

海嘯危險度地圖—以新北市金山與萬里區為例

The Hazard Map induced by Tsunami-the case study in Jinshan and Wanli

台灣大學
氣候天氣災害研究中心
助理研究員

林永峻

Yong-Jun Lin

台灣大學
氣候天氣災害研究中心
博士後研究

張向寬

Hsiang-Kuan Chang

台灣大學
氣候天氣災害研究中心
助理研究員

馬國宸*

Kuo-Chen Ma

台灣大學
水工試驗所
研究員

賴進松

Jihn-Sung Lai

台灣大學
生物環境系統工程系
主任

張倉榮

Tsang-Jung Chang

中央大學
水文與海洋科學研究所
助理教授

吳祚任

Tso-Ren Wu

聯合大學
建築系
副教授

鄧慰先

Wei-Hsien Teng

台灣大學
氣候天氣災害研究中心
主任

譚義績

Yih-Chi Tan

摘 要

2004 年南亞海嘯及 2011 年 3 月 11 日日本海嘯事件造成的傷亡及各類損失慘重引發世界關注，而台灣北海岸在 1867 年也曾發過一次大海嘯。有鑑於此，本研究以假設之外海地震情境，以新北市金山與萬里地區作為研究對象，採用美國康乃爾大學海嘯模式-COMCOT 模式，計算外海地震引發之海嘯高度與速度；再將 COMCOT 模式計算至台灣北海岸之結果設為 FLO-2D 二維淹水模式之邊界條件，進行二維淹水模擬，以釐訂海嘯之溢淹影響範圍，並分析海嘯進入陸地之最大淹水深度、最大水流速度及最大水位上升速率，用以產出海嘯危險度地圖，檢視可能致災之熱點，供未來我國海嘯防救災工作之參考，期能減少或降低對社會所造成的衝擊與生命財產損失。

關鍵詞：海嘯，FLO-2D 二維淹水模擬，危險度地圖。

ABSTRACT

The casualties and damages brought by the South Asia Tsunami in 2004 and the East

*通訊作者，台灣大學氣候天氣災害研究中心助理研究員，10617 台北市羅斯福路 4 段 1 號，d90622007@ntu.edu.tw

Japan Tsunami in 2011 have been noted by the whole world. A great tsunami had stroke the northern coast of Taiwan in 1867. The study area is focused on Jinshan District and Wanli District, New Taipei City. The assumed earthquake scenario is used for Cornell University tsunami model (COMCOT model) which simulates the wave height and wave speed of the tsunami triggered by the earthquake. The wave heights of the northern coast of Taiwan are then used as boundary conditions for FLO-2D overland simulation model. With this model, the maximum flood depth, the maximum velocity of the tsunami wave and the maximum water level rise rate are gotten and used for production of tsunami hazard map. The hot spots of assumed scenario can be read from this map and used to take suitable measures to reduce the social impact, the loss of life, and properties.

Keywords: Tsunami, FLO-2D 2D flood simulation, Hazard map.

一、前 言

2004年南亞海嘯之強大威力造成22萬餘人罹難，超過51萬人受傷，海嘯高度高達30m；而2011年日本311東北震災，芮氏規模達9，造成宮城縣最高逾15m以上之大海嘯，並加上衍生核災之複合式災難令人觸目心驚，相關災情如圖1與圖2，逾1萬5千餘人罹難及超過4千餘人失蹤之慘劇。另根據「淡水廳志」的記載：「同治六年(1867年)發生大地震，雞籠頭、金包里沿海，山傾地裂，海水暴漲，屋宇傾壞，溺數百人。」(陳培桂，1871)，其中雞籠頭為今基隆市，而金包里為現今之新北市金山區(如圖3)，其芮氏地震規模推估為7.0，震央在基隆外海(徐明同，1983)。

中央氣象局為評估海嘯威脅之可能性及其程度，參考日本海嘯預警作業和臺灣過去海嘯災害歷史紀錄與其觀測經驗，以行政區域為基礎，考量區域性地震活動特徵與鄰近海域地體構造，依循「交通部中央氣象局海嘯資訊發布作業要點」(民國100年4月16日)，公布「臺澎金馬沿海地區海嘯警戒分區劃分表」、「臺澎金馬沿海地區海嘯預估波高分級表」及「臺澎金馬沿海地區海嘯危險性分級表」，其中「臺澎金馬沿海地區海嘯危險性分級表(表1)」指出新北市過去資料中顯示有海嘯災害且有造成災害，其分級為最危險等級I。

鑒於臺灣所處的地理位置與地質構造，位於歐亞板塊、菲律賓板塊與太平洋板塊等三大板塊之交界，由於板塊間之移動造成地震頻繁；另



攝影者:譚義績

圖1 日本311海嘯侵襲小學造成門窗推毀且圍牆倒塌只剩主結構體



攝影者:譚義績

圖2 日本311海嘯侵襲後之倒塌冰庫

表 1 臺澎金馬沿海地區海嘯危險性分級表

區級	縣市	說明
I	新北市、基隆市	資料顯示有海嘯災害者。
II	臺中市、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南市、高雄市(含東沙、南沙)、屏東縣、臺東縣、花蓮縣、宜蘭縣、澎湖縣	資料顯示可能有海嘯紀錄或疑似海嘯紀錄，但無海嘯災害者。
III	桃園縣、新竹縣、新竹市、苗栗縣、金門縣、連江縣	資料顯示並無海嘯紀錄，但可能受影響者。
附註：臺北市、嘉義市、南投縣未臨海，無海嘯威脅。		

資料來源：中央氣象局海嘯資訊發布作業說明-附件 4

(2012/01/18) (<http://www.cwb.gov.tw/V7/service/notice/postnotice.php?cls=16>)

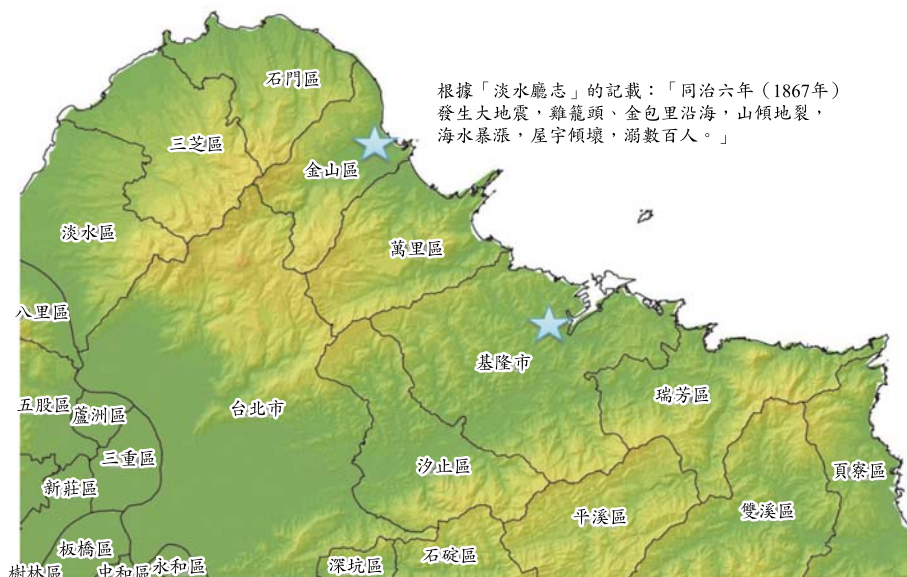


圖 3 臺灣北部地區海嘯災害歷史位置

外，東側有琉球海溝，南側有馬尼拉海溝，兩條斷層均屬隱沒帶，可能引發規模較大的海底地震。此外台灣各類歷史文件記載，未來臺灣再次發生海嘯不無可能，且北部有許多海岸地區，其中新北市海岸線長達 120 餘公里，東北、北部、西北部均臨海，北海岸與東北角海岸擁有豐富的海景奇觀及海岸風光，其中金山與萬里區內之溫泉、觀光產業及養殖漁業相當盛行，倘若這些地區遭受海嘯侵襲，造成之災害損失相當可觀。

為提升沿海地區民眾之居住安全與政府相關單位之防救災資源配置，防止災害擴大，將災損降至最低，本研究目標在於掌握海嘯發生時可能影響之區域及淹水深度與速度，進而評估其造成之危險度。

二、海嘯淹水潛勢模擬研究方法

海嘯係為海水受到劇烈且巨大的擾動，而形成有別於一般波浪，具有強大破壞力的海浪，可能對沿海地區造成嚴重的破壞，其形成原因為海水受到垂直方向的擾動，包括：海底地震(地震時造成海床之垂直位移)、海底山崩(海溝斜坡崩塌)、海底火山爆發(火山爆發之劇烈的垂直力推動其上方的水體)、陸地山崩(山崩造成大量土石落入海中)以及隕石(隕石掉落入海中)。

本研究根據吳祚任(2011)「行政院災防應用科技方案－台灣潛在高於預期之海嘯模擬與研究」之報告書中指出，可能之侵台海嘯以菲律賓海板塊與相鄰板塊碰撞為主要地震與海嘯之來



圖 4 COMCOT 模式模擬之海嘯影響範圍圖

源，以假設亞普海溝發生海底地震之情境，運用美國康乃爾大學海嘯模式-COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami model)模式模擬可能引發之海嘯高度，但因 COMCOT 模式之計算網格尺度較大，此模式至陸地後精度略為不足(如圖 4)，故本研究採用 FLO-2D 模式銜接 COMCOT 波浪之流速與水位，並以較細緻之網格(40 m × 40 m)推測其侵襲臺灣北部沿岸之影響範圍以計算危險度，供未來防救災工作之參考(如圖 5)。

2.1 海嘯數值模式-COMCOT 模式

本研究海嘯模擬採用的是 COMCOT 數值模式(Gica *et al.*, 2007; Wang and Liu, 2005; Wang and Liu, 2006; Wu *et al.*, 2006)，此模式為美國康乃爾大學土木與環境工程學系劉立方教授團隊研發，優點為可計算多重尺度之波浪傳播現象，如遠海之大尺度海嘯傳播以及近海之小尺度海

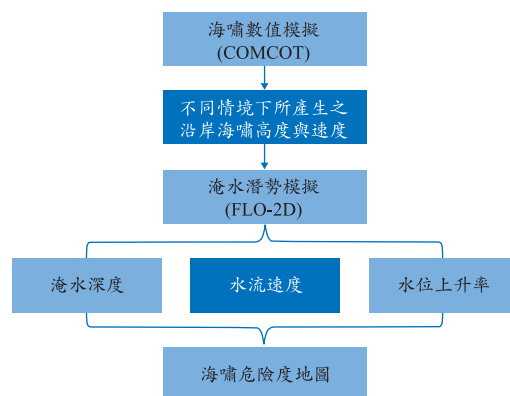
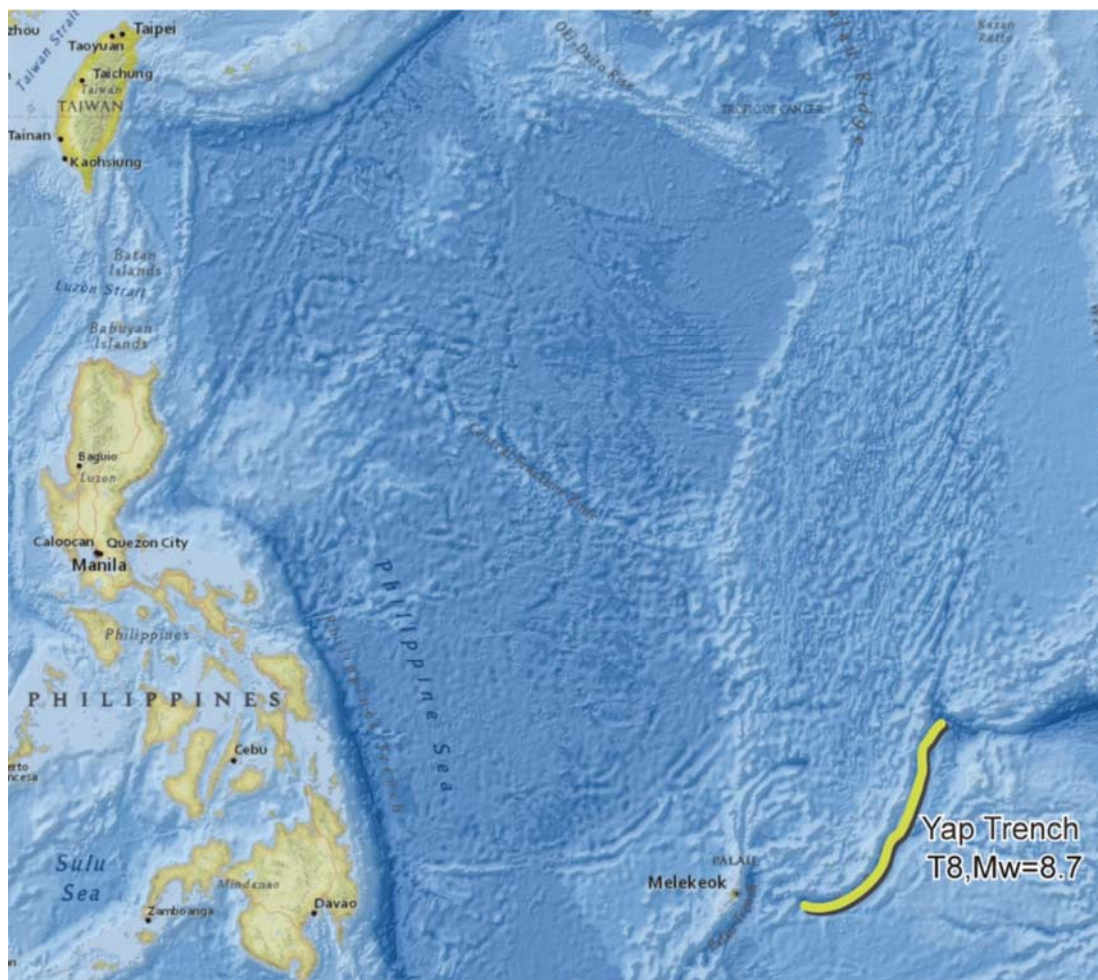


圖 5 研究流程圖

嘯傳播等，近年來已被許多專家學者廣泛應用，其中吳祚任(2011)之研究指出，COMCOT 可模擬造成臺灣本島的 22 個海嘯情境，其中 T1 (花蓮外海)及 T2 (馬尼拉海溝 1)、T3 (馬尼拉海溝)、T8 (亞普海溝)之海嘯對台灣沿海影響最大。以新



資料來源：吳祚任(2011)，行政院災防應用科技方案－台灣潛在高於預期之海嘯模擬與研究

圖 6 T8 海嘯源之位置圖

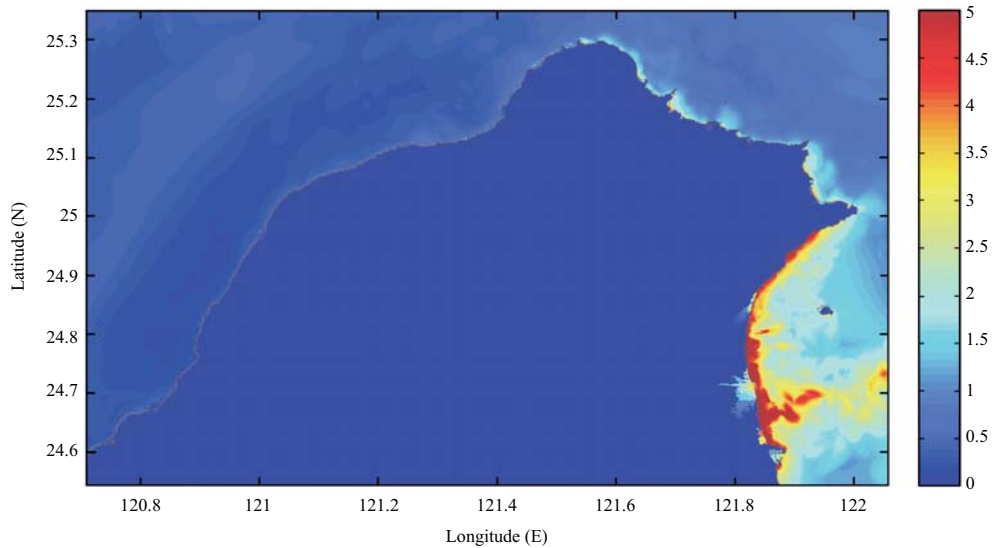
北市而言，T8 (亞普海溝)情境所造成之波高最高，如圖 6 所示，而新北市北海岸之波高約為 1.78 m~2.6 m (如圖 7)。

帛琉東側的亞普(Yap)海溝距離臺灣約 2,000 公里，係位於馬里亞納海溝西側，該情境海嘯震源參數設定依據如下，參數值詳表 2。

1. 地震規模(M_w)：根據地震定比定律，再決定破裂面積 A 與破裂深度後，可決定其地震規模。本研究採用之定比定律為考慮 2011 Tohoku Earthquake 之非線性定比定律。
2. 地震破裂長度(L)：破裂長度考慮斷層與海

溝之地形與地質條件，以較均一之地質結構決定。最大破裂長度單位為公里。

3. 破裂寬度(W)：寬度則參考過去世界上觀測到較大規模之地震及其寬度而定，本研究所考慮之破裂寬度以 50 公里為主。
4. 破裂深度(H)：假設其為 35 km 以內，並考慮最糟情境，其破裂至地表。
5. 破裂面積(A)：慮引起大規模海嘯之地震均屬於淺層地震，其深度鮮少深於 35 公里，如 2004 蘇門達辣海嘯與 1960 智利海嘯。因此本研究假設破裂深度為 35 公里以內，並考慮最糟情境之破裂至地表。



資料來源：吳祚任（2011），行政院災防應用科技方案－台灣潛在高於預期之海嘯模擬與研究

圖 7 T8 (亞普海溝)震源海嘯波高分佈圖

表 2 海嘯震源參數表

海嘯震源參數	參數值
地震規模(Mw)	8.72
地震破裂長度(L)	626.89 km
破裂寬度(W)	50 km
破裂深度(H)	假設其為 35 km 以內，並考慮最糟情境，其破裂至地表
破裂面積(A)	31,344.51 km ²
滑移量(D)	10.15 m
地震矩(Mo)	1.35E+22 Nm

6. 滑移量(D)：將已決定之地震規模 Mw 轉換為地震矩 Mo，再透過同一系列之地震定比定律，可決定斷層之滑移量，單位為公尺。

2.2 二維淹水模式(FLO-2D)

由上述之 COMCOT 模式以 T8 情境式海嘯模擬臺灣北部沿海鄉鎮外海水位變化，而海嘯對陸地溢淹則以不同波高之孤立波模擬海嘯波垂直海岸線入射，求得不同程度海嘯溢淹範圍。淹水模式採用 FLO-2D 模式，輸入海岸線之海嘯波高與波速，以模擬臺灣北部沿海鄉鎮之淹水狀況。以下就模式相關理論簡述之：

FLO-2D 模式(O'Brien *et al.*, 1993)使用中央有限差分(central finite difference scheme)數值方法，來求解二維漫地流 x 軸方向之平均流速 V_x 、y 軸方向之平均流速 V_y 與流動深度 h 等變數。其控制方程式包含連續方程式和運動方程式，如(1)~(3)所示。

1. 連續方程式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hV_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hV_y)}{\partial y} = i \dots\dots\dots (1)$$

式中， h = 流動深度； V_x = x 軸方向之平均流速； V_y = y 軸方向之平均流速； i = 有效降雨強度； t = 時間。

2. 動量方程式：

$$S_{fx} = S_{0x} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} \right) - \frac{V_y}{g} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} \right) - \frac{1}{g} \left(\frac{\partial V_x}{\partial t} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$S_{fy} = S_{0y} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \left(\frac{\partial V_y}{\partial y} \right) - \frac{V_x}{g} \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} \right) - \frac{1}{g} \left(\frac{\partial V_y}{\partial t} \right) \dots\dots\dots (3)$$

表 3 淹水深度因子分級表

分級(m)	分級分數	分級說明
0~0.3	0~0.5	淹水深度在孩童膝蓋高度以下。
0.3~0.5	0.5~0.7	淹水深度達成人膝蓋高度左右及車輪一半或底盤高度，行動困難。
0.5~1	0.7~0.9	淹水深度已達成人腰部高度，車子已經無法行駛。
1~3	0.9~1	淹水深度已達成人胸部以上。
>3	1	淹水深度可至二樓以上。

註：分級對應到各自的分級分數為線性關係

式中， S_{fx} = x 軸方向之摩擦坡降； S_{fy} = y 軸方向之摩擦坡降； S_{0x} = x 軸方向之底床坡降； S_{0y} = y 軸方向之底床坡降； g = 重力加速度。

(2)式及(3)式分別為x軸與y軸方向上代表力平衡之動量方程式，亦稱為動力波方程式。由左至右依次：摩擦坡降、底床坡降、壓力梯度、慣性力中對流加速度項和局部加速度項。當右邊最後三項同時省略時，則稱為擴散波(diffusive wave)方程式。當右邊最後四項同時省略時，上述兩式即為動量方程式中之運動波(kinematic wave)方程式，本研究採用 FLO-2D 模式之動力波進行模擬。

三、海嘯災害危險度評估

一般常用之風險定義為危險度與脆弱度兩者的乘積(UNDHA, 1992；Kumpulainen, 2006；林漢良與謝俊民，2008；de Bruijn and Klijn, 2009；賴可綦，2010；潘宗毅等，2012；譚義績等，2011)，而本研究則以探討海嘯災害所造成的危險度為主。在探討危險度因子時，係假定於某特定水文環境下，經由二維淹水模式(FLO-2D)計算造成此評估地區之水災危險程度，本研究參考國內外淹水災害相關文獻，並考慮產製方法之易操作性，本計畫選定水流流速、水位上升率與淹水深度為危險度因子，其危險度係針對人命之影響程度而言，其分級原則如下：

3.1 淹水深度因子

淹水深度係採用計算網格單位(40 m × 40 m)

表 4 水流流速因子分級表

分級(m/s)	分級分數	分級說明
0~0.5	0~0.7	流速緩慢，水深及腰之條件下，可進行救難任務。
0.5~1.5	0.7~1	流速偏快，水深及膝之條件下，仍可進行救難任務。
>1.5	1	流速極快，無法順利進行救難任務。

註：分級對應到各自的分級分數為線性關係

中之最大淹水深度，分級如表 3 所示，在淹水深度因子方面，因為在淹水災害中人員的行動是否受影響對人命的影響甚大，因此以人員的活動為標的作淹水深度因子的分級。30 cm 以下的淹水深度在孩童的膝蓋以下，應屬安全範圍，因此本研究訂定 30 cm 為最低門檻值；第二個等級為考量淹水深度 30 cm~50 cm，到成人膝蓋左右，使人行走開始發生困難，此深度亦達車輪一半或底盤高度，足以影響汽車行駛；第三個等級為考量淹水深度到達人腰部高度的地方，行走非常困難且車子已經無法正常行駛；第四個等級為考量淹水深度已達成人胸部以上，有生命危險，因為此時人在逃生時可能要以游泳的方式，而且對於無法游泳必須以步行逃生之人，水壓會造成胸口之壓力，而且也有遇到水中或水面上漂流物體導致受傷之可能性，此時已經到達人可以避難逃生的臨界程度；第五個等級是考量淹水深度可至二樓以上，若無二樓以上之建築則有避難的困難(譚義績等，2011)。

3.2 水流流速因子

水流流速係採用計算網格單位(40 m × 40 m)中之最大水流流速，分級如表 4 所示。流速是流體的流動速度，在淹水災害中若水流速度過大會無法行走，進而威脅到生命。本計畫以災害防救為標的，以一般救災人員的條件去分析並作水流流速因子的分級。根據日本的相關研究，在身長比(淹水深度/身高)大約 0.5 的情形下，意指淹水深度約至身高的一半，在於流速約大於 0.7 m/s 時即會行走困難。因此第一等級採取淹水深度在

表 5 水位上升率因子分級表

分級(m/hr)	分級分數	分級說明
0~0.75	0~0.5	撤離時間 2 小時以上。
0.75~1.5	0.5~0.7	撤離時間 1~2 小時以內。
1.5~3	0.7~1	撤離時間 30 分~1 小時以內。
>3	1	撤離時間 0~30 分以內。

註：分級對應到各自的分級分數為線性關係

救災人員腰部之條件下，皆可順利進行救難行為，對比其水流流速約 0~0.5 m/s；第二等級為救災人員在水深及膝之條件下，皆可順利進行救難行為，對應其流速約為 0.5 m/s~1.5 m/s；第三等級則為救災人員已無法順利進行救難行為的深度，對應其流速應在 1.5 m/s 以上(譚義續等，2011)。

3.3 水位上升率因子

水位上升率係採用計算網格單位(40 m × 40 m)中之最大水位上升率，其計算方式為每小時單位時間內之水位變化，分級如表 5 所示。若水位上升率很大，則致命率會明顯上升。水位上升率的影響在淹水深度達 1.5 m 以前最為重要，若在淹水深度達 1.5 m 以前其水位上升率大於 0.5 m/hr，會在 3 小時以內就很容易超越一個人的身高，以至於危害到生命，因此在這個情況下會產生較大的致死率。故本計畫以避難時間為標的，假設淹水深度達 1.5 m 的條件下所需的撤離時間來做分級。第一等級撤離時間為兩小時以上，表示其水位上升率為 0.75 m/hr 以下；第二等級假設撤離時間為 1~2 小時以內，對應其水位上升率為 0.75~1.5 m/hr；第三等級則假設撤離時間 30 分~1 小時以內，水位上升率為 1.5~3 m/hr；第四等級只有 30 分鐘以內的時間可以撤離，因此上升率應為 3 m/hr 以上(譚義續等，2011)。

危險度(HAZARD)係指淹水過程中諸多可能造成危險之因素的總合指標。將淹水潛勢模擬結果所產製之淹水深度、水流流速及水位上升率等危險度影響因子，分別對照上述之因子分級，再代入式(4)之複合型災害危險度評估公式，分別乘上其權重，則可得到該網格之淹水災害危險度結

果，便可繪製因海嘯所產生之淹水災害危險度地圖。

$$HAZARD = \alpha_1 \times WD + \beta_1 \times WV + \gamma_1 \times WR \dots (4)$$

式中 WD：淹水深度(Water Depth)分級分數；

WV：水流流速(Water Velocity)分級分數；

WR：水位上升率(Water Raising Rate)分級分數；

α_1 ：淹水深度權重值；

β_1 ：水流流速權重值；

γ_1 ：水位上升率權重值。

註：本研究假設 α_1 、 β_1 、 γ_1 各為 1/3

四、研究成果與討論

本研究利用內政部建築研究所「都市化地區海嘯防災地圖規劃之研究」COMCOT 模擬出之最高波高約為 2.6 m，以作為本研究模擬之境況設定。據此，運用 FLO-2D 模式在模擬範圍之海岸邊界上，銜接 COMCOT 模擬至岸邊之流速與水位歷線，其中發生最高海嘯地點之波高為 2.6 m，模擬結果包括最大淹水深度與範圍，並計算出區域內網格(40 m × 40 m)之淹水深度、水流速度及水位上升率等危險度因子。

為使居民更瞭解所在地區內之海嘯危害影響程度，各級政府在製作相關防災地圖時會套疊行政村里界線，按照各項因子分級指標，分別製作淹水深度、水流流速及水位上升率之空間分布如圖 8~圖 10 所示；並給予各項因子權重值，分別乘以分級分數後並相加，以 0~20%、20~40%、40~60%、60~80%與 80~100%進行分級，得以計算出危險程度-非常高、高、中、低以及非常低五種層級。

本研究亦將淹水深度、流速與水位上升速率三項因子各別之危險度(如圖 11~圖 13)，與同時考慮淹水深度、流速與水位上升速率三個危險度因子之危險度(如圖 14)比較，發現淹水深度及水位上升速率之危險度過於保守，而流速之危險度則太樂觀，顯示危險度分析過程中淹水深度、流速與水位上升速率三項因子之間互相影響，故本研究採三項因子同時考慮之危險度進行分析，因



圖 8 新北市金山與萬里區海嘯影響範圍淹水深度空間分布圖



圖 9 新北市金山與萬里區海嘯影響範圍水流速度空間分布圖

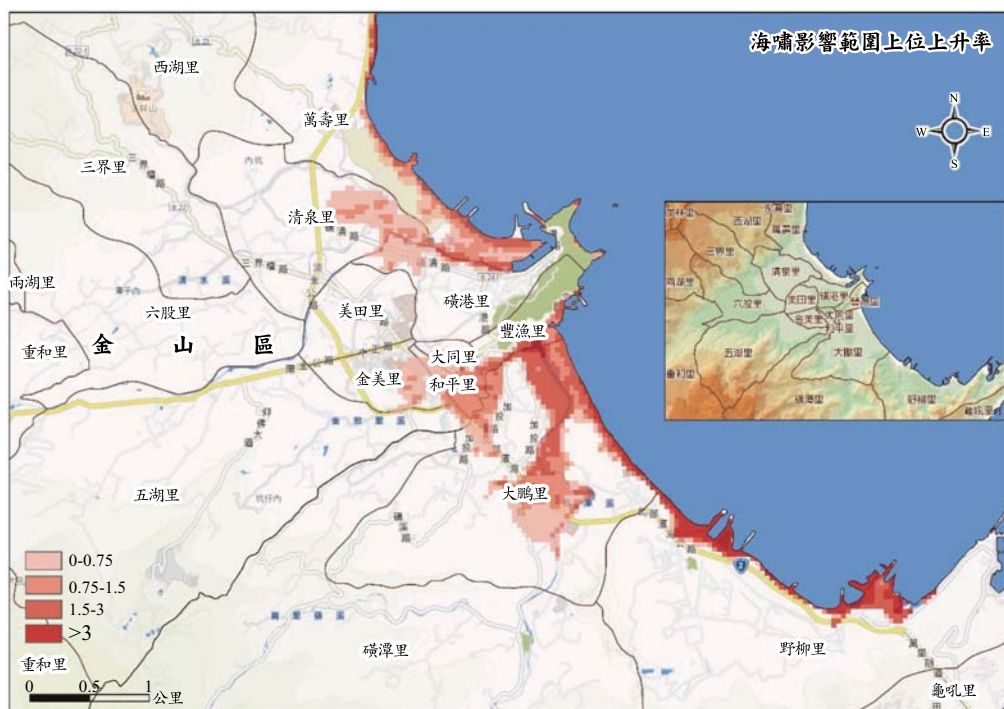


圖 10 新北市金山與萬里區海嘯影響範圍水位上升率空間分布圖

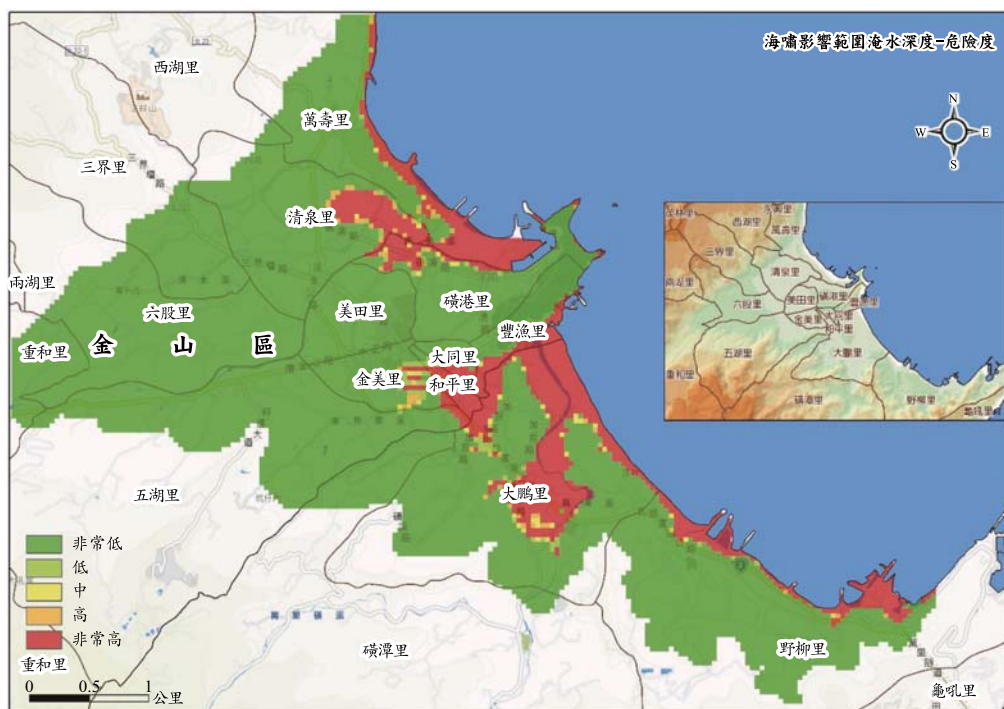


圖 11 新北市金山與萬里區海嘯影響範圍淹水深度-危險度空間分布圖

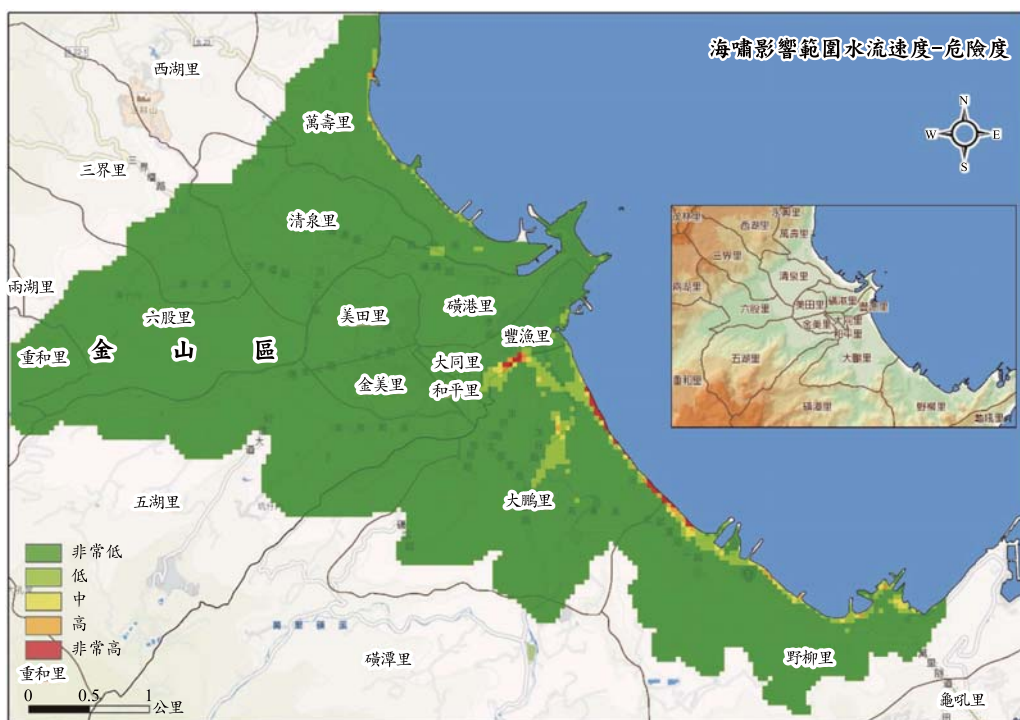


圖 12 新北市金山與萬里區海嘯影響範圍水流速度-危險度空間分布圖

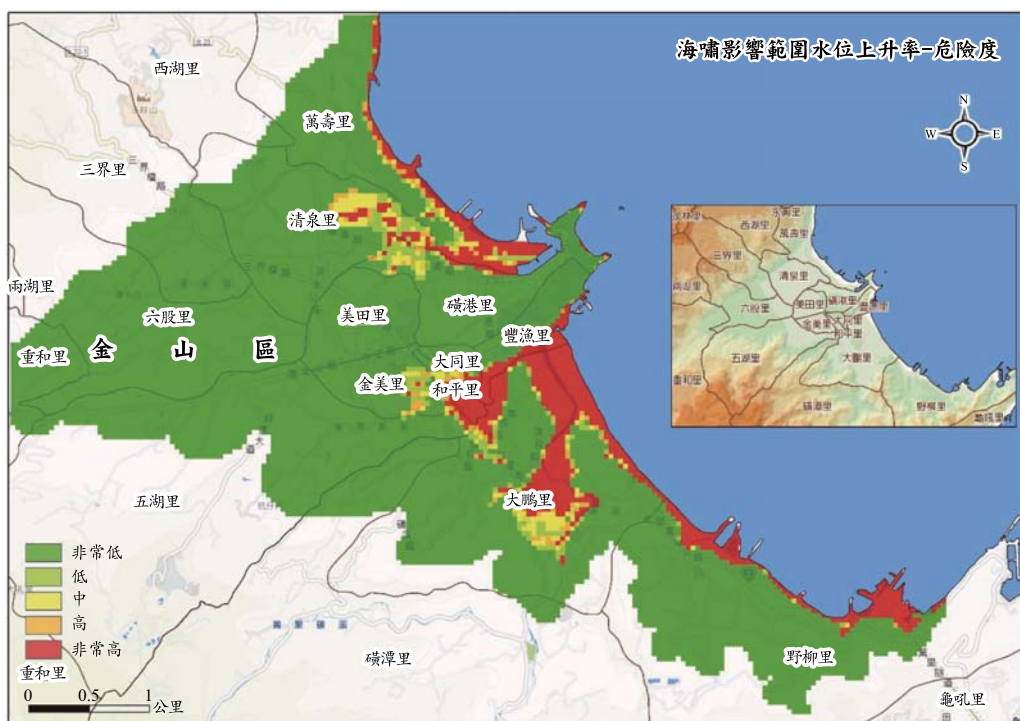


圖 13 新北市金山與萬里區海嘯影響範圍水位上升率-危險度空間分布圖

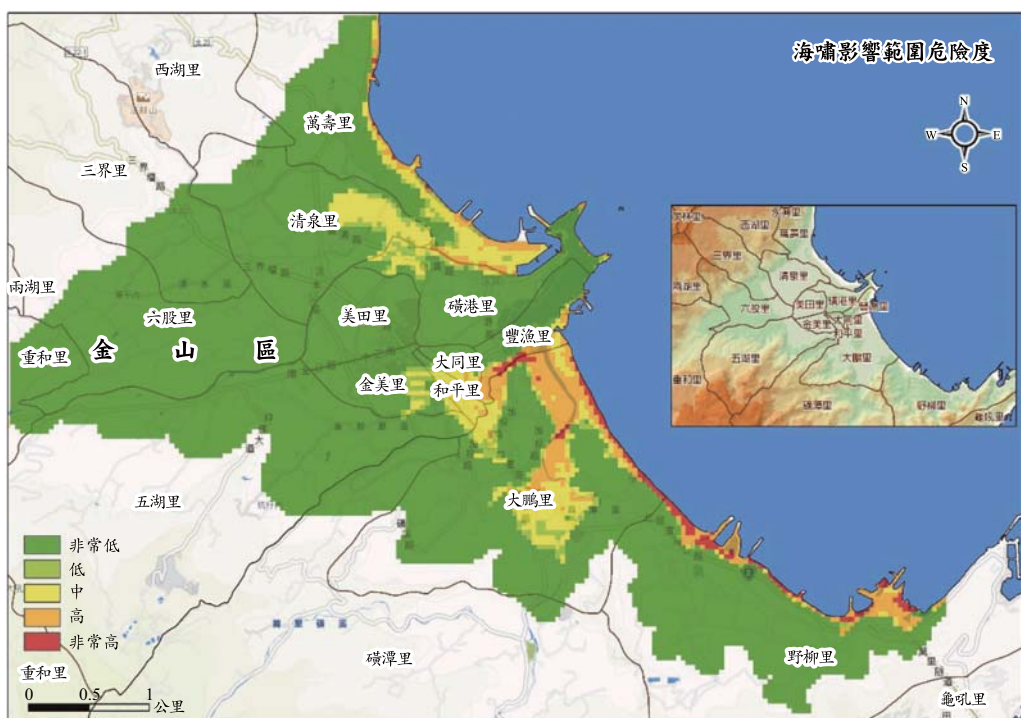


圖 14 新北市金山與萬里區海嘯影響範圍危險度空間分布圖(權重 α_1 、 β_1 、 γ_1 各為 1/3)

子權重 α_1 、 β_1 、 γ_1 各為 1/3。分析結果以新北市金山、萬里地區來說須多加注意地勢較低窪地區及危險度較高之地點，如金山區萬壽里、豐漁里以及萬里區大鵬里與野柳里等區域。沿岸地區除了部分地勢較高的山丘(金山區之磺港里與豐漁里)外其餘均遭淹沒，部分內陸較低窪地區亦遭海嘯的湧波侵入(金山區和平里與金美里、萬里區大鵬里與野柳里)，其中人口較集中之都市化區域(金山區和平里)不但被海嘯波及，且最大淹水深度更達 3 m 以上。在海嘯侵襲陸地之後，通常遇到地勢較高之地區，其流速會趨於緩慢，但部分海嘯流竄往內陸低窪地區時，其流速相對較高，易造成此區之水位上升速率較為快速。最後依照上述方式給予各項因子權重值，分別乘以分級分數後並相加，可知金山區萬壽里、豐漁里以及萬里區大鵬里與野柳里為海嘯危險度高之地區。

五、結論與建議

依本研究之計算結果，沿岸及部分內陸較低

窪地區遭海嘯侵入(金山區和平里與金美里、萬里區大鵬里與野柳里)，其最大淹水深度可達 3 m 以上。在海嘯侵襲陸地之後，部分海嘯流竄往內陸低窪地區時，其流速相對較高，易造成此區之水位上升速率較為快速。最後依照各因子權重 1/3 進行計算，分別乘以分級分數後並相加，可知金山區萬壽里、豐漁里以及萬里區大鵬里與野柳里為海嘯危險度高之地區為海嘯危險度非常高之地區，而金山區磺港里、和平里及大同里為海嘯危險度高之地區。

本文僅針對海嘯影響人員生命之危險度進行評估，未來可結合社經相關之脆弱度因子進行風險度評估，而因子權重的部份可採用 AHP 層級分析法進行更詳細的評估。據本研究分析結果，建議未來在沿海都市之海嘯淹水分析方面，可依據精度較高之地形高程資料或建物分布資料，模擬分析都市街道內之渠流狀況與建物可受水流衝擊力之探討外，並持續建置脆弱度地圖及風險度地圖，俾利於高危險與高風險地區推動防

救災應變措施。

謝 誌

本研究部份成果由內政部建築研究所「都市化地區海嘯防災地圖規劃之研究」計畫(ISBN：978-986-03-4646-6)之經費支持與國科會「行政院災防應用科技方案－台灣潛在高於預期之海嘯模擬與研究」(MOEAWRA1000078)之經費支持，使得本研究能更完整、嚴謹，謹此表達感謝之意。

參考文獻

1. de Bruijn KM, Klijn F, “Risky places in the Netherlands: a first approximation for floods”, *Journal Flood Risk Management*, 2, pp. 58-67, DOI: 10.1111/j.1753-318X.2009.01022.x, 2009.
2. Gica, E; Teng, MH; Liu, PLF; Titov, V; Zhou, HQ, “Sensitivity analysis of source parameters for earthquake-generated distant tsunamis”, *Journal of Waterway Port Coastal And Ocean Engineering-ASCE*, 133(6), 429-441 DOI: 10.1061/(ASCE)0733-950X133: 6(429), 2007.
3. Kumpulainen, S., 2006, “Vulnerability concepts in hazard and risk assessment”, *Natural and Technological Hazards and Risks Affecting the Spatial Development of European Regions*, Geological Survey of Finland, Special Paper 42, 65-74, 2006.
4. O'Brien, J.S., Julien, P.Y., Fullerton, WT, “Two-dimensional water flood and mudflow simulation,” *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 119(2), 244-259, 1993.
5. UNDHA, Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management, United Nations Department of Humanitarian Affairs, Geneva, 1992.
6. Wu, TR, Chen, PF ,Tsai, WT, Chen, GY, “Numerical Study on Tsunamis Excited by 2006 Pingtung Earthquake Doublet”, *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 19(6), pp. 705-715, DOI: 10.3319/TAO.2008.19.6.705, 2008
7. Wang, X and Liu, PLF, “A Numerical Investigation of Boumerdes-Zemmouri (Algeria) Earthquake and Tsunami”, *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 10(2), pp.171-183, 2005.
8. Wang X. and Philip L.-F. Liu, PLF: “An analysis of 2004 Sumatra earthquake fault plane mechanisms and Indian Ocean tsunami”, *Journal of Hydraulic Research*, 44:2, 147-154, DOI:10.1080/00221686.2006.9521671, 2006.
9. 陳培桂, 「祥異考」, 淡水廳志, 卷十四, 考四, 1871。
10. 陳建忠、鄧慰先、白櫻芳、蔡綽芳, 「都市化地區海嘯防災地圖規劃之研究」。內政部建築研究所協同研究報告(ISBN：978-986-03-4646-6)。臺北市：內政部建築研究所, 2012。
11. 吳祚任, 「台灣潛在高於預期之海嘯模擬與研究」。行政院災防應用科技方案(NSC100-2119-M008-012)。臺北市：行政院國家科學委員會, 2011。
12. 譚義績、張倉榮、柳文成、賴進松、許銘熙, 「強化高屏流域因應氣候變遷防洪調適能力研究計畫(2/2)」, 經濟部水利署水利規劃試驗所, 2011。
13. 徐明同, 「明清時代破壞性大地震規模及震度之評估」, 氣象學報第 29 卷第四期, pp. 1-18, 1983。
14. 潘宗毅、張倉榮、賴進松、王藝峰、謝明昌、許銘熙, 「洪災之人命傷亡風險分析：以臺南市為例」, 農業工程學報, 第 59 卷, 2012。
15. 林漢良、謝俊民, 「建立易致災地區之安全劃設機制與準則(第一期)結案報告書」, 內政部營建署報告, 2008。
16. 賴可臻, 「洪災風險地圖之研析」, 國立臺灣大學生物環境系統工程學系研究所碩士論文, 2010。

收稿日期：民國 102 年 3 月 21 日

修正日期：民國 103 年 3 月 10 日

接受日期：民國 103 年 3 月 21 日