

難以抵擋的海洋波浪—— 海嘯

■ 張國棟

對台灣大多數人來說，海嘯只是在媒體上播放的殘酷災害，並不了解台灣是否會有海嘯，以及海嘯的現象，更不清楚若有海嘯發生該如何因應。

海嘯怎麼來的

早期人們把海嘯和潮波混為一談，部分科學家也曾把海嘯稱為地震海浪。直到 1960 年左右，人們才把海嘯（tsunami）確定是由於海水受到衝擊式的擾動，所產生的一系列具有超長周期和波長的波浪。「Tsunami」是由日文英譯而來，日文的原名是「津波」，「津」和中文的意思一樣，代表停船的地方（也就是現在通稱的「港」）。通常船隻會選擇較沒有波浪的地方停靠，因此津應該不會有什麼波浪的，而波表示較大的浪，津波直接翻譯就是港裡的大浪。港內通常應該是沒有什麼浪，若有大浪就特別稱為津波。

海嘯主要由一些強烈的地質活動所造成，包括海底斷層、海面或海下地滑或山崩、海面或海下火山活動等，但大流星撞擊海洋或人為的高能量海中釋放（例如核子試爆）等也可能造成海嘯。強烈的地質活動常伴隨地震發生，因此人們也嘗試建立地震規模和海嘯強度間的關係，以地震規模來預測海嘯的強度。

能穿越大洋的海嘯幾乎都是由海底斷層引起的。例如 1960 年的智利大海嘯，2004 年發生在南亞的海嘯（在澳洲、紐西蘭、美國西岸、加拿大西岸等太平洋地區，以及非洲南部和美國東岸等大西洋地區都記錄到海嘯波，是一個首次有正式科學紀錄影響及於全世界的「環球級海嘯」），和 2011 年日本的東北海嘯等，都是海底斷層造成的。由於太平洋盆地周圍的地質活動非常強烈，經常有地震或海嘯發生，台灣位於環太平洋地震帶上，發生地震或海嘯的機會很大。

海嘯主要由一些強烈的地質活動所造成，但大流星撞擊海洋或人為的高能量海中釋放（例如核子試爆）等也可能造成海嘯。



台灣位處環太平洋地震帶（圖中三角形藍色色帶），地震和海嘯都經常發生。

海嘯的周期約為十餘分鐘至數十分鐘，波長可超過 500 公里，在開闊海面上並不容易以肉眼觀察到。同時，由於波長較長，海嘯在傳遞過程中能量的衰減並不明顯。

大部分海嘯在海洋中行進時，都具有淺水波的特性，淺水波意指水深和波長的比值很小，主要的特性是它的運動速率等於「重力加速度（9.81 公尺 / 秒²）乘以水深之後的開平方根值」，也就是說水深越深，海嘯跑得越快。在太平洋中，平均水深約 4,000 公尺，海嘯的速度大約可達 200 公尺 / 秒，即每小時超過 700 公里，相當於噴射機的速度。

海嘯的波長在深海中可達數百公里，可想像當海嘯接近海岸地區時，它的前緣因水深減少，速度放緩，但後方因水深仍相當深，因此仍以較高速前進，使得在前

部的波形波長變短且迅速堆高。在深海中波高未達 1 公尺的海嘯，到達近岸地區受地形淺化影響，波高可輕易地達 10 公尺以上，造成在海岸地區的毀滅性破壞。

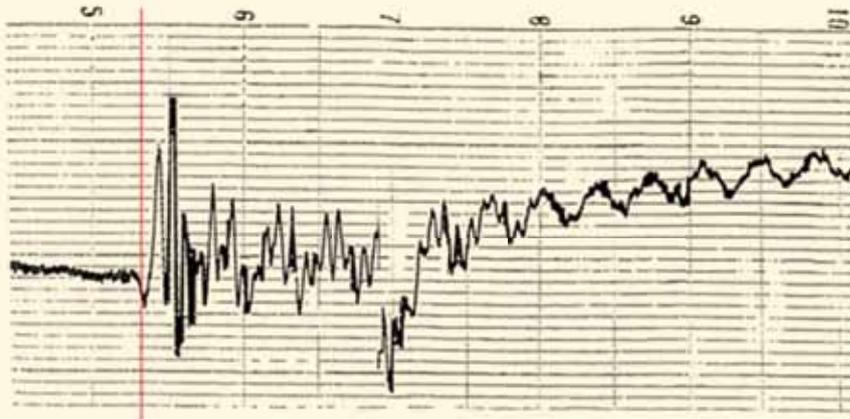
一般人認為海嘯來臨之前，岸邊的海水會先被倒吸至外海，但事實上，若是波峰先到達則先造成水位上升，若是波谷先到達則先造成水位下降。通常波峰先到達所導致的水位上升並不明顯，而其後的波谷卻使海水迅速向外海移動，這異常現象較易引人注目。

台灣過去的海嘯

台灣鄰近地區的海嘯紀錄，以西元 1076 年（宋熙寧 9 年）10 月 31 日至 11 月 28 日間，發生在泉州地區的海嘯事件為最

在深海中波高未達 1 公尺的海嘯，到達近岸地區受地形淺化影響，波高可輕易地達 10 公尺以上，造成在海岸地區的毀滅性破壞。

花蓮外海地震發生於 1986 年 11 月 15 日台北時間上午 5:20



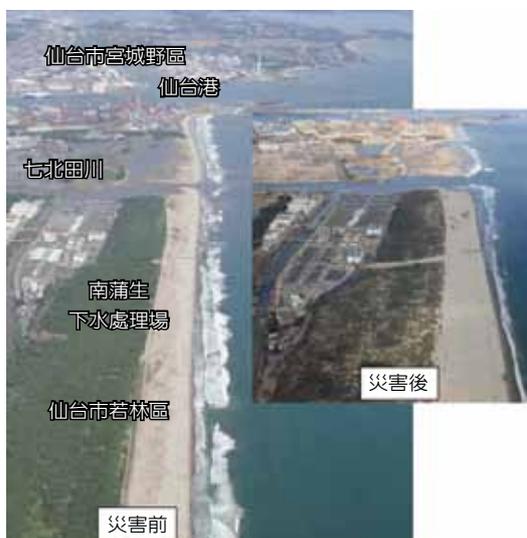
1986 年 11 月 15 日，花蓮外海發生海嘯，花蓮港務局記錄的海嘯波。圖中垂直方向一格代表 10 公分，因此實際波高是 2 公尺，這是台灣過去百餘年來最大的海嘯波紀錄。

早，《宋史·五行志》曾有敘述：「熙寧九年十月，海陽、潮陽二縣海潮溢，壞廬舍，溺居民。」

根據歷史文獻記載，台灣過去確實有大海嘯發生。《台灣採訪冊》有關「祥異、地震」的記載，提及 1781 年 4 月 24 日至 6 月 21 日（清乾隆 46 年）高雄曾發生大海嘯，「鳳港西里有加藤港……乾隆四十六年四、五月間，時甚晴霽，忽海水暴吼如雷，巨浪排空，水漲數十丈，近村人居被淹……」

1792 年 8 月 9 日（清乾隆 57 年），台南附近也曾有大海嘯，「乾隆壬子歲六月，泊舟鹿耳門，船常搖蕩，不為異也。忽無風，水湧起數丈，舟人曰：『地震甚。』又在大洋中亦然，茫茫黑海，搖搖巨舟，亦知地震，洵可異也。」

此外，1867 年 12 月 18 日（清同治 6 年），《淡水廳志》記載：「冬十一月，地大震……二十三日，雞籠頭、金包里沿海，山傾地裂，海水暴漲，屋宇傾壞，溺



日本仙台市海岸在 2011 年海嘯災害前和災害後的差異。災害前海岸有大片綠色植物以及諸多的港埠設施；災害後綠色植物全數死亡，所有的港埠設施都被摧毀。（資料來源：台灣世曦專題講座 2011 年東日本大震災震後 6 個月一港灣及海岸，台灣世曦工程顧問股份有限公司，2012）

數百人。」這海嘯在阿法列茲（Alvarez）所著 *Formosa* 一書中也提到：「1867 年 12 月 18 日，北部地震更烈，災害亦更大，基

隆城全被破壞，港水似已退落淨盡，船隻被擱於沙灘上；不久，水又復回，來勢猛烈，船被衝出，魚亦隨之而去，沙灘上一切被沖走。」

在 20 世紀內，台灣地區曾發生超過 20 次的海嘯，顯示海嘯在台灣地區發生的頻度相當高（約每五年一次）。但是在海嘯規模方面，只有 1986 年 11 月 15 日發生在花蓮外海的海嘯，在花蓮港的波高紀錄是 2 公尺，其他海嘯的規模大都小於 1 公尺。值得注意的是，由於過去百餘年內台灣地區所發生的海嘯災害並不明顯，使得人們對海嘯災害的警覺程度大幅降低，也忽略了未來可能發生的重大海嘯所造成台灣沿岸地區的嚴重傷害。

雖然百餘年來台灣地區未發生破壞性海嘯，但在過去的二、三百年間，確有破壞性海嘯發生，造成嚴重的人命和財產損失。海嘯和地震類似，都是因地質結構特性而發生，未來台灣地區發生破壞性海嘯的機會仍然存在。

海嘯的破壞力

海嘯對陸地的影響範圍是非常驚人的。米勒（Miller）在 1960 年的調查報告中指出，1958 年 7 月在美國阿拉斯加因山崩所引發的海嘯波，以每小時 160 公里的速度衝向陸地，在陸上的溯上距離是 520 公尺。

海嘯所造成的災害是很嚴重的，1869 年日本沿岸的大海嘯淹死 26,000 人。另一慘痛的海嘯事件，是 1883 年在印尼巽他海峽（Sunda Straits）由火山爆發所造成的大型海嘯，導致 30,000 人死亡。2004 年 12 月 26 日發生在南亞地區印尼蘇門達臘外海的大海嘯，造成近 30 萬人死亡的慘痛結局，



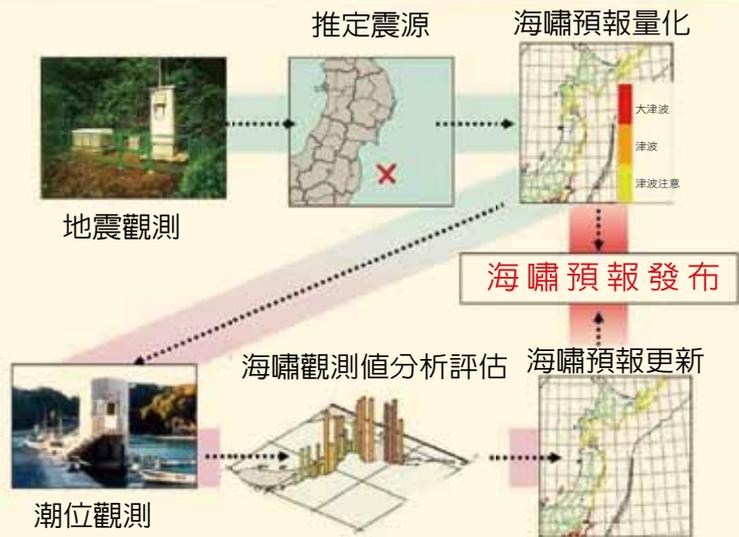
2011 年日本海嘯使海岸地區成為一片廢墟

主要是因為人們忽略了在印度洋區域內發生大海嘯的可能性，幾乎沒有任何準備，這重大海嘯事件值得我們警惕。

2011 年 3 月 11 日，日本東北地區太平洋海域發生大海嘯，陸上的溯上高度最大達 38 公尺，陸地浸水面積達約 560 平方公里，不但造成嚴重且大範圍的災害，也導致福島第一核電廠嚴重受損，更引發嚴重的核輻射外洩災害。依據日本警察廳 2011 年 11 月 25 日統計的災情，眾多建築物損毀或流失，道路、橋梁、港灣、機場、儲油槽等設施損壞，死亡人數有 15,840 人，失蹤人數也有 3,611 人，經濟損失高達 16 ~ 25 兆日圓，是日本有史以來經濟損失最大的天然災害。

日本長年受地震和海嘯威脅，對於防災規劃和整備、防災設施興建、災害發生時測報和通告機制都相當完整，防災整備

海嘯災害本身具有應變時間短、侵襲範圍大、破壞力強等特徵，但若能有效及早預警，數分鐘的時間也可挽救無數人的生命。



海嘯大多伴隨地震發生。日本氣象廳預測海嘯，先推算地震位置和規模，在海嘯預報資料庫中進行檢索，並利用檢索所得的海嘯預測結果，發布海嘯警報或注意報。（圖片來源：日本港灣空港技術研究所，2011.05.11，由台灣世曦公司張欽森經理提供。）

經驗十分豐富，常常是世界各國在防災規劃時仿效參考的對象。但因這次地震和海嘯的規模遠遠超乎預期，超越了原防災設施和結構物可承受的耐受力，因此仍然產生了十分重大的災情。如果這次海嘯發生在別的國家，災害嚴重的程度將難以想像。

大自然的力量難以捉摸，海岸保護設施終有它的局限。日本檢討未來防護海嘯規劃導向後，將由原本的「防災」概念，趨向二階段「防災、減災」的對策，期能在類似大規模海嘯再次發生時，盡可能減輕對人民生命財產的衝擊，並以「確保人身安全」為各階段最主要的防護目標。

面對與應對

海嘯災害本身具有應變時間短、侵襲範圍大、破壞力強等特徵，但若能有效及早預警，數分鐘的時間也可挽救無數人的



規劃中的海嘯警示標誌（圖片來源：高雄市政府海洋局）

生命。在減災和確保人民安全的前提下，海嘯測報和預警系統也相當重要。日本在2007年已可在地震發生後2分鐘內，發布第一次海嘯警報。海嘯警報發布後，日本

氣象廳會根據日本全國港灣海洋波浪情報網（NOWPHAS）的潮位觀測資料和分析評估結果，更新和發布後續海嘯警報，並即時透過日本 J-ALERT 系統對海嘯警報區域廣播警告，使居民能夠及早因應。

台灣地區海嘯警報的發布作業，中央氣象局參考國內專家學者的建議，以及過去災害性海嘯紀錄，並考量區域性地震活動特徵和鄰近海域地體構造，把台灣地區的海嘯危險性分為 1 至 3 級。其中新北市和基隆市曾經在 1867 年發生過災害性海嘯，因此被列為第 1 級最有可能遭受海嘯侵襲的地區。至於資料顯示可能有海嘯紀錄或疑似海嘯紀錄，但無海嘯災害的縣市則被列入第 2 級。各縣市政府因海嘯威脅等級的不同，而制定不同程度的海嘯應變計畫。

海嘯來襲的緊急應變措施建議，分為四個重點。

自我保護—被海嘯追趕而無法逃脫時，最好設法抓住任何固定物（大樹、鋼筋等），如果有繩索，可把自己綁牢，以抵擋海嘯通過的衝擊；若海嘯波已到，如有水上救生衣，應立即穿上，或儘速尋找並抓住漂浮物、爬上大型漂流物。

在學校—沿海地區可能遭受海嘯侵襲的學校，應規劃校內避難路線，有海嘯時，依路線迅速疏散至安全場所，或前往學校較高建築物（最好是三層樓以上的鋼筋混凝土建築）的最高樓層、屋頂避難。

在家裡—攜帶逃生包和家人一起儘速逃至高地。若來不及逃到高地，盡可能打開建築物所有門窗，減輕海嘯衝擊，並往堅固建築物的頂層或屋頂移動。如時間允許，應開放建築物並協助鄰近民眾至頂層或屋頂避難。



日本的海嘯疏散標誌



台灣的海嘯救災指揮通信平台

在室外—防災機關應在有海嘯威脅的海邊立牌警示，並在各路口標示海嘯時的避難方向。當聽到海嘯廣播時，應立刻依避難路線標示迅速疏散至安全場所，若無避難路線標示，則儘快往較高處避難。

張國棟

高雄海洋科技大學海洋環境工程系
