

台灣海嘯災害

張國棟¹ 徐月娟² 許明光³

1 國立高雄海洋技術學院海洋環境工程系

2 中央氣象局海象中心

3 國立台灣海洋大學海洋科學系

摘 要

過去兩百年間，台灣地區分別在 1867 年（基隆）及 1781 年（台南至高雄沿岸）遭受到毀滅性海嘯的襲擊，造成嚴重的人命及財產損失。由於台灣地處環太平洋地震帶上，地質活動十分頻繁，由地層活動引起的海嘯也相當常見。近百年內，台灣沿岸地區約有二十餘次的海嘯作用發生，但因為規模不大，海嘯運動導致的水位變動大都未超過兩公尺，並沒有造成重大的災害，因此這些事件並未受到一般人的重視。然而，台灣地區未來仍有可能再度發生具有強烈破壞能力的海嘯，吾人應該對此等具有超強毀滅能力的天然災害有所認識與準備，以備將來如果有海嘯事件發生時，可以減緩海嘯所造成的災害。本文整理台灣地區近百年內的海嘯紀錄，簡介海嘯的特性，報導國內外有關海嘯之研究情況，並引介海嘯預警制度(tsunami warning system)及海嘯災害減緩技術(tsunami disaster mitigation technique)，以提供有關單位作為規劃整體海岸災害防治的參考。

一、前言

由於太平洋海底持續擴張的影響，驅動海床向大陸移動，在到達大陸邊緣時，和陸地產生了強烈的擠壓作用，造成環太平洋地區(Circum-Pacific region)經常發生斷層(faulting)、火山(volcano)等地質活動，這些地質活動會引發不同規模的地震及海嘯，而台灣位處環太平洋地震帶，不僅地震頻仍，海嘯也經常發生，地震和海嘯對台灣所造成的傷害都十分嚴重。根據清朝史料，1867 年在基隆以及 1781 年在高雄都曾發生過毀滅性的海嘯，造成了許多人命及財產的損失，目前台灣地區人口稠密，對海岸開發利用的需求程度甚高，在陸地近海岸處，一般住宅及各種親海遊憩設施隨處可見，並有許多大型工廠、電廠、石化廠等緊靠海濱設置，如有重大海嘯在台灣附近發生，而政府及民眾對海嘯災害毫無準備，海嘯可能造成的傷害程度將是難以估計。據統計，大部份的海嘯都發生在太平洋區域，尤其是近十年來，環太平洋地區已發生十餘次重大的海嘯事件，造成超過 4,000 人的死亡(Gonzalez, 1999)，而此期間內，共有 82 次不同規模的海嘯被報導，遠超過每十年平均 57 次的歷史紀錄。

近數十年內台灣地區雖然並未發生重大的海嘯災害，但由現有的水位紀錄資料可知，1960 年的智利

海嘯及 1964 年的阿拉斯加海嘯，在基隆及花蓮都有受到海嘯的影響，智利海嘯也造成基隆市區田寮河有些橋墩被沖毀的損失(許明光及李起彤，1996)，而源自於台灣附近海域的海嘯，對台灣沿岸地區的傷害是最直接且破壞能力最為強大。但令人憂心的是，雖然重大海嘯在未來威脅台灣的可能性相當高，然而目前一般國人甚至政府有關部門，對海嘯的特性及其對台灣地區可能造成的衝擊程度，以及對重大海嘯事件的因應處置等，都欠缺基本的認識與準備，如果有類似 1867 年或 1781 年的海嘯再度發生，其後果是不堪想像。

二、台灣海嘯回顧

雖然近百年來台灣地區未發生破壞性海嘯(destructive tsunami)，但在過去的二、三百年間，確有破壞性海嘯發生(徐明同，1981；游明聖，1994；許明光和李起彤，1996)，造成了嚴重的人命及財產損失。在 1867 年基隆曾受到極強大海嘯的襲擊，徐泓(1983)根據「淡水廳志」的記載，災情為「(同治六年)冬十一日，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，溺數百人。」而 1781 年在高雄也曾發生海嘯，「臺灣采訪冊」的記述為「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，…」。近數十年來臺灣附近的海嘯活動更加活躍，而目前不論政府單位、工商業界、及一般民眾，對海嘯的特性、破壞能力以及防災準備等均缺乏基本的認識，一旦有類似 1867 年在基隆，或 1781 年在高雄的海嘯災害發生，所造成的災情將是慘不忍睹，其後果令人不敢想像。

二十世紀內台灣地區之海嘯事件列表 1，由表中資料得知近數十年來東部地區發生海嘯的情況較為頻繁，由於東部地區海岸地形陡峭，海嘯造成的波浪較不易受地形作用堆升，同時大部份建築物等之海拔高度都在十數公尺以上，除非有超大型海嘯發生，否則較不易產生嚴重的海嘯災情。例如 1986 年在花蓮外海曾發生過規模為 7.8 的海底地震，在花蓮港記錄的海嘯波高為 2 m (張國棟等，1999)，並未造成嚴重災害，但台灣西海岸之地形相當平緩，此等規模的海嘯如果發生在台灣西部海岸，海嘯湖上的高度可能達到 20 m 左右，因此而造成的災害將是極為慘重。

依據中央氣象局的水位測站紀錄，在 1993 年至 1996 年間，台灣沿岸地區有五次的實測海嘯紀錄，表 2 列出台灣地區 1993 年至 1996 年海嘯紀錄統計。由表中資料顯示海嘯到達不同地區，受當地海洋環境影響所產生的海嘯特性有相當大的差異，例如 1996 年 2 月 17 日印尼發生的海嘯，傳遞至台東成功港和基隆港引起港內水位振盪，造成成功港水位振盪的波高達 39 cm，週期約為 17 min，海嘯的擾動持續約 1.5 天；而在基隆的波高僅約 10 cm，週期約為 22 min，但由海嘯所造成的水面擾動持續超過一星期。另外，同一地點受到不同海嘯來源所產生的海嘯波也略有不同，例如表 2 中列出在台東成功港有四次海嘯紀錄，各次紀錄所得到海嘯的最大波高、週期、以及海嘯震盪持續的時間也略有所差異，相較於海嘯到達不同地區所產生海嘯波的變化而言，不同來源海嘯在同一地區特性的差異較不明顯，但因現有資料有限，仍待蒐集更豐富的海嘯紀錄，以進一步探討某一地區海嘯的確實特性。

圖 1 至圖 3 顯示台灣地區 1993 年、1994 年、及 1996 年實測之海嘯紀錄，由圖中結果可明顯看出海嘯在不同地區其特性的差異，同一海嘯在不同地區受當地海洋環境作用，將使得海嘯的波高、週期、以及影響程度等性質在不同地區產生極大差異，也就是說，同一海嘯對不同地區造成的災害程度會有相當的差異，因此，有必要積極建立台灣四周的海嘯基本特性資料，以及海嘯作用時的海岸溢淹圖 (inundation map)，以提供海岸防災基本參考準據。

表 1 二十世紀內台灣地區之海嘯事件

日期(當地)	位置	資料來源	備註
1917/1/25	福建同安	包澄瀾,1991 李起彤,1991	
1917/5/6	台灣東部	徐明同,1981 包澄瀾,1991 Ma & Lee,1997	
1918/2/13	廣東汕頭	包澄瀾,1991	
1918/5/1	基隆	楊春生等,1983	
1921/9/	台南	游明聖,1994	
1938/6/10	日本宮古島	許和李,1996	日本平良 1.5m
1951/10/22	東北部海域	徐明同,1981 楊春生等,1983	
1960/5/24	智利	徐明同,1981	基隆 0.66m,花蓮 0.3m
1963/2/13	台灣東部	許和李,1996	
1963/10/13	千島列島	徐明同,1981	花蓮 0.1m
1964/3/28	阿拉斯加	徐明同,1964	花蓮 0.15m
1966/3/13	台灣東部	包澄瀾,1991 Ma & Lee,1997 許和李,1996	
1972/1/25	台灣東部	許和李,1996	
1978/7/23	蘭嶼	許和李,1996	
1986/11/15	台灣東部	許明光等,1994	花蓮 2.0m
1988/2/29	北太平洋	包澄瀾,1991	坎門 1.37m,廈門 0.34m
1992/1/5	海南島西南	包澄瀾,1991	榆林港 0.78m
1993/8/8	關島附近	徐月娟,1999	花蓮 0.28m,成功 0.25m
1993/11/15	台灣東部	劉倬騰,1995	衛星影像圖
1994/9/16	福建東山附近	李起彤,1991 徐月娟,1999	澎湖 0.19m
1994/10/4	日本北海道	徐月娟,1999	成功 0.13m,蘇澳 0.05m
1996/2/17	印尼	徐月娟,1999	成功 0.39m,基隆 0.1m
1996/9/6	台灣東部	徐月娟,1999	成功 0.15m

表 2 台灣地區 1993 年至 1996 年海嘯紀錄統計

發生日期	發生地點	到達測站	最大波高 (cm)	週期 (min)	持續時間 (day)
1993/8/8	關島	成功	25	12	1.0
		花蓮	28	15	1.5
1994/9/16	福建東山	澎湖	19	24	0.5
1994/10/4	北海道	成功	13	14	1.5
		蘇澳	5	20	2.0
1996/2/17	印尼	基隆	10	22	12.0
		成功	39	17	1.5
1996/9/7	東台灣	成功	15	17	0.5

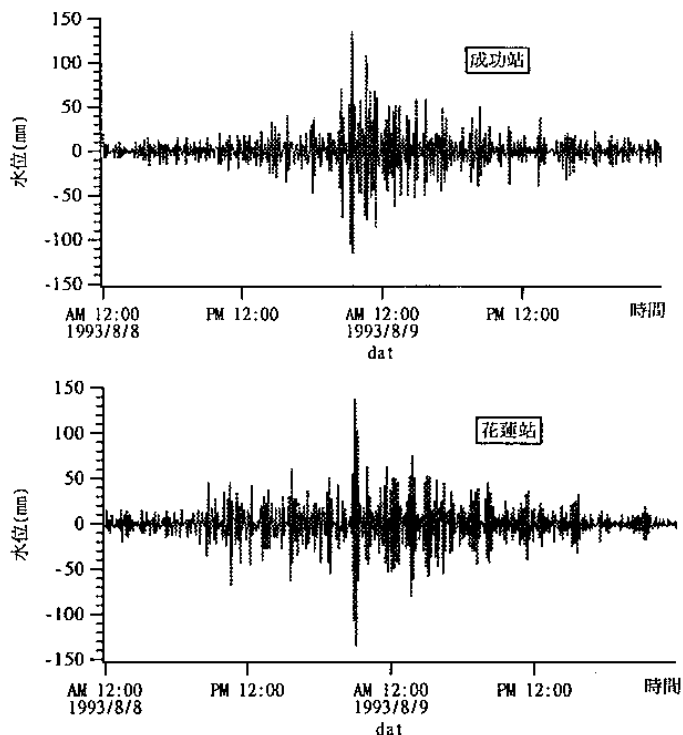


圖 1 台灣地區 1993 年海嘯紀錄

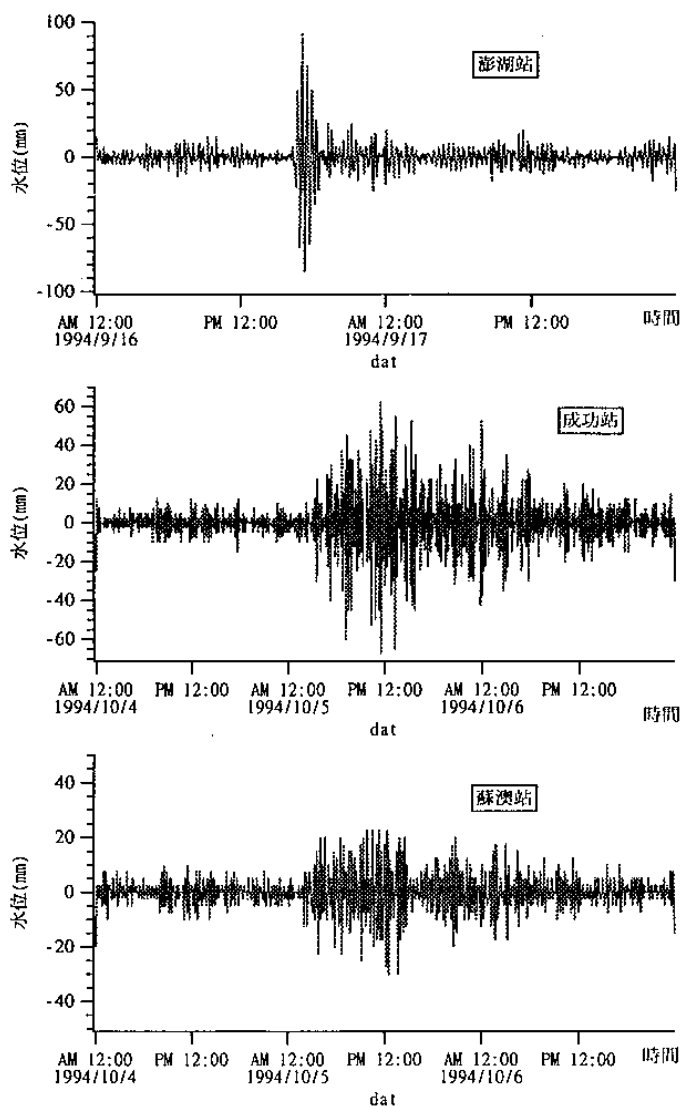


圖 2 台灣地區 1994 年海嘯紀錄

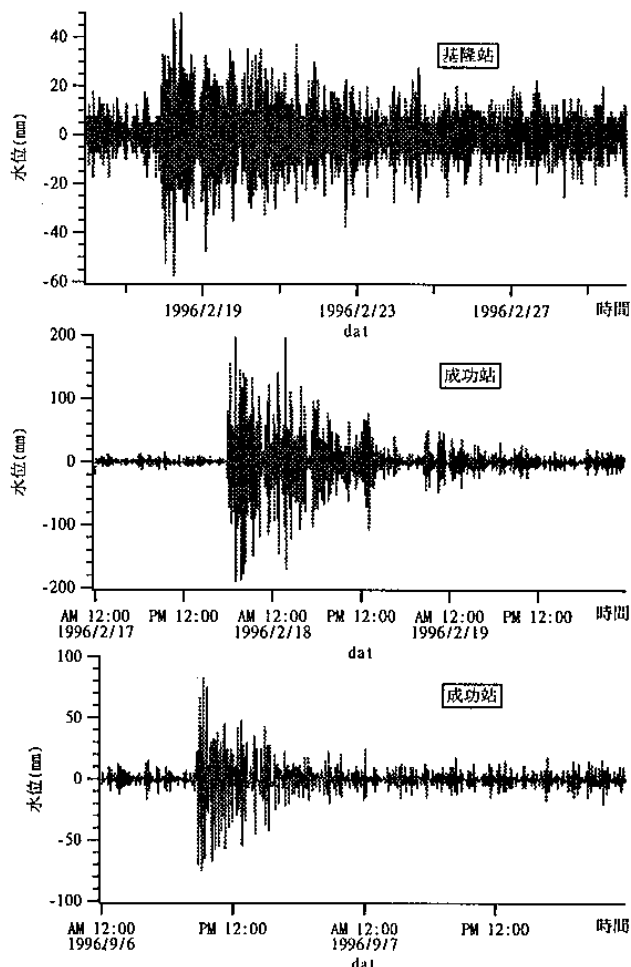


圖 3 台灣地區 1996 年海嘯紀錄

三、海嘯特性

早期人們將海嘯及潮波(tidal waves)混為一談，而部份科學家們也曾將海嘯稱為地震海浪(seismic sea waves)，直到 1960 年左右，人們才將海嘯(tsunami)的名詞確定為由於海水受到衝擊式的擾動(impulsive disturbance)，並置換了此部份海水所產生一系列具有超長週期和波長的波浪。一般而言，海嘯主要由一些強烈的地質活動(geologic activities)造成，包括海底斷層(submarine faulting)、海面或海下地滑或山崩(landslide)、海面或海下火山活動(volcanic activity)等三種主要成因(Dudley & Lee, 1988)，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(earthquake)發生，故人們也嘗試建立地震規模和海嘯間的關係，但嚴格來說，地震並非造成海嘯的直接原因，而只是與海嘯共存的一個現象。

通常地滑和火山活動造成的海嘯，會導致嚴重的人命及財產損失，例如 1883 年在印尼 Krakatoa 島的火山爆發，產生了近 40 公尺高的海嘯，衝擊到爪哇(Java)和蘇門答臘(Sumatra)，造成 36,000 人死亡的

慘劇。而 1958 年在 Alaska 的 Lituya 海灣發生的海嘯，在陸上到達的最大高度是高於海岸線 520 公尺，這也是目前海嘯在陸地達到高度的最高紀錄。但相對於海底斷層來說，它們具有較少的能量，在傳遞至遠方時，其規模衰減較快，能穿越大洋的海嘯幾乎都是由海底斷層所引起。

海嘯的週期約為幾分鐘至百餘分鐘，波長可超過 500 公里，此使得大部份海嘯在海洋中行進時都具有淺水波(shallow water wave)的特性。淺水波意指水深和波長的比值很小，主要的特性是淺水波的波浪運動速度等於重力加速度常數(9.81 公尺/秒^2)乘以水深之後的開平方根值。在太平洋中，平均水深約 4,000 公尺，海嘯的前進速度大約可達 200 公尺/秒，換言之，其速度為每小時超過 700 公里，相當於噴射機的飛行速度。同時，由於具有較長的波長，海嘯在傳遞過程中，其能量的衰減並不明顯，因此，在海洋中，海嘯以高速在海中進行，並且挾帶著具大的能量向海岸前進，在一天之內，海嘯即可穿越整個太平洋，將大部份的能量從太平洋的一側帶往另一側。在進入淺海地區後，因水深迅速變淺，海嘯前緣因水深減少，速度放緩，但其後方水深仍相當深，故仍以較高速前進，此使得在前部的波形迅速堆高，造成在海岸地區的毀滅性破壞。

一般人認為當海嘯來臨之前，岸邊的海水會被先倒吸至外海，但事實上，第一個到達岸邊的海嘯波浪可能造成水位上升(若是波峰先到達)或下降(若是波谷先到達)。一般而言，由於波峰先到達的海嘯，因波峰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，此異常現象較易引人注目。在海灣處容易由海嘯引發的另一特殊現象是，當海灣內的水(類似在一浴缸內)受到擾動時，水面的波動會在灣內以一大約固定的週期來回振盪，此振盪的週期是依海灣的實際形狀及大小而定，此現象在海洋工程被稱為振盪(seiching)。由海嘯引發的振盪現象，在海嘯消失後仍可能在海灣內持續達數天之久，例如圖 3 中顯示為 1996 年 2 月發生於印尼的海嘯，傳遞至基隆港造成的震盪持續超過一星期。

海岸附近若有廣大的珊瑚礁區存在，海嘯在通過此區域時，由於珊瑚礁會破壞並吸收部份海嘯的能量，使得海嘯到達海岸時的能量較為減少。夏威夷歐胡島(Oahu)北側海岸有大量珊瑚礁群存在，1946 年襲擊夏威夷的海嘯，在歐胡島北側的海嘯比其他地方要小得多。在中國大陸東南海岸，受到大陸棚(continenta shelf)的淺水地形保護，使得海嘯的災情不致像日本

或夏威夷等地區一樣嚴重。

四、國內外有關海嘯之研究情況

國內早期有成功大學楊春生教授(楊春生等, 1983)從事 1867 年基隆海嘯之推算，近年則有海洋大學許明光(許明光和陳建宏, 1994)及中央大學馬國鳳(Ma & Lee, 1997)等，推算 1986 年花蓮之海嘯並與花蓮之驗潮站紀錄比較。他們都只使用線性淺水波理論來推算海嘯，沒有考慮海底摩擦的效應，且僅假設溯上高度為近海海嘯波高之某一倍數。高雄海洋技術學院張國棟(1995)曾建立近岸源海嘯發生後，受地形效應造成 trapped wave 在沿海岸方向波浪的溯上(runup)理論模式，但此模式僅適用於海嘯源自於類似台灣東部的平直海岸上之情況。國外有許多專家學者從事海嘯方面的研究(Aida, 1964; Liu, et al., 1993; Satake, 1983)。

為瞭解台灣地區受到潛在海嘯作用所產生的影響，國內與美國康乃爾大學(Cornell University)土木及環境工程學院的 Professor Philip Liu(劉立方教授)共同進行「台灣地區海嘯溯上之研究」，研究目標是建立一個適用於台灣地區的海嘯預報電腦數值模式，理論基礎是依據非線性波理論推算海嘯(早期此方面的研究大多使用線性波浪理論)，模式考慮到頻散效應(dispersion effects)及海底摩擦(bottom friction)的影響；到近岸則以移動邊界(moving boundary)方式推算海嘯之溯上。目前使用此模式模擬 1986 年 7 月發生在花蓮外海的海嘯，海嘯在東部沿岸地區造成的溯上分佈如圖 4，由圖所顯示的結果可提供海嘯防災措施參考。

伍、海嘯預警系統及災害防治

由於太平洋地區內海嘯活動頻繁，並對此地區內人們的生命及財產曾造成相當大的災害，以美國為首的環太平洋國家在 1965 年成立了太平洋海嘯預警中心(Pacific Tsunami Warning Center, PTWC)，總部設在夏威夷的檀香山，目前共有 26 個會員國，共同參與太平洋地區海嘯資料的收集、情報交換，以及海嘯預警工作。由於地震活動產生的地震波能在數分鐘內傳遞至世界各地，而海嘯波通過太平洋的時間約為一天，相對而言，海嘯波前進的速度較慢，因此，可利用地震發生的資料來進行海嘯動態的預測以提供海嘯預警作業。

太平洋海嘯預警中心(PTWC)運作的目標為偵測、定位，以及決定在太平洋盆地及其周圍可能造成海嘯的(tsunamigenic)地震之規模。如果測得地震的位置和規模達到已知產生海嘯的標準，就發佈一個緊急海嘯災害警告(Tsunami Warning)的海嘯警報，警報內容為在數小時內海嘯可能到達地區的預估到達時間，以提供各會員國在鄰近海嘯地區的防災準備。另外，海嘯監看(Tsunami Watch)將發佈海嘯在更長時間後，到達不同地點的預估到達時間，以提供較遠離海嘯產生地區之防災準備。當地的政府機構收到 PTWC 發佈的海嘯警報後，即可依照預定的疏散計畫透過收音機及電視頻道等直播公共媒體的報導，進行適當的民眾疏散工作，一般民眾依照當地媒體報導的疏散計畫實施，即可使海嘯的災害降至最低。

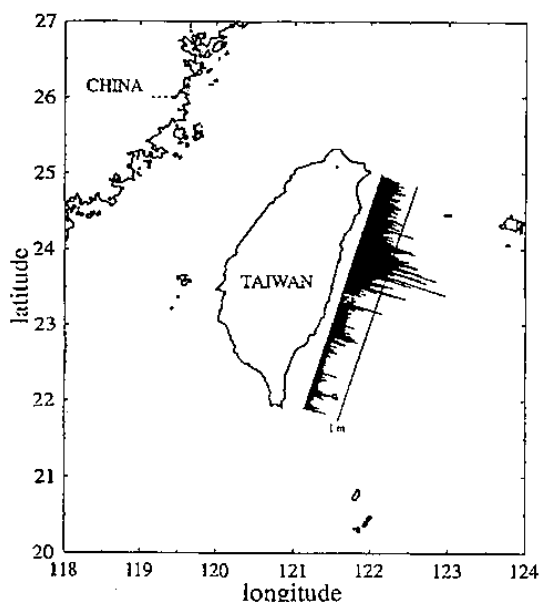


圖 4 海嘯在東部沿岸地區造成的湖上分佈

如果在太平洋地區內的水位觀測儀偵測到有明顯的海嘯發生，海嘯警報會被發佈至整個太平洋盆地。水位資料是由美國海洋及大氣署(NOAA)，PTWC(包括環太平洋各會員國)，ATWC，以及一些大學及研究機構所設的監測網提供。海嘯預警系統(TWS)的作業效率及工作績效是由國際海嘯資料中心(International Tsunami Information Center, ITIC)來加以監督及評估，以確定海嘯預警系統參與國能得到最有效的海嘯資料蒐集、分析，海嘯的衝擊評估，以及警報傳佈等服務。

一般而言，由於海嘯所攜帶的能量極為龐大且波長又是超長，就波浪消能的觀點來說，能夠消除海嘯的結構物必須十分龐大，例如中國大陸東岸外海具

有廣大的大陸棚地形，即為消除海嘯的天然屏障。有些學者提出在海岸地區種植大片的密集林木，以吸收海嘯的能量，但此仍在構想及初步試驗階段；也有提出在海岸地區建築高大堅固的海堤，以防止海嘯的侵入，但其實際的效果有待觀察，而且高大的海堤對海岸景觀造成破壞，目前為止並沒有一個實質有效的方法可以削減海嘯。就實際的海嘯災害減緩實施方面，國外大多是就當地附近海域海嘯的特性進行研究，並預測出海嘯發生後，當地沿海岸地區受到海嘯影響，所造成的海嘯溢淹地圖(inundation map)，根據此圖立法禁止在溢淹範圍區內新建醫院、學校等重要的房屋，並將溢淹地圖公佈供民眾參考，以減少海嘯對人命及財物造成的災害。

國際海嘯資料中心(ITIC)提出了十項海嘯安全守則，提供人們對海嘯的簡單認識，以及海嘯發生時的處置參考。

1. 並非所有的地震都會造成海嘯，但是許多地震都會產生海嘯，當聽到地震發生時，就準備可能有海嘯緊急事件發生。
2. 在你的附近有地震發生就是海嘯的自然警訊，感覺到強烈的地震後，不要停留在海岸的低窪區域。
3. 海嘯並非僅有一個波浪，而是有一系列的波浪，停留在安全的地方，直到有關當局發佈了完全解除警報。
4. 海嘯接近海岸時，有時會先有海水的上升或下降發生，這是海嘯的自然現象，必須要加以留意。
5. 在某處海岸海嘯很小，但在數公里外可能有極大的海嘯，不要因為一處的小規模海嘯，而失去了對海嘯的戒心。
6. 太平洋海嘯預警中心不會發佈假海嘯，當海嘯警報備發佈時，表示確是有海嘯存在，1960年夏威夷的海嘯，因為人們認為又是一次假海嘯警報，造成了61人死亡。
7. 所有的海嘯都和颶風一樣危險，即使他們不一定在所有的通過區域都造成災害。
8. 絕不要下到海邊去觀看海嘯，當你能看到海嘯時，就會因為太靠近而無法逃避海嘯。
9. 海嘯或早或晚都會影響到太平洋區域的海岸，如果是住在太平洋海岸區域，海嘯警報就有幫助。
10. 在海嘯緊急事件發生時，當地的救難單位、警察、以及其他的緊急事件處理組織，都在設法救你的性命，請盡量予以配合。

陸、結論

台灣在過去二、三百年間曾經遭受多次重大海嘯的襲擊，造成嚴重的人命及財產損失，但最近一個世紀內並無嚴重的海嘯災害發生，使政府及民眾對此一深具破壞威力的海嘯失去戒心。由過去的海嘯紀錄可知，未來台灣地區發生重大海嘯的可能性仍然相當高，然而，目前國內對海嘯的基本認知、相關研究、預警及防災措施等，均毫無準備，一旦遭受大型海嘯襲擊，生命財產之損失難以估計，我們應積極加強對海嘯有關的研究，加入國際性的海嘯預警組織，增進民眾對海嘯的認識，儘速建立海嘯預警制度及相關的應變計畫，未來台灣地區如有海嘯發生，才能將海嘯的災害減至最輕。

七、參考文獻

1. 包澄瀾等，1991: 海洋災害及其預報，海洋出版社。
2. 李起彤，1991: 活斷層及其工程評價，地震出版社。
3. 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，頁1-15。
4. 徐泓，1983: 清代台灣天然災害史料彙編，國科會。
5. 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，頁1-16。
6. 許明光、陳建宏，1994: 台灣近海地區海嘯數值模擬，中央氣象局地震測報中心報告。
7. 張國棟，1995: "津波沿均勻海岸演變 - 理論解析"，第十七屆海洋工程研討會，頁53-67。
8. 張國棟，許明光，Liu, P.L.-F, Woo, S.B., 1999: "東台灣海嘯溢淹模擬"，第二十一屆海洋工程研討會，頁418-424。
9. 游明聖，1994: "明清時代的破壞性地震海嘯記錄"，氣象學報，第四十卷，第一期，頁1-9。
10. 楊春生、湯麟武、邵建林，1983: 台灣東北部海岸地震海嘯數值推算之研究，國科會防災科技研究報告72-73號。
11. Aida, I., 1969: "Numerical Experiments for the Tsunami Propagation, the 1964 Niigata Tsunami and 1968 Tokachi-oki Tsunami", Bulletin of the Earthquake Research Institute, vol. 47, pp637-700.
12. Dudley, W. C., and Lee, M., 1988: Tsunami!.

A Kolowalu Book, Honolulu: University of Hawaii Press.

13. Gozalez, F.I., 1999: "Tsunami!", Scientific American, vol. 280, no. 5, 56-65.
14. Liu, P., Yoon, S. B., Seo, S. N. and Cho, Y., 1993: "Numerical Simulation of Tsunami Inundation at Hilo Hawaii", Tsunami '93, Proceedings of the IUGG/IOC International Tsunami Symposium, Wakayama, Japan.
15. Satake, K., 1985: "The Mechanism of the 1983 Japan Sea Earthquake as Inferred from Long-period Surface Waves and Tsunamis", Physics of the Earth and Planetary Interiors, vol. 37, pp249-260.
16. Ma, K. F. and Lee M. F., 1997: "Simulation of historical tsunamis in the Taiwan region", TAO, vol. 8, no. 1, 13-30.

Tsunami Disaster in Taiwan

Kuo-Tung Chang Glory Hsu Ming-Kuang Hsu

In 1867 and 1781, Keelung and Tainan to Kaohsiung have been attacked by huge tsunamis and have suffered serious damages, respectively. Taiwan experienced about two dozen of tsunami events in the past century. Luckily, no significant injury occurred. All the tsunami runup heights were less than 2 m is the main reason for no serious tsunami damage. However, Taiwan has very high potential of tsunami hazard in the future. People should prepare for the horrible natural disaster to minimize the damage of a destructive tsunami in Taiwan. This paper reviewed historical tsunami events in Taiwan, introduced the characteristics of tsunami, presented the status of tsunami study in Taiwan, and exhibited the tsunami warning system and tsunami disaster mitigation technique in the world to provide as a basis for the work on coastal disaster mitigation in Taiwan.