

海嘯預警系統及災損資料庫建置計畫(3/3)

Establishment of Tsunami Early Warning System and Disaster Scenario Database

主管單位：科技部

葉錦勳¹ 林青青¹

Yeh, Chin-Hsun Lin, Ching-Ching

¹ 國家地震工程研究中心

摘要

本文為國家科學委員會專題委託研究計畫「海嘯預警系統及災損資料庫建置計畫(3/3)」之精簡報告；工作重點為整合與校正不同來源、座標系統和解析度的陸地和海域的數值地形資料，重新內插以產製正確、合理之 COMCOT 所需的巢狀網格數值地形資料；其次，重新檢討可能影響臺灣地區的海嘯源，擬訂海嘯災損模擬資料庫內所需涵蓋的震源參數組合(目前包含不同震矩規模、斷層滑移量、斷層走向，概分 T、S 和 R 等三種情境設定，共 600 組)，並進行海嘯數值模擬；再者，為提升海嘯模擬效率和縮短計算時間，探討不同巢狀網格配置對海嘯模擬結果之收斂性和正確性的影響；最後，為完備影響臺灣地區的海嘯源，嘗試利用 COMCOT 模式探討海底山崩引致海嘯的模擬技術。

關鍵詞：海嘯模擬、溢淹潛勢分析、海嘯災損資料庫、海嘯早期預警系統

Abstract

This is a summary report of “Establishment of Tsunami Early Warning System and Disaster Scenario Database” project, which was commissioned by Ministry of Science and Technology. At the beginning, the main task was focused on checking the validity and unifying the coordinate systems of DEM data from the various existing sources. The DEM data were re-interpolated to provide input of COMCOT software. Secondly, probable tsunami sources that will affect Taiwan were investigated and various kinds of seismic source settings were proposed and used to establish tsunami disaster scenario database. There were 600 scenarios of different earthquake magnitudes and epicenter locations in the database; and the scenarios were classified into three types according to different assumptions on rupture length, width, dislocation and fault strike direction. In order to improve the efficiency of tsunami simulation by COMCOT, different configurations of grids and resolutions were studied to accelerate tsunami simulation while maintaining the accuracy of outputs.

Keywords : Tsunami simulation, inundation potential analysis, tsunami scenario database, tsunami early warning system

一、前言

本計畫整體目標在強化海嘯模擬技術與建置海嘯早期預警系統，執行期限自 2011 年 8 月 1 日至 2014 年 7 月 31 日止。研究步驟包含調查對臺灣具有災害潛勢的海嘯源，擬定各種可能引致海嘯的震源參數組合，透過數值模式的模擬，獲得海嘯波高、淹水深度、最大流量等資訊。再以既有臺灣地震損失評估系統(TELES)之軟體架構和資料庫為基礎，開發整合地理資訊系統的海嘯災損推估系統—Tsunami。將海嘯模擬結果匯入地理資訊系統中，即可與其它風險暴露和基本圖資套疊，製作災害潛勢圖，建置海嘯災害潛勢資料庫，藉以研發海嘯早期預警機制。

第一年工作主要在建立計算環境、識別海嘯源、收集必要資料和整合地理資訊系統技術等。本計畫採用康乃爾大學發展之海嘯模式(COMCOT)進行數值模擬；根據專家意見，識別可能影響臺灣地區的海嘯源，可概分為 T01~T18；收集並整理數值地形資料，進行海嘯模擬並評估沿海地區的溢淹潛勢；開發 Tsunami 雛型軟體。

二、數值地形資料之整合與校正

陸地與海洋數值地形資料的精確性，可直接影響海嘯模擬和沿海地區的溢淹潛勢分析結果。第一年所使用的數值地形資料存在不合理的現象，譬如陸地與海洋交界處、鄰岸海域的數值高程等，影響溢淹潛勢分析結果的可信度。為彌補前述缺失，本年度的工作重點即在整合內政部所提供之高解析陸地數值地形資料，並據以校正其它不同來源、座標系統與解析度的陸地與海洋數值地形資料。

表 1 為本年度整合暨校正所採用的數值地形資料。在整合時，除須進行必要的座標轉換外，若發現部分數值地形資料与其它較可靠圖資(如行政區界圖)比對時有不合理數值，例如：位於行政區界外但高程大於零、同一座標位置但高程差異過大、東部近海海域的水深極淺等，須一併處理。一般而言，解析度較高的資料，其可信度也較高；以可信度較高的圖資校正可信度較低的圖資，並去除不合理資料點。套疊內政部提供之高解析數值地形資料、行政區界圖和福衛二號衛星影像等，可發現三者具極高的吻合度，因此可以前述三項圖資作為後續數值地形資料校正時的基準；將海科沿海水深資料與行政區界圖比對，發現其取樣位置具極高可信度，可作為校正其它海底數值地形資料的基準。

表1 本計畫彙整之數值地形資料組

資料組 (解析度)	資料來源	座標系統
ETOPO2 (2 弧分)	美國地球物理資料中心	WGS84 經緯度
海科海洋 (0.005 度)	海洋科技研究中心	TWD97 經緯度
海科沿海水深(N.A.)	海洋科技研究中心	TWD97 經緯度
中大海域 (0.001 度)	中央大學地科系	TWD67 經緯度
中大陸地 (40 公尺)	中央大學太空遙測中心	TWD67 二度分帶
內政部 5m (5 公尺)	內政部地政司	TWD97 二度分帶

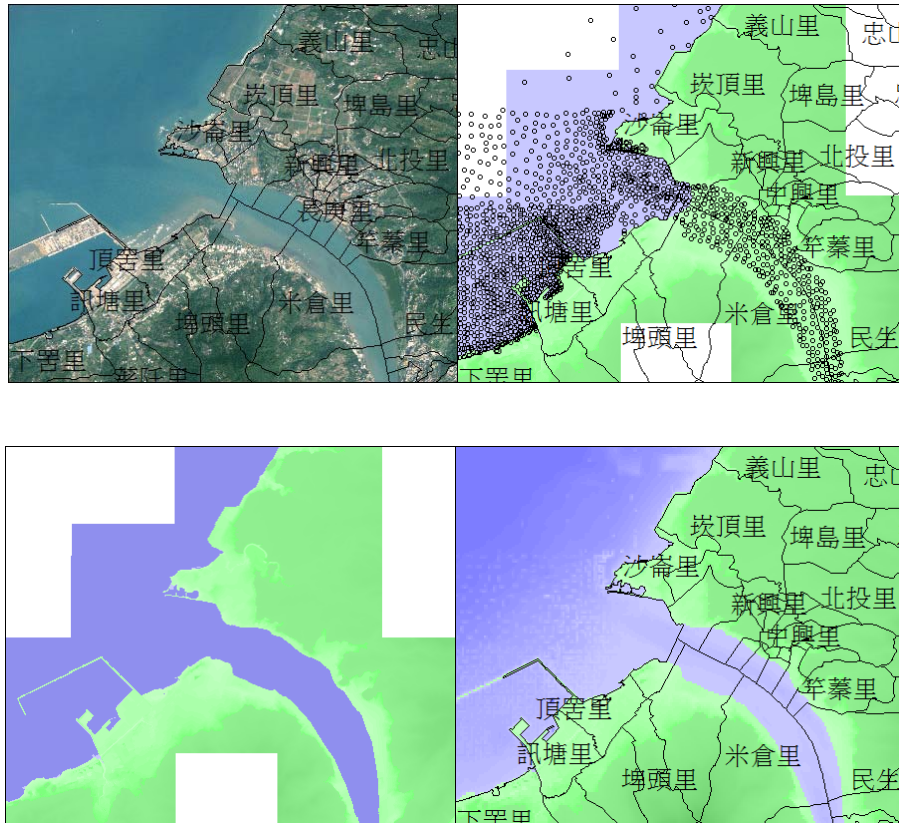


圖1 新北市淡水河河口附近地形資料校正，左上：福衛二號衛星影像和行政區界圖；右上：內政部高解析數值地形資料、行政區界圖和海科沿岸水深資料點；左下：處理後的高解析數值地形資料；右下：解析度為 0.0004 度之內插分析結果

在整合校正不同來源之數值地形資料後，因原始規則排列的網格資料點已不存在，須重新內插分析以獲得不同解析度的數值地形資料。在去除不合理資料點時，常見的情況為港灣內和近海區域的海域資料點，因高程大於零而被刪除。為避免內插分析後，港灣內或河川出海口的高程再出現大於零的現象，需事先計算水陸交界的資料點位置，並在內插分析時作為必要的輸入資料點。因高解析數值地形資料的數量龐大，須開發工具軟體進行資料分割、局部內插分析、合併內插分析結果等。

三、海嘯源識別與情境模擬事件設定

第一年研究成果之一係識別臺灣周圍可能引致海嘯影響臺灣的海溝，如馬尼拉海溝、亞普海溝...等。將海溝依專家學者建議，劃分為 T01~T18，視為 18 段獨立之海溝。每段海溝為一海嘯源，其中，各段海溝可能引致地震的最大震矩規模一併由專家們決議訂定。透過彙整後之海洋地形水深圖描繪 T01~T18 形貌，並估算其空間上長度。根據 Yen and Ma (2011)的研究成果，計算 T01~T18 海溝在專家建議之地震規模時的破裂長度和滑移量，以此破裂長度作為參考長度。考慮若每段海溝在空間上的長度遠大於參考長度時，假設破裂位置不同，可再細分為不同的海嘯事件以進行境況模擬分析，如亞普海溝(T08)可概分為 T08a 和 T08b 兩種破裂區域。依此方式將原始 18 個海嘯源細分 27 個海嘯源。

為建置可能影響臺灣地區之一系列海嘯事件的災損模擬資料庫，本年度情境模擬事件概分為 T、S 與 R 三大類。T 事件係假設斷層破裂面的方位角(strike)與已知海溝的方

向大致相同。其次，依 Yen and Ma (2011)的研究成果，由震矩規模推算所對應的破裂面積、斷層破裂長度和錯動量。最後，斷層破裂寬度由破裂面積除以破裂長度而得。

S 事件主要在考慮地栓效應影響。在給定的震矩規模下，假設斷層破裂面的方位角仍與海溝方向一致，但錯動量為平均值的 1.5 倍。此時，為維持相同的地震規模值，面積須除以 1.5 以維持能量釋放不變。假設斷層長度與寬度等比例縮小。

編號 R 開頭之事件(圖 2)則是考量極端情況，不僅考慮地栓效應，更任意地改變斷層破裂面之方位角，使其海嘯波能量正對臺灣方向傳遞，作為該海嘯源可能影響臺灣地區最嚴重的海嘯事件。其擬訂原則是以斷層中心點為轉軸，旋轉斷層破裂面之方位角，令出露地表之斷層線的法線方向與斷層中心點至參考點(121E, 23.5N)的連線一致。因 R08~R14 位於太平洋中間，離陸地較遠，假設斷層線旋轉的角度不受限制；其餘破裂區塊因離陸地較近，因此控制旋轉角度小於 10 度。

為簡化分析時的條件設定，假設斷層面傾角(dip)統一為 20 度，滑移角(slip)為 90 度。震央設定於斷層參考長度之中心點。並據第一年度之成果觀察，以震矩規模 7.7 作為最小的模擬規模，增量為 0.2；情境事件的最大震矩規模則超過專家建議值約 0.2~0.3。T、S 與 R 各有 200 個事件。模擬總長(時間)則依破裂面距臺灣遠近，設為 3、6 與 12 小時。

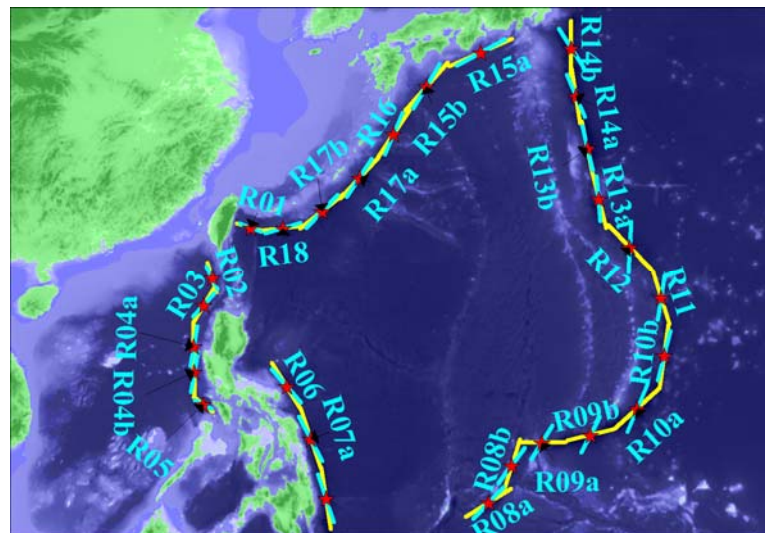


圖2 R 事件之海溝破裂方向(淺藍)，依水深圖描繪之海溝走向(黃)

四、COMCOT 巢狀網格配置

模式計算時，為顧及數值地形資料品質和運算模擬所需時間，以多重網格層模式進行模擬。一般認為相鄰兩網格層的解析度比為 1:4，可確保分析結果的可信度。將彙整後之數值地形資料內插成如表 2 之解析度。解析度 0.0004 度用於模擬海嘯在近岸的溯上行為，為節省運算時間，共分 40 個小區塊環繞臺灣沿海。

表2 網格層範圍與解析度

解析度	範圍
0.0256 度	105E~155E;6N~40N
0.0064 度	118E~124E;20N~27N
0.0016 度	119E~122.5E;21.5N~26N
0.0004 度	環繞臺灣沿海及澎湖

五、海底地滑引致海嘯討論

臺灣位於大陸棚邊緣，由於河川所沖蝕之沉積物大部分堆積於大陸棚海底，堆積現象的不均衡或海底地震均可能誘發海底地滑。為了探究海底地滑規模與模式參數所引致的海嘯，避免複雜地形效應對於海嘯波傳遞造成影響，故本章使用一個理想化的等坡度之斜坡地形進行 COMCOT 海底地滑模組測試，並以五種不同規模大小的滑落塊體進行模擬，以了解不同的塊體寬度與長度所引致的海嘯規模與特性。假設斜坡為 30.5 度，塊體厚度為 30 公里，其餘參數如表 3 所示。

表3 地滑規模參數設定

案例	塊體長度	塊體寬度	滑落距離
A	100 公里	100 公里	300 公里
B	200 公里	200 公里	300 公里
C	300 公里	300 公里	300 公里
D	300 公里	300 公里	100 公里
E	300 公里	300 公里	200 公里

由模擬結果可知，滑動塊體面積增加 9 倍，最大波高增加約 1.43 倍；而在滑動塊體面積相同的條件下，滑落距離增加 3 倍，海嘯最大波高約增加 1.66 倍，而對於最大波高到達時間幾乎沒有差別。

由於海底地滑所需參數眾多，在實際應用上亦需考慮海嘯波對於海岸的衝擊。本章所測試的參數敏感性與海底地滑引致之海嘯波特性結果，對後續計畫在實際推算臺灣海域可能發生的最大規模海底地滑所引致之海嘯波應有所助益。

六、溢淹潛勢分析

為涵蓋未來可能侵臺的各種海嘯事件，本年度依 T、S 與 R 三種類型，共完成 600 例海嘯情境事件。透過潮位站的歷時記錄分析(圖 3)海嘯初達波到時、最大波到時及最大的海嘯波高，並製作表格列出受影響村里的最大淹水深度。在海嘯模擬結果的展示部份，除了以往的陸上溢淹範圍與淹水深度外，也將海上的浪高分布一併繪出，綜觀海嘯能量分布。

綜觀本年度海嘯模擬的案例結果，可發現臺灣東半部雖然直接面對太平洋諸多海嘯源的威脅，但因東部海域水體厚度大，加上岩岸地形，除了少數平坦沙岸外，其餘大都腹地狹窄，山脈逼近海岸，因此海嘯不容易造成大範圍的溢淹情形。西部地區除了高雄、

屏東等兩縣市需嚴加注意馬尼拉海溝錯動所引起的海嘯外，其餘縣市較不受海嘯的影響。根據 COMCOT 模式計算結果，宜蘭縣蘭陽平原(五結鄉、壯圍鄉、礁溪鄉)與蘇澳港、花蓮港、臺東市區，以及屏東車城、林邊、佳東鄉和墾丁南灣一帶，受海嘯溢淹影響較為嚴重。另外，因海底地形效應，靠近河口區域為易受海嘯侵襲的地區，未來可針對這些區域加強防治對策。

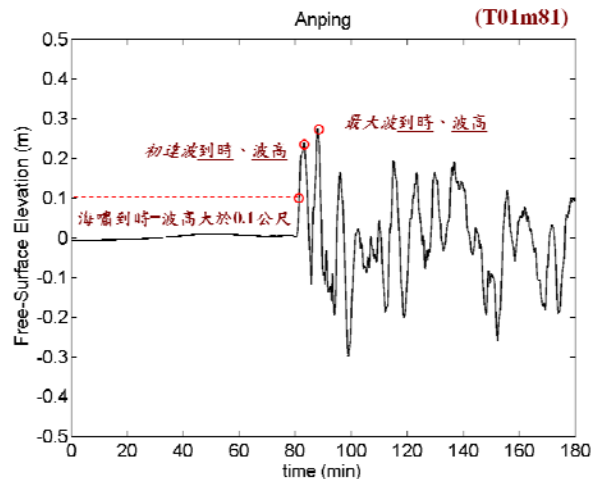


圖3 潮位站波高歷時紀錄分析

七、結論與展望

綜合而言，本年度的計畫成果著重在充實海嘯模擬資料庫的內容。在相同地震規模和震央位置的強震作用下，T、S 和 R 三種情境設定的模擬結果，可分別代表平均、特殊和極端的後果，於應變時可提供更豐富的資訊。為提升海嘯早期預警系統的應用價值，本年度運用已完成的海嘯情境模擬資料庫，評估海嘯造成的全臺溢淹潛勢範圍，繪製成海嘯溢淹潛勢圖。並探討因不同來源以及類型的海嘯事件，造成臺灣各鄉鎮區和各村里的平均溢淹深度、溢淹面積以及溢淹水量等溢淹情形，以期未來能根據溢淹評估條件，協助具有高溢淹潛勢風險之縣市研擬地區災害防救計畫之海嘯防治對策。另持續研發及更新 TELES for Tsunami 的功能，結合中央氣象局與太平洋海嘯中心的海嘯警報資訊，研發海嘯早期預警系統所需的演算法。在接收到中央氣象局或太平洋海嘯中心之電子郵件警報單時，以自動處理方式研判海嘯到時、可能的侵襲範圍與溢淹深度等資訊，提供相關防救災單位與縣市政府決策參考，藉以降低海嘯造成之損失與傷亡。

參考文獻

1. 許樹坤，2007，「臺灣海嘯的潛勢分析---臺灣附近海底山崩造成海嘯潛勢之地物調查」，行政院國家科學委員會研究報告。
2. 葉錦勳，2003，「臺灣地震損失評估系統—TELES」，國家地震工程研究中心，NCREE-03-002。
3. Wang X., 2009, User Manual for COMCOT Version 1.7, <http://ceeserver.cee.cornell.edu/pll-group/comcot.htm>.
4. Yen, Y.T., and Ma, K.F., 2011, Source-Scaling Relationship for Mw 4.6-8.9 Earthquakes, Specifically for Earthquakes in the Collision Zone of Taiwan: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 101, no. 2, p. 464-481.