臺灣周邊海域海嘯預警浮標系統建置現況

楊穎堅[1]　謝佳穎[1]　滕春慈[2]　麥如俊[2]　陳仁曾[2]
海洋研究所[1]　海象測報中心[2]
國立臺灣大學　中央氣象局

摘　要

同時位於環太平洋地震帶與颱風行經之熱區的臺灣，易有複合型災害的發生，且現今氣候變遷，導致該地區暴露於諸多風險中。除了來自海上的潮濕氣流或颱風所引起的暴雨、洪水、波浪及暴潮皆危及臺灣地區陸域及海域之安全，受地震引發之海嘯所造成的經濟生命財產之損失也是不可忽視的。而我國目前在海嘯預警方面，中央氣象局於2018年度在臺灣東南及西南海域各建置一組海嘯預警浮標系統。此系統之預警方式為，將海嘯觀測浮標放置於外洋，偵測海嘯的來臨，優化海嘯預報，用準確的預報來推估海嘯規模與衝擊範圍，提供人民應變所需的時間。本文中將介紹海嘯觀測浮標系統、海嘯預警的運作機制、海嘯預警浮標海上佈放過程及其資料展示。

關鍵字：海嘯預警浮標

一、前言

海嘯為長波重力波的一種，在海中有能讓海水面產生垂直變化的因素存在時，如海底地震、海底山崩、海底火山爆發和隕石撞擊等，即可能造成海嘯的發生。而海底地震為最常造成海嘯發生的因素，當海底發生地震時，地殼的變動使該區域的海水向上抬升，而有海嘯的生成。當海嘯在深海區傳遞時，其時速約為700至800公里，但振幅僅約數十公分至1、2公尺，因此在海上航行的船隻不會有明顯的感覺；但是當水深變淺時，即海嘯傳播至陸地附近，地形的效應使海嘯波隨地形被抬起，再加上海嘯波傳的速度會因水深變淺而減速，所以當海嘯波越靠近岸邊，速度越慢，而後方的海嘯累積上來，造成整個海嘯波高被放大，因而會對沿岸地區造成很大的損害。如：於2004年12月26日清晨，發生在蘇門答臘島西北部，亞齊省西南外海的芮氏地震規模9.0級大地震，引發南亞大海嘯，巨浪沖向印尼、泰國、斯里蘭卡、印度這些印度洋周邊國家，甚至沖向遠在五千公里外的非洲東岸，一天之內造成數十萬人傷亡，數百萬人無家可歸。而在2011年3月11日下午，日本東北地方太平洋近海地區發生芮氏地震規模9.0級的大地震。該地震引發了日本紀錄以來最大的海嘯，也引發了一系列的災害及核洩漏事故。

臺灣同樣位於環太平洋地震帶與颱風行經之熱區，不僅暴露於氣候變遷導致之諸多風險中，來自海上的潮濕氣流或颱風所引起的暴雨、洪水、波浪及暴潮將危及臺灣地區陸域及海域之安全，除此之外亦可能遭受地震所引發之海嘯而造成經濟生命財產之損失。而在海嘯預警方面，在尚未建立海嘯預警浮標之前，中央氣象局僅用所屬之潮位站監測海嘯波到達岸邊時間，作為海嘯警報告參考，但提供之海嘯防災應變時間太短或甚無預警時間，亟需改善。有鑑於此，中央氣象局在2018年分別於臺灣東南及西南海域建置兩組海嘯預警浮標系統，以達海嘯預警與防災避災之目的。

本文即為介紹臺灣周邊海域海嘯預警浮標系統建置現況。文章結構如下所述：第二章為海嘯觀測浮標系統之簡介，第三章介紹海嘯預警的運作機制，第四章描述海嘯預警浮標海上佈放過程及其資料展示，最後為總結與未來發展。

二、海嘯預警浮標系統介紹

目前中央氣象局使用的兩組海嘯預警浮標是採購自美國科學應用國際公司(Science Applications International Corporation, SAIC)所生產的中頻率海嘯浮標系統(簡稱SAIC Tsunami Buoy-Mid Frequency, STB-MF)，如圖1所示。此浮標可部放於水深小於6000公尺之海域，且符合美國海洋大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)之深海海嘯觀測浮標(Deep-ocean Assessment and Reporting Tsunamis, DART®)之規範(Lawson et al., 2011)。其主體分為海面浮標系統、海底壓力紀錄系統、錨繫錨碇系統三個部分。另外還有海嘯浮標通訊與資料展示系統，做為控制與監測之用。

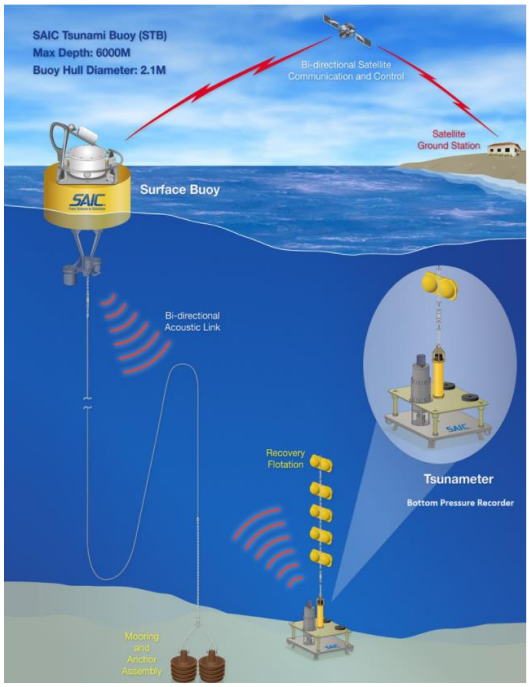

圖1：STB-MF浮標之示意圖。(取自https://www.oceannews.com/ featured-stories/september-feature-story-saic)

（一）海面浮標系統

海面浮標系統(圖2)之浮體材質採用離子聚合物發泡材；支架部分是使用高強度的鋁、鍍鋅鋼與不鏽鋼等材料製成，於浮體上安裝一組防撞警示燈與雷達反射器提醒周邊經過的漁船要避開。而安裝於浮體中的系統主機內有中央處理器、銥衛星數據機、與提供浮標系統運作之電池。浮體下方連接中頻聲波數據機(Acoustic Modem, AM)及音鼓(Transducer)，可與海底壓力記錄器進行雙向通訊。

圖2：STB-MF 海面浮標系統之示意圖。A：雷達反射器、B：防撞警示燈、C：系統主機、D：浮體、E：聲波數據機。(取自 https://www.oceannews.com/featured-stories/september-feature-story-saic)

（二）海底壓力紀錄系統

海底壓力記錄系統(圖3)包含高精度壓力感應器(Digiquartz Bottom Pressure Recorder, BPR)、聲波數據機、音鼓、鋰電池組。BPR為整組浮標最重要的一部分，用於紀錄海底水壓的變化，其解析度為1mm，可記錄儲存至少2年之水壓與溫度資料於儲存空間中。聲波數據機與音鼓是用於傳遞資料，透過聲波數據機可將觀測資料傳送至浮標端。而鋰電池組則是供應系統運作之電源。除了系統本體之外，在其側有音響釋放儀，當其接收自船舶上所傳送之聲波指令，即可將底部的錨釋放，透過10顆深海玻璃浮球提供之浮力，使設備浮至水面，以便回收工作進行。

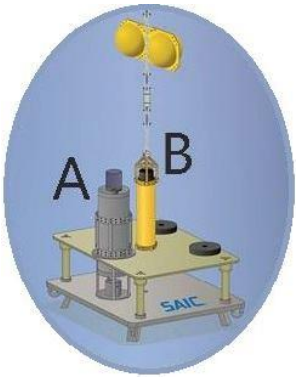

圖3：STB-MF 海底壓力紀錄系統之示意圖。A：海底壓力紀錄系統主體，內含BPR、聲波數據機、音鼓、鋰電池。B：音響釋放儀。

（三）錨繫錨碇系統

錨繫錨碇系統是用於固定海面浮標系統，在中央氣象局目前已布放之兩組海嘯預警浮標，因其布放位置之海流強度，所以採緊拉式錨繫系統之設計。錨繫系統包含一條防止魚咬與釣魚線破壞之鋼纜、可佈放於6,000公尺深的高拉力纜繩及一組錨碇組合而成。

（四）海嘯浮標通訊與資料展示系統

海嘯浮標系統除了前述三項放置於海上的部分之外，在陸上還有海嘯浮標通與資料展示系統，作為通訊與監測之用。浮標通訊系統部分是由SAIC開發，可接收與展示海嘯浮標即時與原始資料，包括通訊服務伺服器(含收發機)與資料伺服器各兩部，其中一套為主系統，另一套為備援系統。而資料展示系統安裝SAIC資料展示監控軟體後，可進行浮標狀況監控與資料查詢顯示。資料展示系統可展示正常模式(每小時)、事件模式(每分鐘及每15秒)下之水深時序列圖，並可展示浮標位置、電池電壓相關資訊

等之監控畫面。除此之外，系統中還有一個背頻道（Back Channel）用於發送命令給浮標或BPR，使它們得以回傳資料或更改系統設定。

三、海嘯預警機制之簡介

海嘯預警系統是預警中心的科學家們，運用歷史的全球觀測資料，包含：地震、潮汐、海嘯浮標以及其他觀測資料，將其整合、分析，開發出最先進的海嘯預報模式。當觀測到觸發海嘯產生的要件時，如：海底地震。海嘯模式將輸出海嘯可能移動的方向與時間，此時系統會喚醒海嘯可能會途經的浮標，使其開始進行密集觀測，並將資料回傳至預警中心。如此一來就可以將收集到之觀測資料再放到模式中，修正模式預報，以取得更精確的海嘯大小、到達時間與影響範圍(NOAA PMEL, 2007: Bernard et al., 2010; Bernard and Meinig, 2011)。為了讓大眾容易瞭解海嘯預警資訊，海嘯科學家會將輸出之模式結果轉化成大眾所容易瞭解的語言，告知在特定區域人員海嘯可能來襲的訊息，提前採取避難措施。而目前的海嘯資料整合與預警發布主要是由美國大氣海洋總署隸屬的國家浮標資料中心(National Data Buoy Center, NDBC)所負責。

海嘯在深海區移動相當快、且震幅很小，使用位於海底的高解析壓力計才能觀測海水面的微小變化。為節省電源，使海嘯預警浮標觀測系統維持更長的觀測時間平時高解析壓力計呈休眠狀況，每15分鐘採樣一次。但一旦海嘯可能發生時，高解析度壓力計會由海嘯預警中心啟動遠端遙控啟動、或是自動啟動，進行每15秒一次的高頻率採樣並將資料回傳至海嘯預警中心。

四、海上佈放

為使海嘯來臨時有足夠時間應變，透過歷史海嘯資料分析，將兩組浮標的佈放位置選在臺灣東南方海域－臺東縣東南方約340公里處，水深約5,500公尺，此點位命名為TW1。以及臺灣西南方海域－鵝鑾鼻西南方約220公里處，水深約2,900公尺。此點位命名為TW2。該二點位的位置如圖4所示，均在我國之200海里經濟海域內，也是在海巡署暫定執法線與護漁範圍內，且鄰近海域是一片平坦地，為適合施放海嘯預警觀測浮標之區域(國立臺灣大學海洋研究所, 2017a; 2017b)。

海嘯預警浮標在前往海上施放前，先進行為期三天的陸上通訊與資料展示系統安裝，以及為期一周的陸上組裝與測試，在確認系統正常運作後，依安排之航次出海佈放。海上佈放流程如下所述，當海研一號抵達佈放預定地後，依序有幾件事情要做，第一、進行海底地形測量。再次確認原計布放位置為適合施放浮標的平坦海域。第二、進行海底壓力紀錄系統施放。第三、待儀器著底後，進行四點定位。確認BPR確切位置，以避免與海面浮標系統纏在一起。第四、選定海面浮標系統佈放位置，並完成施放(圖5)。第五、確認資料回收狀況。在依序完成上述步驟後，確認儀器正常運作、資料持續回傳後，即可前往其它海域，繼續執行其它海上觀測任務。

此兩浮標原預計一同在OR1-1209航次布放，但因受颱風影響，最後是CWB2於OR1-1209航次布放，2018年10月1號完成，其浮標位置如圖6所示；而CWB1於OR1-1211航次布放，2018年10月14號完成，其浮標位置如圖7所示。而這兩站浮標位置監測範圍有所不同是因為當地水深不同所致。

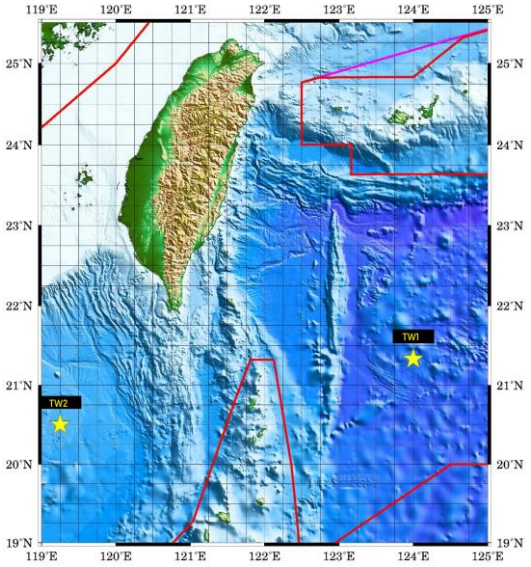

圖 4：星號為兩組海嘯預警觀測浮標預劃布放位置，紅線為海巡署暫定執法線(紫線)與護漁範圍(紅線)。水深資料取自科技部自然司海洋學們資料庫 500 公尺解析之水深資料。

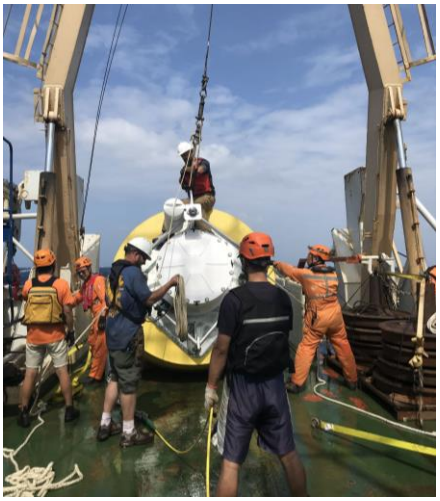

圖 5：海面浮標系統佈放過程。

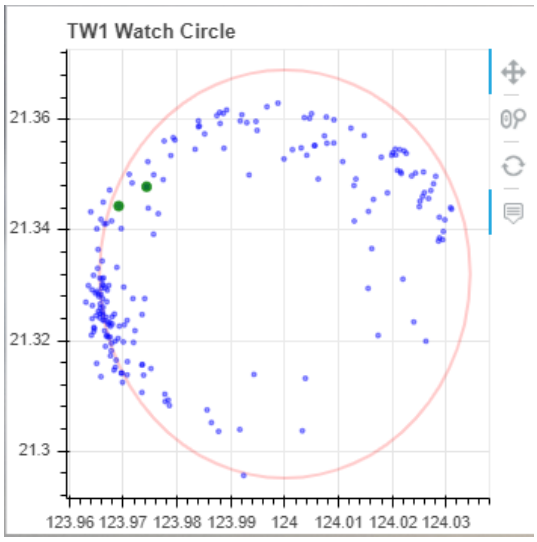

圖 6：TW1 站浮標位置監測範圍。

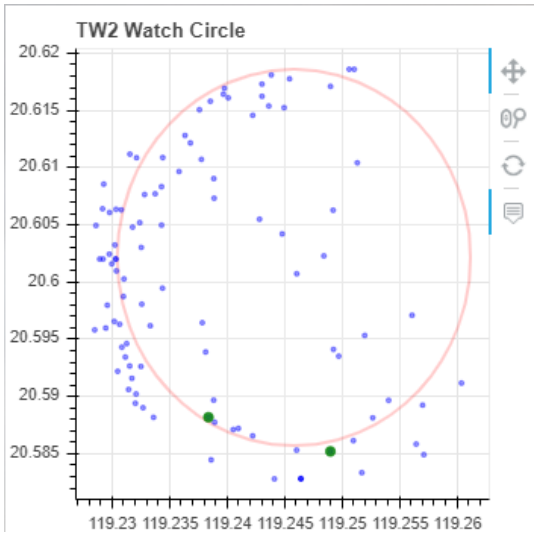

圖 7：TW2 站浮標位置監測範圍。

五、資料展示

在海嘯浮標資料展示系統中，使用者操作介面提供(1) 首頁、(2) 潮汐資料頁面、(3) 浮標範圍監控頁面、(4) 浮標電池監控頁面、(5)BPR電池監控頁面，以及連接原始資料與CSV資料庫。

首頁提供網頁的基本架構，在頂端的工具列中可連結到所有圖型展示頁面、可用工具與資料庫。而潮汐資料頁面則是展示目前為止所選站點之收集到的觀測資料，在該頁面中，可調整時間範圍與水位高度範圍，依據自己所要看的資料範圍做調整。圖8、圖9分別是展示TW1與TW2站從佈放完成到現在所收集到的資料。非常可惜的，TW2站在2019年1月14之後資料中斷、通訊中止，在經過海巡署派船搜索以及海研一號至附近的搜尋後，皆無看到浮體存在，因此研判TW2站之浮標已被撞沉或是被撞壞後漂離原地點了。

而浮標範圍監控頁面(圖6、圖7)，是利用一天回傳一筆的浮標位置資料繪製而成。根據你所選的範圍，系統會畫出選定的觀測平台之位置資訊。較新的資料在圖中會以綠點標記。圖中紅圓範圍是由使用者自己設定，代表浮標可能位於的範圍稱為watch circle。

浮標電池監控頁面展示了聲波數據機、CPU以及銣衛星模組的電壓；BPR電池監控頁面則是展示BPR系統中BPR、聲波數據機、CPU之電壓，此監測頁面皆為監控浮標狀態所設計。

原始資料資料庫頁面，提供使用者依不同觀測平台、不同的COMMSVR所分之每日資料檔案夾，點入資料夾後，可以看到同一天的資料會被整合到同一個檔案之中，這些資料夾以文字檔的方式呈現，為從觀測平台接收資料後，為處理過之資料。而CSV資料庫頁面中的資料夾分類方式和前述相同，這裡面放的資料為處理過後可直接閱讀、理解的檔案，它可讓使用者在做之後其他的資料分析時更加容易。

圖 8：TW1 站水位高度圖。

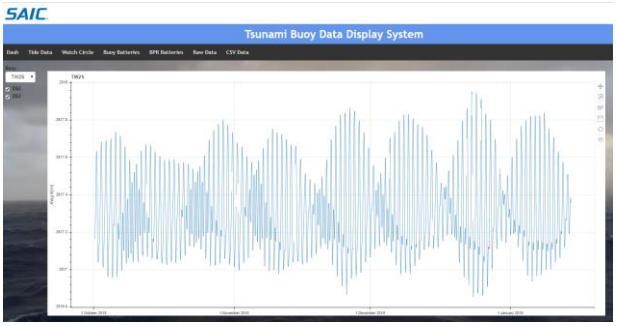

圖 9：TW2 站水位高度圖。

六、總結與未來發展

目前中央氣象局已於2018年末完成兩組海嘯預警浮標系統的建置。此系統的建置將有助於更好的災害風險評估，對民眾的安全有更上一層保障，除此之外，還可盡到國際的社會責任。

此外，倘若技術可行，開發一些輕便、可掛載於此浮標上的海氣象探針，如：風向風速計、溫濕度計、氣壓計、表水溫度計等，同時收集海氣象資料，將海嘯預警浮標系統擴展為一個海嘯、氣象、海象的綜合觀測平台，發揮最大的效益。

七、參考文獻

1. Bernard, E., and C. Meinig (2011): History and future of deep-ocean tsunami measurements. In Proceedings of Oceans' 11 MTS/IEEE, Kona, IEEE, Piscataway, NJ, 19–22 September 2011, No. 6106894, pp.7
2. Bernard, E.N., C. Meinig, V.V. Titov, K. O'Neil, R. Lawson, K. Jarrott, R. Bailey, F. Nelson, S. Tinti, C. von Hillebrandt, and P. Koltermann (2010): Tsunami resilient communities. In Proceedings of the "OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society" Conference (Vol. 1), Venice, Italy, 21–25 September 2009, Hall, J., D.E. Harrison, and D. Stammer, Eds., ESA Publication WPP-306.
3. NOAA PMEL (2007): Capability Assessment of the DART® -ETD Tsunami Buoy: Deep Ocean Assessment and Reporting of Tsunami - Easy to Deploy, NOAA PMEL Technical Note.
4. Lawson, R.A., D. Graham, S. Stalin, C. Meinig, D. Tagawa, N. Lawrence-Slavas, R. Hibbins, and B. Ingham (2011): From Research to Commercial Operations: The Next Generation Easy-to-Deploy (ETD) Tsunami Assessment Buoy. In Proceedings of Oceans' 11 MTS/IEEE, Kona, IEEE, Piscataway, NJ, 19–22 September 2011, No. 6107114, pp. 8
5. 國立臺灣大學海洋研究所,（2017a）。海嘯預警浮標布放作業規劃書。
6. 國立臺灣大學海洋研究所,（2017b）。海嘯預警浮標布放海域海象環境與水深地形分析評估報告