並進一步預測未來台北港建港完成後其溢淹範圍，比較南防波堤興建前、後之差異。	3.感謝委員之建議。已以現況(2011)地形做模擬地形圖，比較部分於期末報告 5.4 節(第 5-15 頁)。	同意

4. 基隆港為一天然灣澳(灣澳長度、寬度等)與模擬平直海岸是否有不同點？	4.在模擬溢淹部分，選擇垂直海岸入射為求較嚴重之溢淹狀況，基隆港為一天然港灣，港灣周遭地形陡峭，不利海嘯在陸地上洪流溢淹，但溢淹條件定於進內陸50公尺，應與平直海岸無太大差異。	同意
5. 地震規模(M)→海嘯級數(m)→海嘯波高(H)→海嘯溯升高(R/H)之間關係可否扼要說明。	5.感謝委員之建議。於期末報告第四章全章第4-1頁說明。	同意
二、曹登皓委員 1. P2-5~2-6 中提及“世界上約80%的淺層地震(震源深度小於70公里)，90%的中層地震(震源深度介於70公里和300公里之間)和幾乎所有的深	1.感謝委員之建議。敘述部分已做修正，本計畫以震源深度小於30公里作為海嘯發生條件。	同意

層地震(震源深度大於 300 公里)---”，在此段敘述中的淺層、中層及深層地震與目前台灣的分類定義並不符合，建議修正。 2. 報告中很多地方有“地震矩”，為何用“地震矩”？ 3. 海嘯中溢淹機率定義為超過離岸 50 公尺，“50 公尺”如何決定？	2.地震表示方法有許多種，矩規模可描述地震之物理性值，且無上限問題，詳細說明於期末報告 2.4 節（第 2-9 頁）。 3.為考慮到海岸地形中有許多沙灘、礫灘與潮間帶等海陸交界地帶，以及考量海嘯災害發生之嚴重性，故取溢淹進內陸 50 公尺，第 4-32 頁說明。	同意 同意
---	---	---------------------

4. 溢淹範圍如何推定，有無考慮海嘯往前推進的部份？往前推進時可能已不是一個波，而是一個洪流。	4.使用 COMCOT 模式模擬中以考量海嘯在陸地推進的狀況，包括河川的溯上與陸地的溢淹，模式模擬溢淹推進與後退仍是波的行式。	同意
5. 請補齊參考文獻，例如 Loomi's (1979)在參考文獻中未見到。	5. 感謝委員之建議。於期末報告參考文獻中補上，第參-4 頁。	同意
三、溫志中委員		
1. 是否可針對 G-R 關係式進行信賴區間估計及信賴程度假設？（平均值、標準差）。	1.感謝委員之建議。已於附錄 14(附錄第附-53 頁)中附上所有點位 G-R 關係式之 b 值 95%信賴區間值。	同意
2. P3-10 頁，儲存單位 GB (註解說明)。	2.由於模擬地形為整個太平洋海域，因此網格數非常多，又考慮到海嘯在大洋的傳遞時間，網格數與模擬時間兩者條件下，資料庫檔案大小	同意

	非常大，但於本年度以使用第一波到達時間搜索、去除陸地點位等方法減少資料庫空間。GB(Gigabyte)。。	同意
3. P4-10 頁，波高超過 2m，有 40%之溢淹機率與颱風狀況下之溢淹是否相同？	3. 海嘯溢淹取決於流速與波長、周期等，而颱風所產生的溢淹較大原因為氣壓變化產生風吹海面之湧浪，海嘯溢淹產生的流比颱風溢淹產生的流強烈，因此溢淹機率應與海嘯所產生之溢淹機率不同。	
4. 不同週期之波浪為影響溢淹之重要參考依據，建議可增加不同週期對應之溢淹機率。	4. 感謝委員之建議。期末報告 5.5 節，第 5-16 頁中說明台北港在波高 2 公尺以較常見之週期 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘計算溢	

	淹結果差異不大，但未來可針對不同週期之溢淹結果作討論。	
四、陳文俊委員 1. 執行成果內容似乎與報告 P1-2 所敘今年工作項目不符，是否已有超量成果？ 2. 本報告所應用機率評估方法能否有驗證其合理性之方法？ 3. P2-11 圖中 G-R 關係式建議於出現前先	1. 本計畫主要計算兩港口海嘯災害機率式評估，以及精進現有海嘯預警系統。 2. 本計畫提供一種評估方法評估海嘯災害機率，台灣未有海嘯災害之完整記錄，但應用 G-R 關係式評估未來地震發生數與海嘯發生條件等方式配合模式模擬波高與溢淹狀況之模擬，應可作為災防的一種依據。 3. 感謝委員之建議。遵於期末報告第四章	同意 同意 同意

予敘述。	節(第 4-9 頁)有完整說明。	
4. 火圈各點之機率與期望值是本計畫計算，還是直接引用 USGS？統計中之地震資料量對其影響有多大？	4. 機率與期望值為本計畫計算，地震資料為 USGS-NEIC 1973 年到 2011 年 1 月，本計畫取較完整之地震紀錄作為統計計算之依據。統計中地震資料量越多越好。	同意
5. P4-11 2.96% 與 5.77% 如何求得，又與結論第 4 點數值有何差異？	5. 感謝委員之建議。以期末報告結論(第 6-1 頁)為主。	同意
6. 所推估各點位海嘯對台北港之最大波高為 50 年或 100 年之結果？	6. 為各區域給予不同地震參數計算結果，詳細說明在 4.3.4 章節說明(第 4-24 頁)。	同意
7. 圖 4-15 推估溢淹淹率中波高引用至 12 公尺，惟各點位推估最大波高僅達 3.187	7. 模擬溢淹之波高計算到 12 公尺，考慮到發生極端海嘯之可能性，更高的波高不	同意

公尺，是否影響溢淹機率之推估。	包含在機率計算中，不影響溢淹機率之計算。	
8. 建議未來圖之線條或色彩區分以黑白印製時能辨視清楚較佳，如此參閱報告時較易了解。	8.感謝委員之建議。遵照辦理。	同意
五、簡仲璟科長		
1. 日本311海嘯後國內許多人關注琉球及馬尼拉海溝可能產生之近域海嘯。因此報告中對於環太平洋地震帶依海溝分佈的121個點位，似乎沒有包含這兩個海溝，後續是否可考量納入。	1.感謝委員之建議。已於期末報告中納入馬尼拉海溝計算(第4-7頁)。	同意
2. 目前 USGS 及日本防災科學技術研究所之地震資料擷取	2.目前皆已建置完成。大洋部分使用 USGS 地震資料，近海域則	同意

情況如何？對海嘯模擬預警系統作業化有無影響？	可使用日本防災科學技術研究所之地震資料，對於近海域海嘯能以較快的速度得到地震發生後之地震解參數。	
3. 淹水潛勢分析請再加強研究，以符合海嘯應變計畫及其標準作業程序之擬定需求。	3. 感謝委員之建議。遵照辦理。	同意
六、蘇青和研究員		
1. P2-12 定義溢淹超過離岸 50 公尺表示發生溢淹，建議增加溢淹最小高度及溢淹延續最少時間之條件。	1. 感謝委員之建議。本計畫溢淹條件為溢淹離岸 50 公尺與溢淹最小高度 50 公分。	同意
2. 介面化海嘯模擬系統，僅顯示各港區較外海海嘯引起之水位變化，本研究目前溢淹模擬結果，或可	2. 感謝委員之建議。相關圖檔列在附錄 15 (附錄第. 附-57 頁)。	同意

增加提供部份港區或道路，水位淺化或極端溯上之資訊。		
3. 本計畫在年度日本311 海嘯，提供中央災害應變中心即時海嘯相關預警資料，以災害預警效益而言成果甚佳，建議針對本案例相關應變過程及成果，專章作完整說明。	3.感謝委員之建議。於期末報告 3.5.5 章節(第 3-22 頁)說明。	同意
4. 報告撰寫內容請依本所規定，期末報告增加納入中英摘要。	4.感謝委員之建議。遵照辦理。	同意

附錄 17□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)

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、岳景雲委員		
1.與實務相關，可提供工程單位參考，工作團隊值得肯定。	1.感謝委員之肯定。	同意
2.Chapter 3 出現圖 5.1、圖 5.2 及圖 5.3 (P3-14,P3-15)，請更正。	2.感謝委員之建議，請參照第 3-12、3-13 頁。	同意
3.P1-5 與 P2-2 30 分~40 分到達恆春半島，請一致。	3.感謝委員之建議，請參照第 1-5 頁。	同意
4.表 2.1 台灣海嘯事件，缺高雄 1781, 1886、基隆 1867、安平 1921。	4.感謝委員之建議，於文中以對此敘述做修正(第 2-2 頁)。	同意
5.P4-7 規模 9 之海嘯	5.規模 8.5 以上區域點	同意

時，台北港最大浪高為何與 126 個震源區並不一致？	位劃分說明在第 4-7 頁，相關參數設定可參考附錄 4、5(附錄-13 到附錄-20)頁。最大浪高非第一波，可能是後來的波，因此在記錄最大波高時，不同規模之最大波高點位區域可能會不一致。	
6.P4-34 與 P5-14 圖一樣？溢淹機率台北港大於基隆與結論海嘯風險評估是否一致？	6. 圖片已修改 (4-32 頁)。風險評估為考慮海嘯發生可能性與發生後溢淹機率，此為條件機率；台北港雖模擬結果較容易溢淹但其受同樣高度海嘯侵襲機會相對基隆港較小，最後風險評估受此兩條件影響其結果。	同意
7.結論請加強說明本文之貢獻，改進傳統海	7. 感謝委員之建議，於結論(第 6-1 頁)加強	同意

海嘯模式之缺點。	說明改進傳統海嘯模式缺點。	
8.是否有動畫顯示，防波堤是否會越波？	8.期末簡報已動畫展示；模式內模擬溢淹已考慮越波之行為。	同意
二、陳文俊委員		
1.P3-9 預報輸入資料中斷層長度、寬度及滑動量是否可由地震發佈資料中取得？	1. 預報輸入資料斷層長度、寬度與滑動量為地震矩規模帶入 Wells and Coppersmith (1994) 經驗公式換算，一般地震發佈資訊中並未提供。	同意
2.第一個波到達時間之判定是否會有不易判定或誤判之可能？	2.第一波到達時間已算完，足以判別到達時間。	同意
3.P3-14,3-15, 3-21 文字中圖號編碼有誤，請更正。(第三章圖號是5-?)	3.已修正，請參見第3-12、3-13 頁與 3.18 頁。	同意

4.日本 311 地震對各港模擬水位提及部份港口水位與實測差異過大原因為地形因素，則須精度達多少時模擬水位之高度與時間可較合理？	4.主要為斷層參數之差異，但考慮災防，有夠準確的尺度即可滿足需求。	同意
5.目前溢淹機率之算法是否會有高估發生溢淹機率之可能？地震強度之機率是否亦有函蓋於計算式中？	5.以災防「料敵從寬」角度考慮，目前溢淹機率之算法應當適切。地震發生期望數即涵蓋 5 個地震強度級距。	同意
6.附 57 溢淹圖彩色之表示與描述似乎與一般波高越大溢淹範圍應該更廣的情形不同。	6. 感謝委員之建議，描述造成誤解已做修正，請參見附錄 15，附-57 頁。	同意
7.研究內容詳實給予肯定。	7.感謝委員之肯定。	同意

三、溫志中委員 1.報告內文格式修改， 例如 3-2 頁跳 3-5 頁。 2.工作項目、範圍應放 四年之整體內容。 3.表 4.2 資料修正。 4.為何計算所得結果其 尖峰值發生時間皆 早於實際測量值？ (傳遞速度差異？) 5.海嘯波：孤立波。(建 議說法以孤立波波 形模擬海嘯波)。故圖 4.25 圖說改為海嘯波 溢淹結果。	1.已修正，請參見第 3-2 頁至第 3-5 頁。 2. 感謝委員之建議，本 計畫為第一年，四年 之整體內容仍可能 修改，故只列出本年 度之工作項目。 3. 已修正，請參見第 4-10 頁。 4.模式模擬與實測資料 差異，主要為斷層參 數之差異，但考慮災 防，有夠準確的尺度 即可滿足需求。 5.感謝委員之建議，已 修正，請參見第 4-30 頁。	同意 同意 同意 同意 同意
---	--	---

6.建議方程式重新編輯。	6. 感謝委員之建議，已重新編輯。	同意
7.效益及應用加於結論中。	7.感謝委員之建議，已增加至結論(第 6-1 頁)。	同意
8.海嘯預警系統中建議加入震源點位與計算時間、發佈時間關連性。	8.本研究應用格林函數以增進海嘯模擬之效率，視電腦硬體效能計算時間為數秒至數分鐘。	同意
四、林柏青委員		
1.計算初始水位的海底斷層模式，所須參數公式(4.4)~(4.10)是否能在發生地震後立即獲得？公式中大部份變數都沒有明確說明。文中變數的上下標及排列位置請正確更正。	1.所需參數需等到地震解發佈後才能取得，目前系統會自動偵測 USGS 網站、CWB 網站與 F-net 網站，若迫切需要可自行參考參數，以系統自行輸入參數方式自行模擬以供參考。	同意
2.P5-3 文中說明圖 5.4 是未來 50 年及 100	2.為未來 50 年，已修正(第 5-3 頁)。	同意

年的期望值，但圖中只有一種，到底是 50 年或 100 年。 3.海嘯的風險不只溢淹那麼單純，還有海嘯波的衝擊力才是造成建物損及人員傷亡的主要原因。所以 5.3 海嘯風險評估應把海嘯波可能產生衡量列入考量。	3.淹水程度、高度與流速有正比關係，未來考慮提供模擬海嘯之港內最大流速供港務局參考。	同意
五、簡仲璟科長 1. 海嘯模式預警系統目前僅有基隆港及臺北港，建議後續逐年擴大至國內其他主要商港及近岸人口密集區域。此外本系統對於海嘯波波高首波(可能不是最大波)到達時間及持續作用時間等資訊如何轉換成海嘯警	1. 感謝科長之建議，未來將持續擴大國內主要商港與人口密集區域。海嘯首波到達時間與作用時間如何轉換成海嘯警報之發佈與解除是否列入後續工作項目正研議中。	同意

報的發佈及解除，建議也納入後續工作重點之一。		
2.海嘯預警系統之使用手冊應詳細完整，若考量方便重點提示則可另編簡易指南或快速入門等。	2. 感謝科長之建議。未來編寫海嘯預警系統之使用手冊將納入考量。	同意
3.本研究文中之溢淹模擬是否僅考量單一海嘯波入侵的情形，若有連續多個海嘯波入侵時溢淹情況是否不同？	3. 感謝科長之建議。本研究目前僅考量單一海嘯波入侵。未來是否考慮連續多個海嘯波入侵時之溢淹情況正研議中。	同意
4.雖然是報告初稿但為便於閱讀及比較檢視相關圖形，儘量以彩色列印。另第六章請補充後續研究方向與工作重點之建議事項。	4. 感謝科長之建議。後續研究方向與工作重點之建議事項已至第六章(第 6-2 頁)補充。	同意

提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(1/4)

期末報告

中山大學 陳冠宇 陳陽益

前言

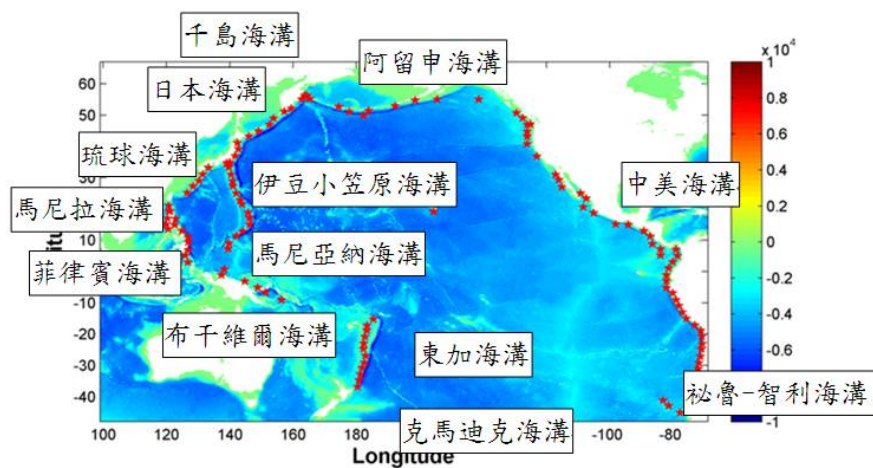
- ▶ 為爭取時效並提高海嘯數值模擬之精度，本研究建構海嘯預警系統以及台北、基隆兩港之子系統，使能自動擷取太平洋海嘯預警系統所根據的USGS (United States Geological Society)網站與日本防災科學技術研究所(NIED)所提供之F-net即時地震資料庫來更新，用以自動進行海嘯模擬。並且提出一種海嘯風險評估方法，評估台北港與基隆港受海嘯災害風險之機率。



工作項目

- ▶ 建立擴展到整個太平洋海盆之海嘯數值模式。
- ▶ 蒐集太平洋海盆周邊可能發生海嘯的隱沒帶以及歷史地震資料，並評估基隆港與台北港未來發生海嘯之機率。
- ▶ 完成擷取即時地震資料系統，並寫入固定檔案，作為海嘯預警之輸入資料。
- ▶ 建立海嘯模擬預警子系統，以強化應變海嘯風險之能力。

研究區域



資料來源

地震資料來源：

- ▶ United States Geological Survey(USGS)-National Earthquake Information Center(NEIC)
- ▶ 記錄時間1973年至2011年
- ▶ 地震記錄下限取規模4.5

地震解資料來源：

- ▶ Global CMT

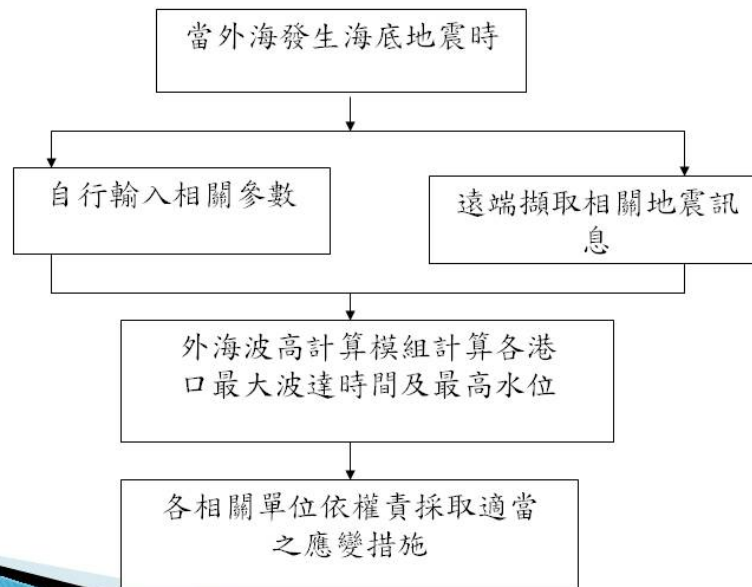
地形資料來源：

- ▶ NOAA-ETOPO1、內政部、交通部運輸研究所臺灣技術研究中心、海科中心資料庫

地震矩規模(M_w)

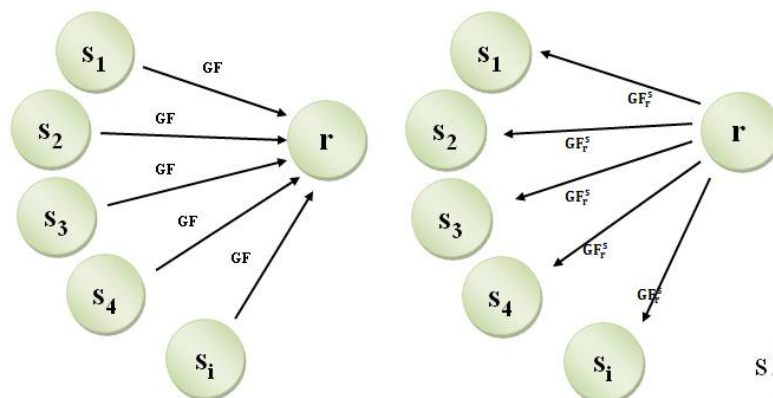
- ▶ 地震矩規模 Moment magnitude scale, M_w
- ▶ 更能直接反應地震破裂過程物理特性(如地層錯動的大小和地震的能量等)的表示方法
- ▶ 不會發生飽和現象
- ▶ 地震矩規模與震源的物理特性有較直接的聯繫

海嘯預警系統規劃



格林函數應用

- ▶ 海嘯波在大洋中之傳遞，可視為一個「線性系統」，一般數值模式中可以用線性淺水方程式 (Linear shallow water equation) 來描述傳遞行為；據此計算出各點之水位時序列變化，即稱為「格林函數」 (Green's function)。
- ▶ 線性系統中之可逆性 (Loomis, 1979)、(Xu, 2007) 可以降低對初始條件之依賴性及提高計算效率。



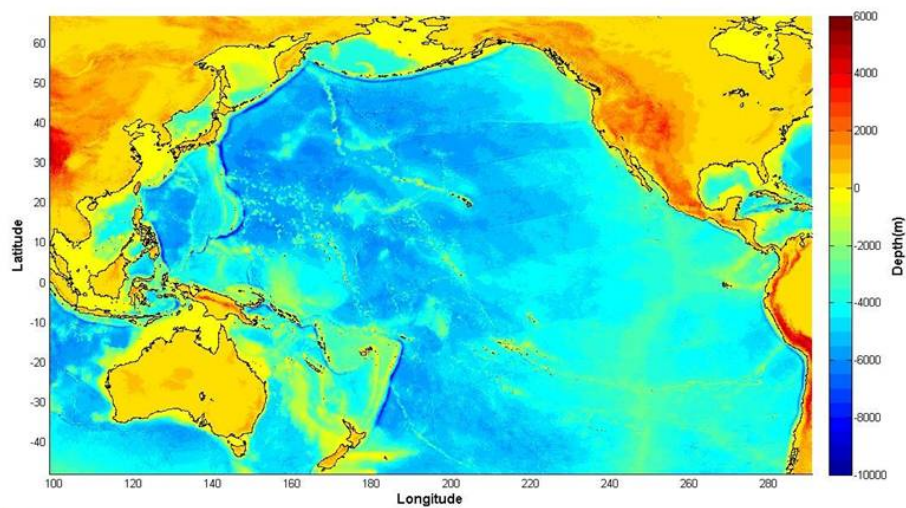
s 為海嘯源
 r 為觀測位置

$$GF_r^s = \frac{r \text{ 點水位}}{\text{波源 } s \text{ 之初始水位}}$$

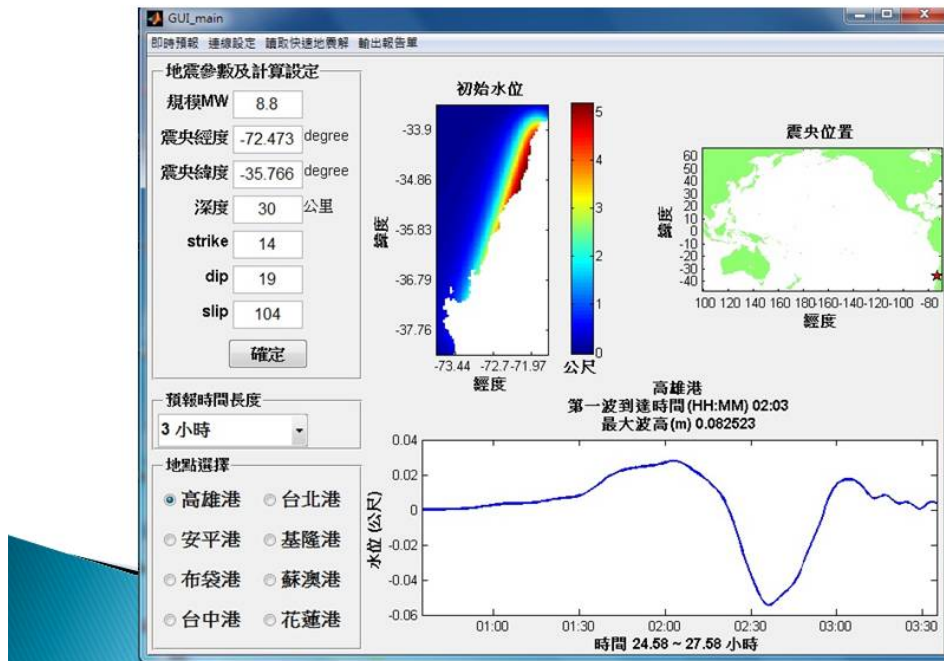
$$GF_s^r(t) = GF_r^s(t)$$

$$H_r(t) = \sum_{r=1}^N GF_r^s(t) \times H_s$$

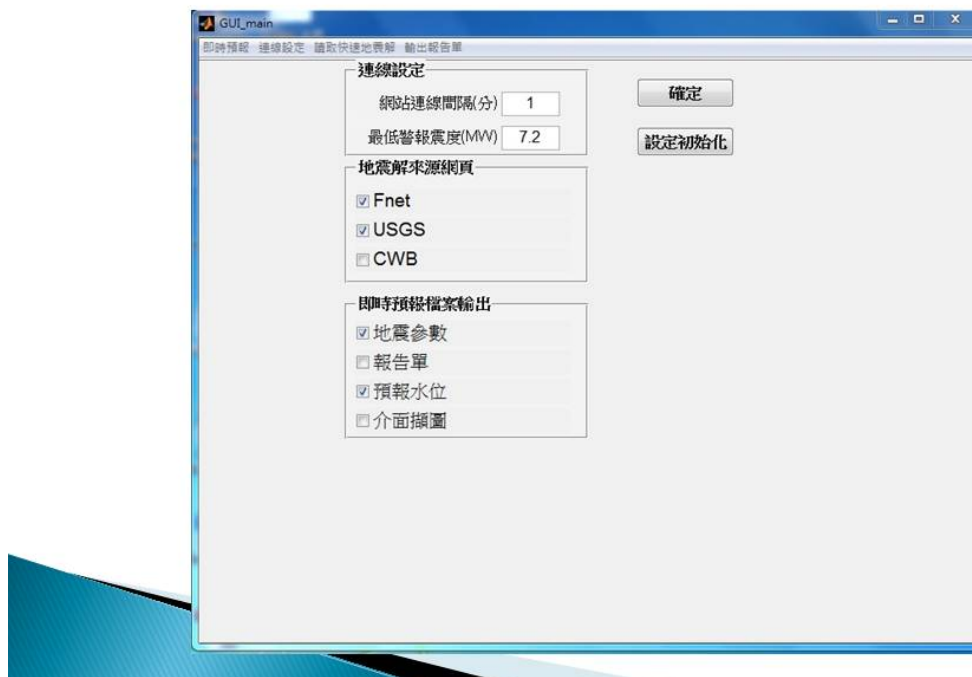
海嘯預警系統(1/4)-計算範圍



海嘯預警系統(2/4)-主介面



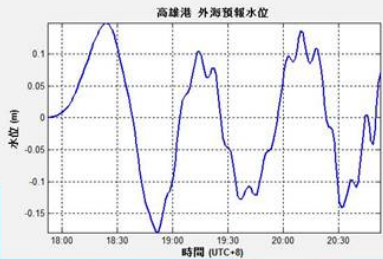
海嘯預警系統(3/4)-即時預報介面



海嘯預警系統(4/4)-檔案輸出

▶ 報告單

地震發生時間 UTC+8 : 2011-03-11 13:46:23
震央位置 緯度38.308 經度142.383
地震規模(MW): 9 地震深度(km): 10
Strike=29 Dip=77 Slip=95
預報地點:高雄港
第一波到達時間:2011-03-11 18:24:23
最大波高(m):0.32842



▶ 水位檔

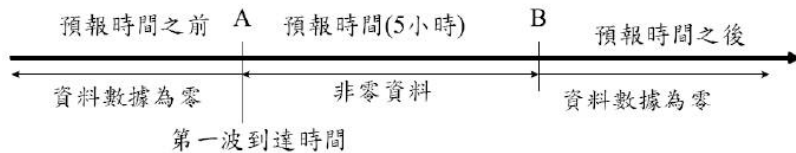
2011	3	11	17	52	23	0.001
2011	3	11	17	53	23	0.001
2011	3	11	17	54	23	0.001
2011	3	11	17	55	23	0.002
2011	3	11	17	56	23	0.003
2011	3	11	17	57	23	0.004
2011	3	11	17	58	23	0.005
2011	3	11	17	59	23	0.007
2011	3	11	18	0	23	0.009
2011	3	11	18	1	23	0.011
2011	3	11	18	2	23	0.014
2011	3	11	18	3	23	0.018
2011	3	11	18	4	23	0.021
2011	3	11	18	5	23	0.026
2011	3	11	18	6	23	0.032
2011	3	11	18	7	23	0.038
2011	3	11	18	8	23	0.046
2011	3	11	18	9	23	0.054
2011	3	11	18	10	23	0.061
2011	3	11	18	11	23	0.069
2011	3	11	18	12	23	0.076
2011	3	11	18	13	23	0.084
2011	3	11	18	14	23	0.092
2011	3	11	18	15	23	0.101
2011	3	11	18	16	23	0.110
2011	3	11	18	17	23	0.117
2011	3	11	18	18	23	0.124

海嘯預警系統(4/4)-檔案輸出

▶ 水位檔

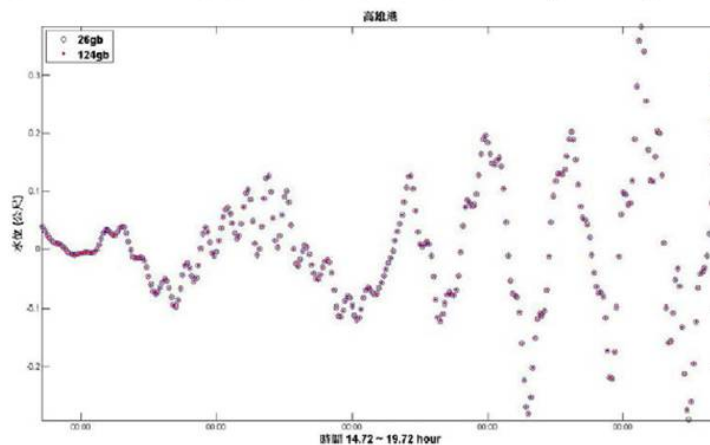
2011	3	11	17	52	23	0.001
2011	3	11	17	53	23	0.001
2011	3	11	17	54	23	0.001
2011	3	11	17	55	23	0.002
2011	3	11	17	56	23	0.003
2011	3	11	17	57	23	0.004
2011	3	11	17	58	23	0.005
2011	3	11	17	59	23	0.007
2011	3	11	18	0	23	0.009
2011	3	11	18	1	23	0.011
2011	3	11	18	2	23	0.014
2011	3	11	18	3	23	0.018
2011	3	11	18	4	23	0.021
2011	3	11	18	5	23	0.026
2011	3	11	18	6	23	0.032
2011	3	11	18	7	23	0.038
2011	3	11	18	8	23	0.046
2011	3	11	18	9	23	0.054
2011	3	11	18	10	23	0.061
2011	3	11	18	11	23	0.069
2011	3	11	18	12	23	0.076
2011	3	11	18	13	23	0.084
2011	3	11	18	14	23	0.092
2011	3	11	18	15	23	0.101
2011	3	11	18	16	23	0.110
2011	3	11	18	17	23	0.117
2011	3	11	18	18	23	0.124

格林函數資料庫精進(1/2)



- ▶ 海嘯波高資料庫中有相當多零值之數值資料，以時間上來說則包含第一波到達時間之前以及預報時間之後，如上圖所示；以空間上來說，陸地及陸地上未流通之水域(例如湖)則是不必要之資料；這些零值資料是造成資料庫龐大的原因，因此在本計畫中剷除零值資料只保留所需資料。

格林函數資料庫精進(2/2)-驗證



- ▶ 藍色圈為精進前一範例計算水位變化結果，紅色點為精進後同一範例計算水位變化結果，此圖說明精進後可得相同之結果。

系統驗證-東日本大震災(1/2)

- ▶ 近期最嚴重的海嘯事件→2011/03/11
- ▶ 地震矩規模9.0
- ▶ 震源深度24.4公里
- ▶ 引發最高高度達40.5公尺的海嘯
- ▶ 至少造成15828人死亡
- ▶ 同時造成火災及核洩漏事故
- ▶ 遠至夏威夷、太平洋島嶼與美國西岸都有海嘯災害發生

系統驗證-東日本大震災(2/2)

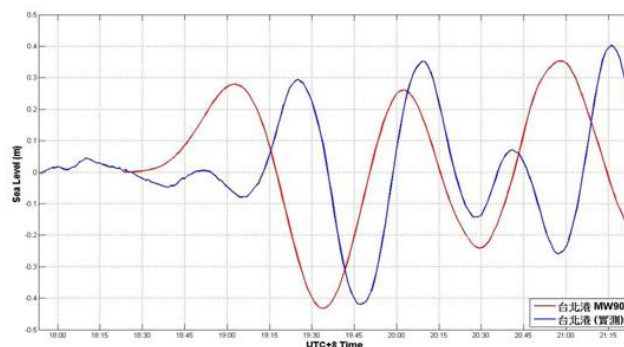
- ▶ 東日本大震災海嘯參數

```
Epicenter: 38.308 142.383
MW 9.0

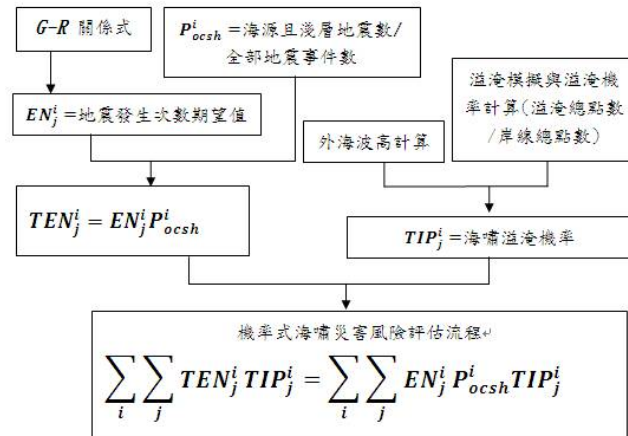
USGS CENTROID MOMENT TENSOR
11/03/11 05:47:47.20
Centroid: 38.486 142.597
Depth 10 No. of sta: 151
Moment Tensor: Scale 10**22 Na
Mrr= 2.03 Mtt=-0.16
Mpp=-1.87 Mrt= 2.06
Mrp= 3.49 Mtp=-0.60
Principal axes:
T Val= 4.57 Plg=58 Azm=306
N -0.05 5 208
P -4.52 32 115

Best Double Couple: Mo=4.5*10**22
NP1: Strike= 29 Dip=77 Slip= 95
NP2: 187 14 68
```

- ▶ 台北港結果與實測資料比較



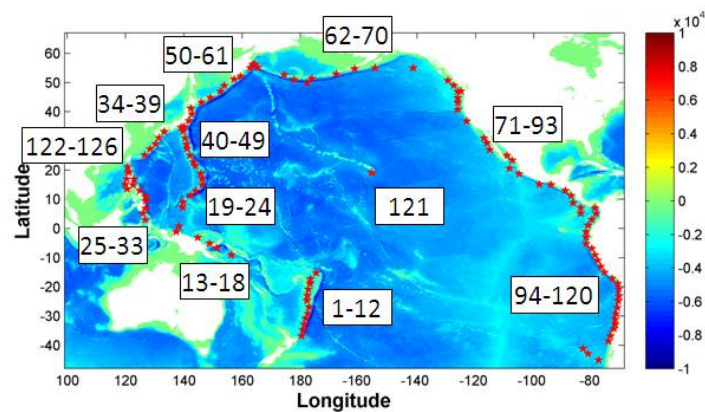
海嘯災害風險評估



規劃流程圖

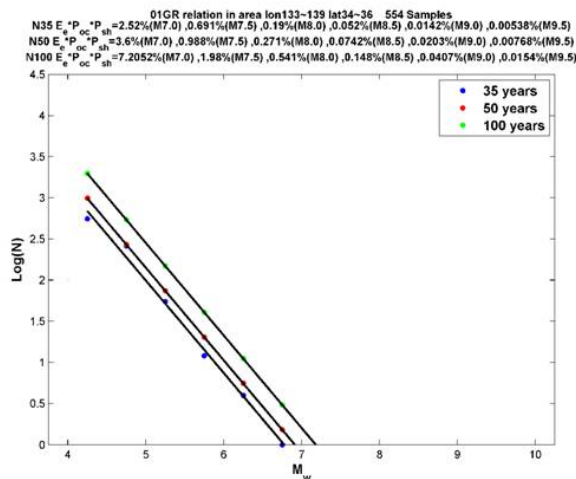
i:各區域 j:各震度

點位劃分



海嘯地震期望數Tsunamigenic Earthquake expectation Number (TEN)

- ▶ G-R關係式求得地震發生次數期望值
- ▶ Y軸為log(N)
- ▶ N為各規模
級距累計數
- ▶ X軸為各規模
級距



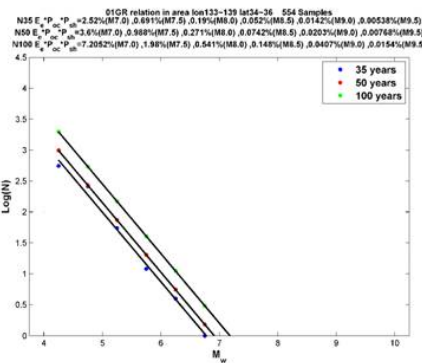
G-R關係式(1/2)

一般區域震源可用指數規模分佈模式來表示，而此模式中之地震規模與再現頻率關係式（Gutenberg and Richter, 1944），稱為G-R關係式，其形式為：

$$\log(N) = a - bM$$

G-R關係式中， b 值是地震危害分析中一個極為重要的參數，其表示地震在某一地震規模內的大地震與小地震間的比例關係，而 a 值代表該區內地震活動程度。 b 值隨著研究區域內的地質分佈、構造、地溫與應力...等條件的不同而有所變化。此一回歸分析法，即是在一區域內對於地震規模（設定之地震下限）而言的，式中 M 代表地震矩規模，並依小而大之順序排列，式中之 N 表示規模大於或是等於 M 之次數。

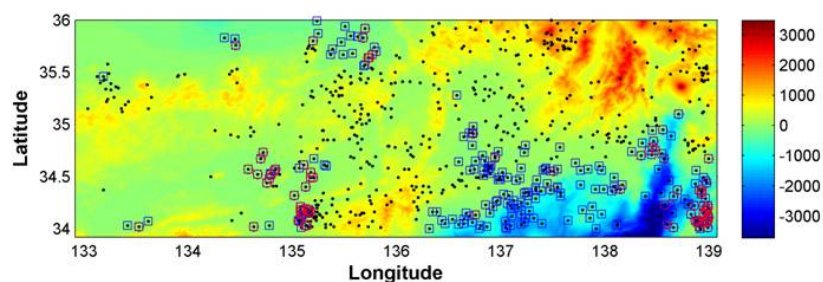
G-R關係式(2/2)



由地震資料庫原始資料可求得區域內各震度之發生次數累計值，以G-R關係式求得回歸線，如上圖例：藍點為此區域內原始地震資料各震度累計次數取log值，求得原始地震資料回歸線後，以此回歸線線性推估未來50年、未來100年之發生地震數期望值。

海嘯發生條件

- ▶ 海嘯發生條件：震央位於海洋且震源深度小於30公里
- ▶ 下圖藍色框框為震央位於海洋
- ▶ 紅色圓框為震源深度小於30公里



海嘯地震期望數

此區域未來50年、未來100年之發生地震數期望值：

地震數期望值					
	7	7.5	8	8.5	9
50年	3.114941	0.904865	0.262856	0.076358	0.022181
100年	6.223837	1.807342	0.524763	0.152594	0.044391

此區域震央位於海洋且震源深度小於30公里數：

總地震數	海源且淺層地震
2540	640

相乘後得各震度發生海嘯地震期望數：

引發海嘯的地震數期望值					
	7	7.5	8	8.5	9
50年	0.785913	0.228301	0.06632	0.019265	0.005596
100年	1.5703	0.456	0.1324	0.0385	0.0112

海嘯溢淹機率 Tsunami Inundation Probability (TIP)

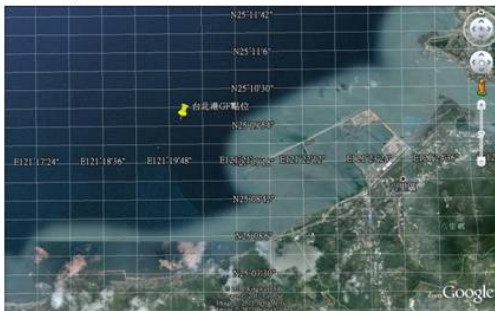
波高計算

溢淹模擬&
溢淹機率

波高對應溢淹機率
=海嘯溢淹機率
(TIP)

波高計算(1/3)

- ▶ 應用格林函數
- ▶ 初始波計算
- ▶ 計算126個點位各5個地震矩規模(7、7.5、8、8.5、9)發生海嘯產生之最大波高結果



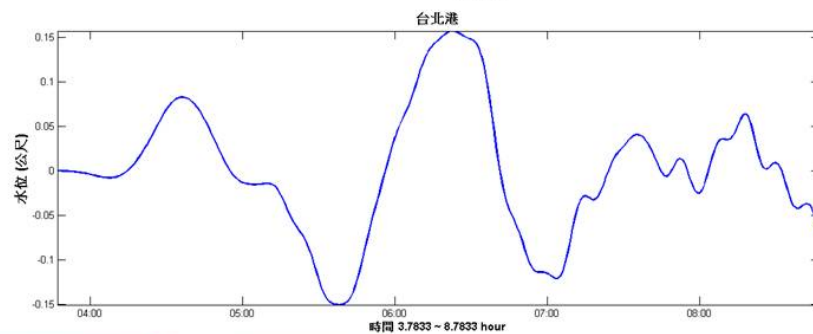
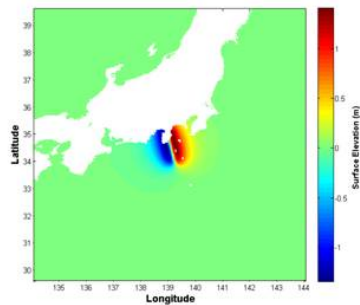
台北港格林函數點位



基隆港格林函數點位

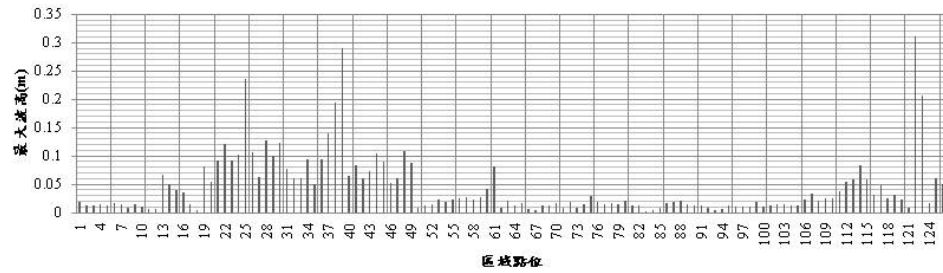
波高計算(2/3)

- ▶ 初始波計算
- ▶ 水位變化(台北港)

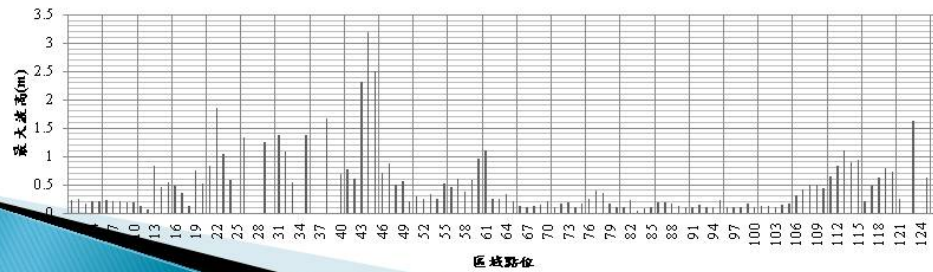


波高計算(3/3)

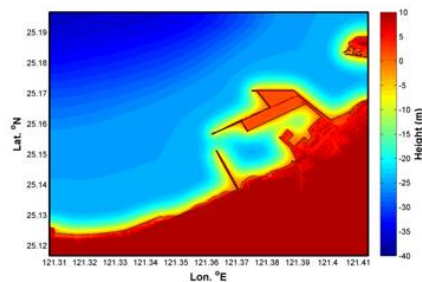
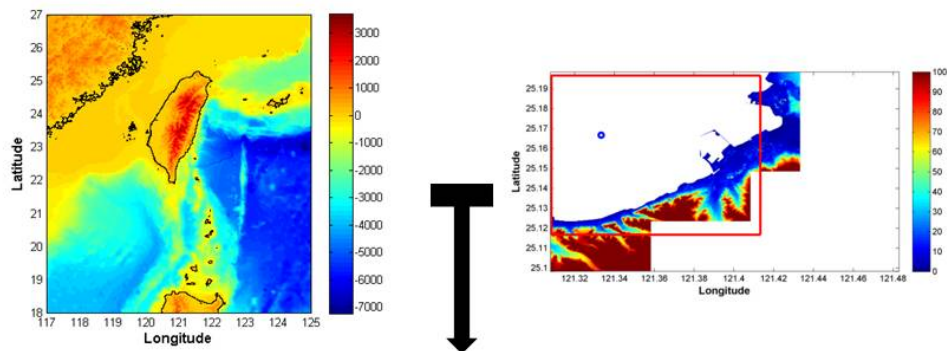
▶ 126點位最大波高記錄 Mw=8



Mw=9



溢淹模擬(1/6)-數值地形

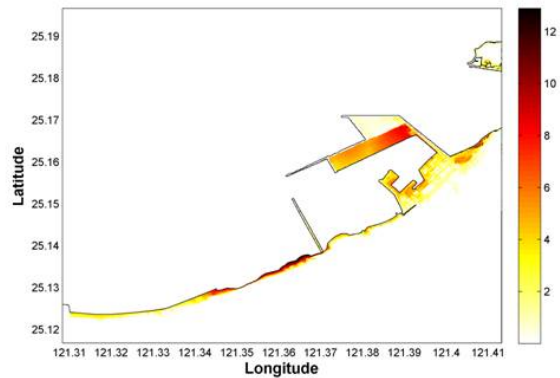
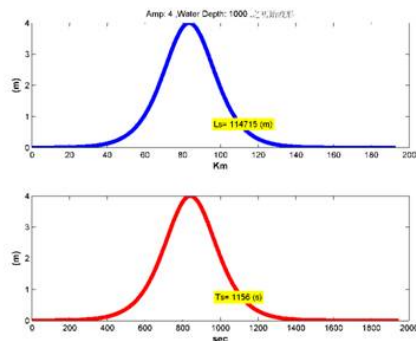


數值地形

溢淹模擬(2/6)-溢淹結果

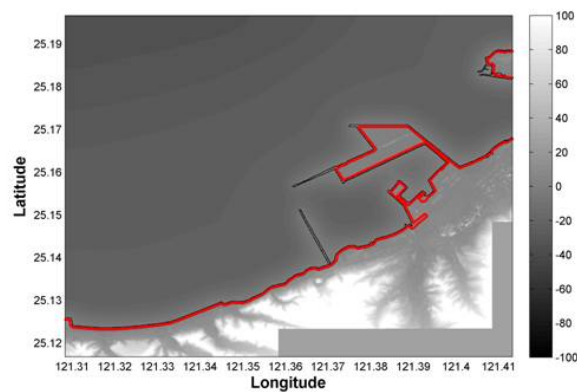
入射波(4m)

溢淹結果(4m)

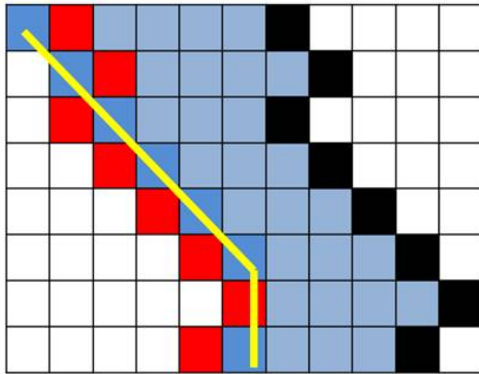


溢淹模擬(3/6)-溢淹機率

▶ 離岸50公尺線(紅色線部分)

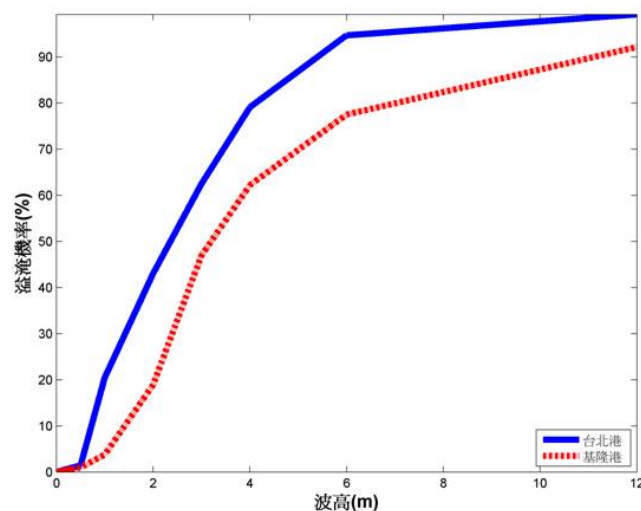


溢淹模擬(4/6)-溢淹機率定義



- ▶ 黑點為岸線
- ▶ 紅點為離岸50公尺
- ▶ 藍點為水溢淹的點
- ▶ 黃線為溢淹範圍線
- ▶ 此例紅點與藍點相疊的點位總計有3點，紅點總數為8點，因此溢淹機率為 $3/8=0.375$ 。

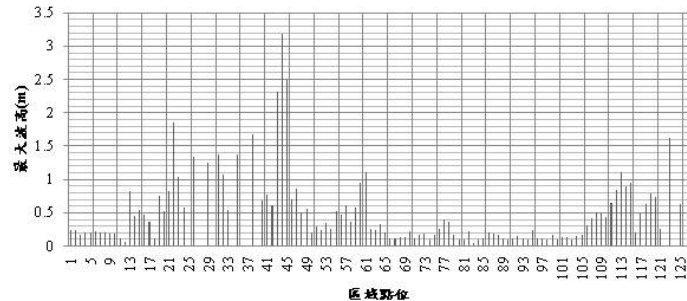
溢淹模擬(5/6)-不同波高溢淹機率



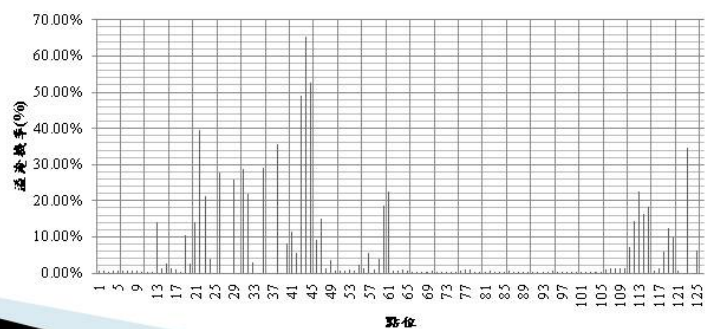
溢淹模擬(6/6)-波高與其對應溢淹機率

Mw=9

▶ 規模9波高



▶ 對應溢淹機率



海嘯風險評估結果(1/2)

海嘯地震期望數
Tsunamigenic
Earthquake
expectation Number
(TEN)

波高對應溢淹機率
=海嘯溢淹機率
(TIP)

海嘯風險評估結果

海嘯風險評估結果(2/2)

▸ 台北港

未來50年2.79%

未來100年5.59%

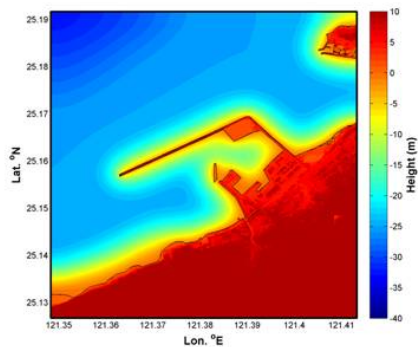
▸ 基隆港

未來50年3.25%

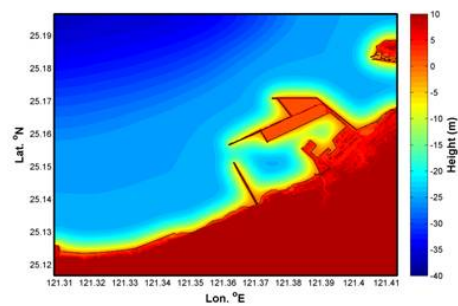
未來100年6.49%



地形更新比較(1/2)



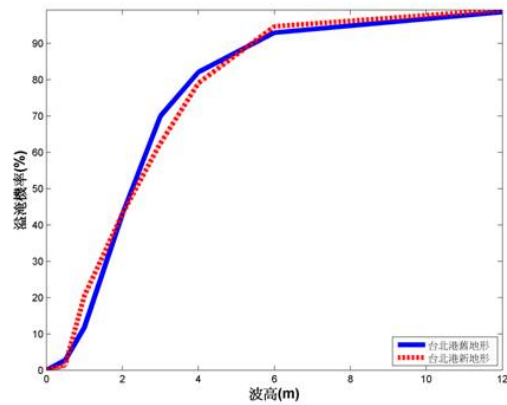
較舊地形(2006)



目前地形(2011)

地形更新比較(2/2)

- 台北港舊地形
未來50年3.08%
未來100年6.16%
- 台北港目前地形
未來50年3.25%
未來100年6.49%



入射波週期比較

- ▶ 不同週期波高2公尺溢淹台北港之溢淹機率

週期	10分鐘	20分鐘	30分鐘	40分鐘
溢淹機率	43.5%	43.05%	42.49%	40.4%

結論

- ▶ 精進基隆港域及台北港域海嘯數值模式之格林函數，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度。
 - ▶ 完成海嘯模擬預警即時地震資料擷取系統，增加日本防災科學技術研究所(NIED)所提供之F-net即時地震資料庫。
 - ▶ 台北港域未來50年及100年海嘯災害風險，評估結果分別為2.79%與5.59%；基隆港域未來50年及100年海嘯災害風險，評估結果分別為3.25%與6.49%。
 - ▶ 改變地形海嘯災害風險評估計算結果差異不大。
 - ▶ 改變週期以2公尺波高計算其溢淹機率差異不大。
- 

懇請指教