

311 日本地震造成之海嘯

吳立中¹、薄祥裕²、高家俊³

摘要

本文分析環島潮位站的實測資料，討論 311 日本地震後台灣海域之海嘯波動特徵。民國九十五年恆春地震發生海嘯事件之後，氣象局及水利署在近海水文中心的建議下將潮位站觀測從六分鐘加密到每分鐘紀錄一筆，以精確掌握海嘯波動。這套系統甫於三年前換裝完成，此次 311 日本大地震正好派上用場。由實測資料分析顯示，這次海嘯由日本傳到臺灣約需四個小時，海嘯波最早到達的地點約在台東小港附近，時間是 17:53，海嘯波高為 15 釐米，隨後海嘯波沿著海岸分別向南北前進，向北繞過東北角一直到桃園的竹圍、往南繞過巴士海峽一直到高雄永安。值得注意的是，發生海嘯波最大的地方並不在東部海岸，潮位站實測資料顯示，此次海嘯在烏石港測得 35 釐米為最大值，大鵬灣和高雄永安均測得 20 釐米的海嘯，比東部海岸都大；而臺灣海峽內如彰化、金門則沒有明顯的海嘯；海嘯波從花東傳到東北角約需 30 分鐘；繞過巴士海峽到達高雄永安約需 50 分鐘。臺灣海域的海嘯水位實測紀錄不多，透過此次海嘯實測資料的分析與討論，對於未來可能發生之海嘯的研判以及預警將具有一定程度之助益。

一、前言

太平洋地區為海嘯最常發生的地區，已知的海嘯事件接近 1300 件 (Levin and Nosov, 2009)，所造成生命財產的損失更是不計其數。台北時間 2011 年 3 月 11 日 13 時 46 分於日本附近海域發生了芮氏規模 9.0 的強震，並隨後引發海嘯。海嘯威力之大，就連深度達到 63 公尺，被金氏世界紀錄認為最深防波堤的釜石港亦無法抵擋海嘯之衝擊。相較於強震的影響，海嘯所帶來之災情更為嚴重，例如 2004 年印度洋大地震所引發的南亞大海嘯，影響週邊海域 14 個國家，更造成高達二十多萬人因海嘯而死亡。

此次日本地震發生後，美國的太平洋海嘯警報中心(Pacific Tsunami Warning Center, 簡稱 PTWC)隨即針對太平洋區域發布了海嘯警報，警戒範圍包括了台灣東岸以及東北角海岸(圖 1)。中央氣象局則是針對台灣境內的海岸地區發布警報，所幸並無嚴重的災情產生。台灣海岸線全長約 1139 公里，因地狹人稠，土地資源不足的限制，部份海岸土地之開發已延伸至潮間帶及淺水海域，海堤後方即為農田、道路甚或住家，獨特之海岸環境使得海岸防災工作面臨嚴重考驗。就本身的地理條件而言，台灣和日本皆位處於環太平洋地震帶上。除了颱風之外，台灣地區的地震也

是非常頻繁。國人因此次日本海嘯災情的發生而開始關注我國海岸地區所可能發生的災害，並試圖瞭解我國現有的海岸預警與防災機制是否足以有效保護民眾的身命財產安全。因應此次 311 日本地震造成之海嘯，本文討論台灣環海實測水位數據之特徵，藉以掌握海嘯波動傳遞至台灣海域時之特徵，進而檢討我國現有之海嘯預警能力，期能有效協助未來台灣海域的海嘯預警工作。

ESTIMATED INITIAL TSUNAMI WAVE ARRIVAL TIMES AT FORECAST POINTS WITHIN THE WARNING AND WATCH AREAS ARE GIVEN BELOW. ACTUAL ARRIVAL TIMES MAY DIFFER AND THE INITIAL WAVE MAY NOT BE THE LARGEST. A TSUNAMI IS A SERIES OF WAVES AND THE TIME BETWEEN SUCCESSIVE WAVES CAN BE FIVE MINUTES TO ONE HOUR.

LOCATION	FORECAST POINT	COORDINATES	ARRIVAL TIME
JAPAN	KATSUURA	35.1N 140.3E	0635Z 11 MAR
	KUSHIRO	42.9N 144.3E	0642Z 11 MAR
	HACHINOHE	40.5N 141.5E	0700Z 11 MAR
	SHIMIZU	32.8N 133.0E	0756Z 11 MAR
	OKINAWA	26.2N 127.8E	0912Z 11 MAR
	URUP_IS	46.1N 150.5E	0714Z 11 MAR
RUSSIA	SEVERO_KURILSK	50.8N 156.1E	0834Z 11 MAR
	PETROFVLOVSK_K	53.2N 159.6E	0836Z 11 MAR
	UST_KAMCHATSK	56.1N 162.6E	0840Z 11 MAR
	MEDNNY_IS	54.7N 167.4E	0903Z 11 MAR
	MARCUS_IS.	24.3N 154.0E	0757Z 11 MAR
N. MARIANAS	SAIPAN	15.3N 145.8E	0853Z 11 MAR
	GUAM	13.4N 144.7E	0909Z 11 MAR
WAKE IS.	WAKE IS.	19.3N 166.6E	0925Z 11 MAR
TAIWAN	HUALIEN	24.0N 121.7E	0932Z 11 MAR
	HUALIEN	24.0N 121.6E	0933Z 11 MAR
	TAITUNG	22.7N 121.2E	0936Z 11 MAR
	CHILUNG	25.2N 121.8E	1004Z 11 MAR

圖 1 PTWC 之預警資料(UTC 時間)

二、台灣的海嘯觀測技術進展

大多海嘯的成因源自於海底地震所引發的波動。震波傳至海面後，會沿水面朝外擴張。在外海大

1 國立成功大學近海水文中心專案助理研究員

2 行政院國家科學委員會工程技術發展處副研究員

3 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心主任

洋中，海嘯水位之波動幅度僅約數十公分到一米，海上行進之船艦並不易發覺到其存在。相較於風浪的波動現象，海嘯屬於較長週期的波動，波動能量受地形影響的損耗較小，海嘯波動傳遞至近岸淺水區域後，因淺化效應水位迅速抬升，因而可以溯升至較內陸的區域，進而造成災害。

岸邊的現場觀測為最直接掌握海嘯特徵的方法之一。台灣早在日據時代開始就已有進行岸邊海水位的監測，藉以確認潮汐的漲落，作為船隻進出港的依據。除此一用途之外，這些岸邊海水位的資料也是判斷颱風暴潮以及海嘯水位抬升的憑據。國際間也曾有學者利用潮位站的實測資料研究 2004 年南亞大海嘯之波動特徵(Rabinovich and Thomson, 2007)。但我國早期的潮位觀測儀器缺乏自主之技術，且儀器缺乏定期檢校，量測數據之準確性無法掌握。部份測站也缺乏數據自動傳輸系統，無法取得即時潮位資訊。有些甚至是採用人工記錄的方式，致使在當時的海水位量測精度還無法達到國際級之標準，也不易應用於分秒必爭的海岸防災工作。為能突破當時技術之瓶頸，政府相關部門在十年前與國立成功大學近海水文中心合作，引進美國最新的海水位自動觀測系統技術，並依台灣特有的海洋環境條件進行技術移轉與系統整合，建立出本土化的自主觀測技術(圖 2 及圖 3)，將岸邊水位量測的精確度提升到公厘等級。此技術之關鍵在於大幅改進超音波測距儀受溫度影響所引起之誤差，因而有效提升了量測精度。由於儀器之品質是精準量測水位之關鍵，為能持續維持觀測數據之品質，成功大學近海水文中心進一步研發儀器之檢測設備、建立儀器檢測程序以及訂定檢測規範。新型的觀測技術並搭配有通訊設備，系統自動完成量測作業後，隨即可將觀測數據發送至指定位置，以利海岸災害預警之研判以及人員疏散等緊急因應措施之用。此一潮位觀測設備及技術之開發已達到完全的自主，無須再仰賴國外廠商的技術支援。目前在中央氣象局、水利署以及相關政府部門的投入下，台灣沿海已設有超過 30 座高精度的岸邊潮位觀測站，全天候監測環島海岸地區的海水位特徵。2006 年 12 月 26 日屏東恆春鎮發生芮氏規模 6.7 強震，位於當地「蟬廣嘴」潮位站隨即偵測到 25 公分的海嘯波動(圖 4)，顯示國內當時已具備能力運用新科技來偵測海嘯。唯當時環島的潮汐觀測方式多為每六分鐘或甚至是每一個小時才紀錄一次海水位資料的運作方式，這對於周期為

十餘至數十分鐘的海嘯波動現象而言尚不足以精確掌握。尤其是海嘯水位抬升到最高的發生時間點以及水位值，甚至是海嘯波動的週期等特徵都必須被精準的確認，才能釐清海嘯的整個歷程。有感於此，成功大學近海水文中心隨即開始發展潮汐加密觀測技術，現已發展出每一分鐘就量測一次海水位的技術。以此新型技術為基礎，2010 年 2 月底的智利大地震之後於台灣東岸成功觀測到海嘯波動，獲得高品質的海嘯波動數據。

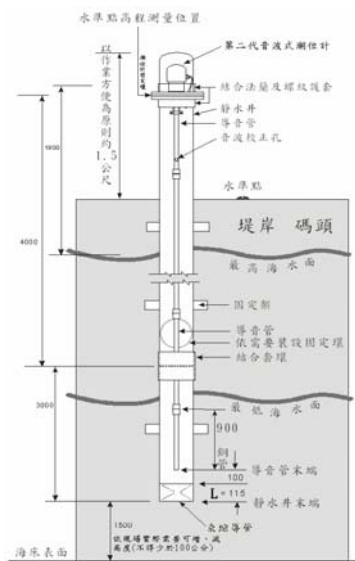


圖 2 潮位站設置技術之說明



圖 3 岸邊潮位站實體

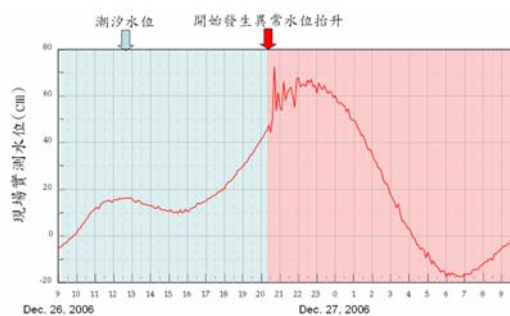


圖 4 2006 年 12 月底於屏東蟬廣嘴潮位站所測得之海嘯波動

三、實測海嘯數據之討論

此次日本 311 大地震後於台灣地區雖無災情，但環島多數岸邊潮位站仍量測到明顯的海嘯波動。從圖 5 的花蓮石梯水位觀測結果可發現，3 月 11 日之前，水位僅呈現規則的潮汐波動。自 11 日黃昏開始，除了潮汐的波動之外，還可偵測得較潮汐更高頻的水位波動。透過實測資料的調合分析，並將天文潮之水位資料移除後，能更清楚確認異常水位波動之發生時間。從圖 6 發現到海嘯的水位波動並非單一波動的震盪，而是持續了超過半天以上的水位震盪現象。圖 7 則彙整了台灣環海一些潮位站於 3 月 11 日前後的觀測資料，確認異常水位抬升至最高的時間及水位抬升高度。圖中海嘯水位抬升之定義則是根據圖 8 所示，為平均海面到潮位站所測得海水位抬升至最高的量值。從實測數據可判斷出海嘯波先抵達台灣東岸的台東及花蓮等地，後續才影響到台灣的北部以及南部海岸地區。此外，台東花蓮等地雖最先受到海嘯波之影響，但分析環島實測資料發現水位抬升最大的區域是在東北角的烏石海岸地區，海岸地形的差異應是造成台灣環島海嘯抬升高度不盡相同的原因之一。透過鄰近測站水位抬升至最高的時間差可約略計算出海嘯波動的傳遞速度。發現到台灣海峽北端的海嘯波行進速度約略為 70km/hr；海峽南端的海嘯波行進速度則約略為 150km/hr，明顯較北部快。由圖 7 可發現到台灣海峽北端的水深較淺，致使影響了海嘯波的傳遞速度。

此次美國太平洋海嘯中心發布的海嘯警戒範圍為台灣東岸以及東北角海岸等地區，但從海岸現場水位資料中發現到台灣海峽內部，包括了台灣西南以及西北部的海岸地區於海嘯波抵達台灣東岸後不久也發生有異常水位波動之現象。因台灣西岸的地形較東岸平緩，巨型海嘯假若真的傳遞至此，海水有可能淹沒到更內陸之區域，引發較東岸更為嚴重之災情，海峽內部的海嘯防治工作著實不可忽略。

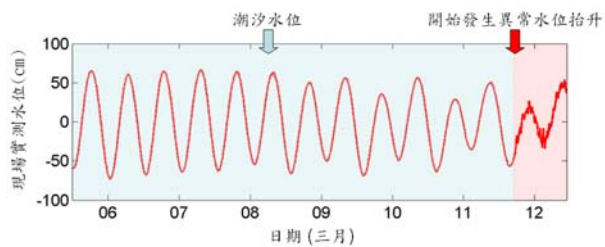


圖 5 2011 年 3 月 11-12 日花蓮石梯之水位觀測結果

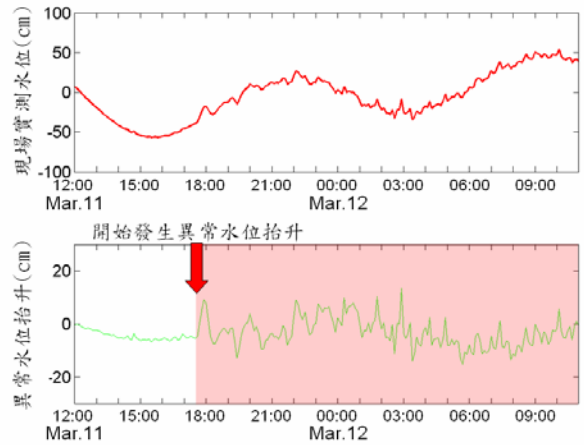


圖 6 2011 年 3 月 11-12 日花蓮石梯之異常水位

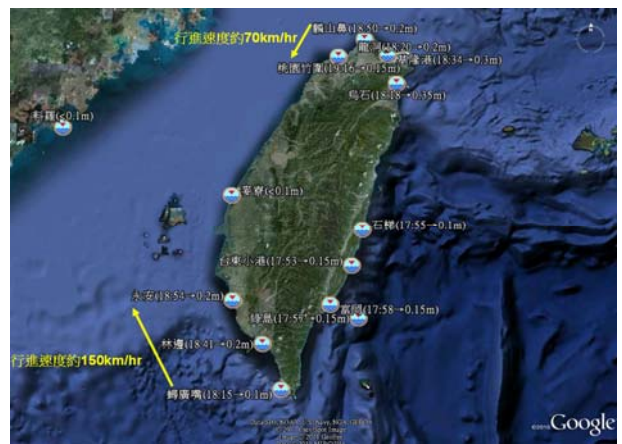


圖 7 異常水位抬升至最高的時間及水位抬升高度

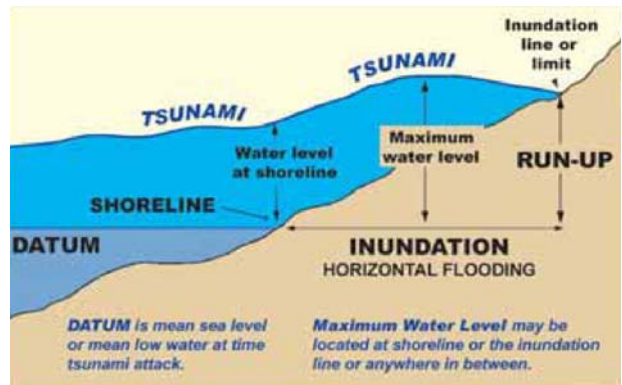


圖 8 海嘯水位抬升之定義

(圖片來源：UNESCO-IOC，2006)

四、未來海嘯預警工作之檢討

此次海嘯的警戒範圍包含了整個太平洋周邊國家。根據圖 9 的歷年地震及海嘯分布圖也可發現整個環太平洋帶皆為地震以及海嘯潛勢區域，顯見海嘯之預警與防災絕非單一國家的自身工作，有必要結合國

際間的力量，共同研擬與防治。我國現有岸邊潮位站所獲取的海水波動紀錄雖能即時偵測海嘯所引發之異常水位波動，但要發揮長時間的預警功用，仍需要結合遠海觀測平台的海嘯偵測。

美國的資料浮標中心 (National Data Buoy Center, 簡稱 NDBC) 於 2001 年起即開始著手於海嘯潛勢海域設置現場海嘯警示浮標 (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis, 簡稱 DART), 即時監測海面異常的水位波動, 作為海嘯預警之依據。美國政府並於 2005 年宣布支出三千七百五十萬美元提升強化本身的海嘯預警系統。強化後的系統幾乎涵蓋美國所有的海岸線, 得以讓相關部門在有限的時間內作出應變措施。截至 2008 年為止, 於太平洋以及大西洋的海面上已設置有超過 30 座海嘯警示浮標系統, 如圖 10 所示。這種海嘯警示浮標系統是透過安裝在海底床的壓力計進行水位波動的量測, 再透過聲波將觀測數據傳送至海面上的浮標。裝有接收器的浮標接收訊息後, 透過通訊衛星將資料傳回預警中心, 再由電腦分析算出海嘯行進模式及規模。此次日本海嘯發生後, 位於日本附近海域的海嘯警示浮標系統確實發揮功能, 如圖 11 所示。透過偵測到的海嘯波動紀錄, 確認了海嘯的強度以及傳播速度, 達到更準確的預警功效。離震央 7 千公里外的美國西岸因而有更充足的資訊進行研擬與因應, 確實避免了許多的災情。

我國於台東外海(距台灣東岸約 330 公里)以及高雄外海(距高雄港約 220 公里)處皆設有海象觀測浮標, 當初設置這兩座海上觀測平台之目的為颱風以及西南氣流的海氣象預警, 目前仍尚未加入海嘯偵測及警示功能。日後若能在現有平台上增加其海嘯自動預警功能, 針對外海所發生的海嘯, 估計能為台灣東岸以及西南海岸增加約半小時的黃金預警時間。未來也可透過國際合作方式進行觀測技術以及現場海嘯觀測資料的共享, 與世界各國合作, 共同強化全球海域的安全。

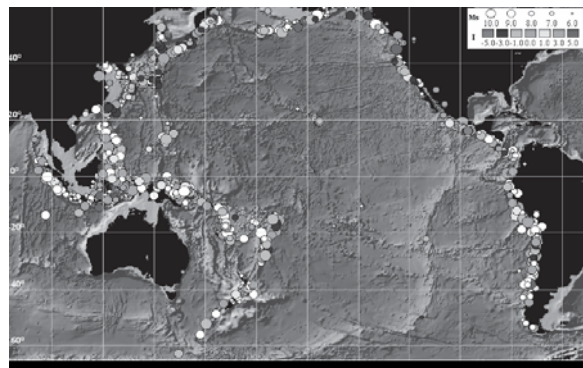


圖 9 太平洋的海嘯事件分布
(圖片來源: Levin and Nosov, 2009)



圖 10 美國 NDBC 於太平洋所布建之海上浮標站網

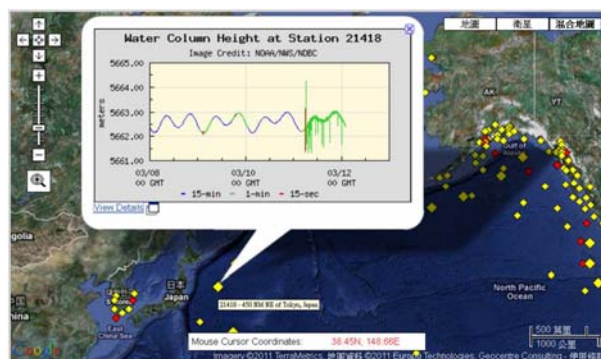


圖 11 3 月 11 日於日本附近海域所測得之海嘯波動

五、結論

此次 311 日本大地震雖然在台灣地區並未造成災情, 但從現場潮位站的水位觀測資料仍發現了海嘯波動。透過國內自主的水位觀測技術, 能確認台灣環島海嘯水位抬升至最高的時間及水位抬升高度, 並進而估算出海嘯波的行進速度, 這些結果對於日後於台灣海域所可能發生的海嘯現象能協助進行更縝密之研判, 進而有效減低可能會發生的災情。除了岸邊實

測海嘯水位外，遠洋海上浮標的海嘯監測則能達到更有效的預警功能，國際間亦已發展出成熟的深海海嘯波的監測技術。若能應用於現有台灣遠洋浮標系統，將能爭取到更寬裕的黃金預警時間。八零年代開始，有學者根據海嘯波峰與波谷之海面流向相反的特性，提出利用高頻雷達(High Frequency Radar)測流儀觀測海嘯的構想(Barrick, 1979; Lipa et al., 2006)，希冀可作為海嘯預警之用。由於海嘯的實際觀測資料十分珍貴，當前此一構想將有待學界進行現場實測確認。

對於各種可能發生的災害，事前的預警比事後的救災更為重要。台灣位處颱風以及海嘯等不同淹水災害的潛勢發生區域乃是不爭之事實，我國於此次海嘯事件中雖然沒有遭受嚴重之災害，但並不代表我們可以忽略海嘯在台灣地區所可能造成的潛在危險。從海洋國家長期發展的角度觀之，未來該如何善用水之利，且同時能有效避免水之禍，絕對是我們必須面對且持續思考的課題。

六、謝 誌

承蒙中央氣象局以及經濟部水利署提供潮位站觀測資料，使本文得以順利完成，謹致感謝之意。

參考文獻

1. Barrick, D. E., 1979, A costal radar system for tsunami warning. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 8, pp. 353-358.
2. Levin, B., Nosov, M., 2009, *Physics of Tsunamis*, Springer.
3. Lipa, B. J., Barrick, D. E., Bource, J., Nyden, B. B., 2006, HF Radar detection of tsunamis. *Journal of Oceanography*, Vol. 62, pp. 705-716.
4. Rabinovich, A.B., Thomson, R.E., 2007, The 26 December 2004 Sumatra Tsunami: Analysis of Tide Gauge Data from the World Ocean Part 1. Indian Ocean and South Africa, *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 164, pp. 261-308.
5. UNESCO-IOC. Tsunami Glossary. IOC Information document No. 1221. Paris, UNESCO, 2006