

2018年2月花蓮地震所引發港池盪漾之研究

吳立中¹

高家俊¹

滕春慈²

林燕璋²

國立成功大學¹
近海水文中心

中央氣象局²
海象測報中心

摘要

2018年2月6日深夜花蓮地震期間，中央氣象局設置在花蓮港內的潮位站紀錄到不屬於潮汐波形的港池盪漾。本研究分析發現，此一港池盪漾的週期約半小時。此外，在地震發生初期，潮位站實測水位還有發生短暫但明顯的高頻波動。本研究進一步將發展海嘯浮標所使用的即時海嘯水位偵測技術應用於分析花蓮潮位站的潮位觀測數據。未來一旦發生港池盪漾，可透過即時演算實測與預測資料之偏差值，進而有效偵測出港池盪漾現象。透過此一方式，可發送即時警示訊息，提供現場人員進行緊急應變作業。

關鍵字：2018年2月花蓮地震、港池盪漾即時偵測

一、前言

根據中央氣象局統計，每年約可蒐錄近40,000次地震，其中有感地震約1,000次 (<https://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/eq000.htm>)。臺灣位於地震活躍環太平洋火山帶中，地震活動頻繁。其中東部地震帶之地震肇因於菲律賓海板塊與歐亞板塊碰撞所造成，地震活動頻率最高。2018年2月6日23時50分41.6秒於花蓮縣近海(距花蓮縣政府東北方16.5公里)發生規模6.2，深度6.3公里的地震(圖1)。此次地震所引發的災情多集中於陸域，然而地震所引發的災害除了震波可能造成陸上建物之毀損外，海底強烈地震也有可能引發海嘯或其他之災情。全球近幾十年來最嚴重的地震及其引發之海嘯災情分別為2004年12月於印度洋發生規模9.1級地震所引發的南亞大海嘯以及2011年3月發生於日本東北地方太平洋近海地震(USGS測定為地震規模為9.1級)所引發的海嘯災情。

海嘯是否發生與地震之規模有關。有研究統計發現，要引發一定規模的海嘯，其地震規模大約要超過7級(Levin et al., 2008)。2018年2月的花蓮規模6.2的地震後，在花蓮海岸地區當時並無發生顯著海嘯跡象或是海水溢淹之災情，但當時中央氣象局於花蓮港設置的潮位站觀測到了既非潮汐漲落也非風湧浪的水位波動現象，這有可能是很微弱之海嘯波動造成的港池盪漾，但也可能是單純地震後所引發的港池盪漾現象。不論是何種外力所造成的港池盪漾，都有可能對港內船舶造成危害。本文嘗試透過能譜分析，討論此一地震後所產生的港池盪漾現象，從中判讀其水位波動之頻率特徵。雖然事後檢視潮位站實測紀錄可以判讀出港池盪漾之特徵，但

這對於事件發生當下的警示與緊急因應作業並無法提供具有時效性之助益。有鑒於此，在確認花蓮港此一水位波動特徵之後，本研究進一步研究港池震盪現象的即時偵測技術，並檢討港池盪漾即時預警之可能性。

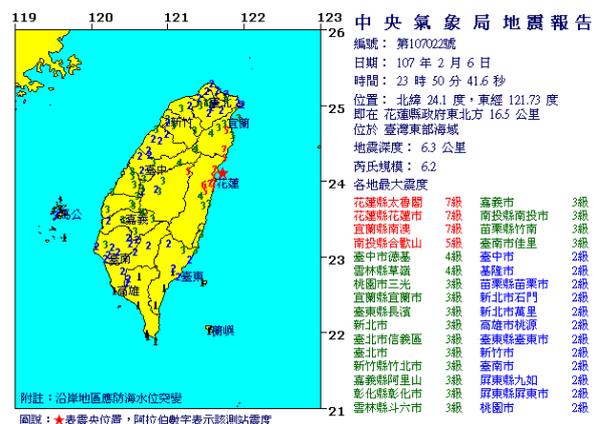


圖1 中央氣象局針對2月6日花蓮地震之報告

(資料來源：中央氣象局網站)

二、我國現有潮位觀測技術之檢討

潮汐是海洋水體受天體引力所產生具有一定規律的漲落變化。舉凡涉及海象研究、海洋生態管理、海岸工程規劃等海域活動，都需要掌握此一海水漲落之特徵。岸邊的現場觀測為最直接掌握海水位特徵的方法之一。臺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。

儘管從日據時代就已開始潮汐觀測，但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確切掌握。部份測站也缺乏數據自動傳輸技術，無法在時效內取得潮位資訊。早期有些位置點的潮位觀測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，也侷限了潮位資料的應用。為能突破當時技術之瓶頸，政府相關部門在十年前與國內學界合作，引進美國最新的海水位自動觀測系統技術。相較於傳統的目視水尺、浮筒式以及壓力式等觀測方式，新型的潮位觀測方式則是透過超音波技術進行量測。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。依臺灣特有的海洋環境條件進行技術移轉與系統整合等工作，現已建立出本土化的自主觀測技術(圖2)，將岸邊水位量測的精確度提升到公厘等級。

新型的觀測技術搭配有通訊設備，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，臺灣沿海已設有超過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。圖3與圖4分別為中央氣象局花蓮潮位站所在位置以及該潮位站現場站房外觀。

潮位站主要之功能雖是定時紀錄潮汐之水位漲落，然而其觀測紀錄也能偵測到颱風暴潮、海嘯波動以及港池震盪等現象所引發的水位波動特徵。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)。2011年日本311大地震後，環島多數岸邊潮位站也量測到明顯的海嘯波動。從圖4的花蓮港水位觀測結果可發現，2011年3月11日約18時之前，水位僅呈現規則的潮汐波動以及微小的水位抖動特徵。自11日約18時開始，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。第一次水位異常漲落的振幅僅約數十公分，因此當時在花蓮以及臺灣環島海域並無發生確切之海嘯災情。從圖5發現到海嘯的水位波動並非單一波動的震盪，而是持續了超過幾個小時的水位震盪現象。判斷這是海嘯波動進入到半封閉的港池水域中，波動在岸邊與防波堤等結構物之間來回震盪，因而造成水位震盪現象持續超過數小時的時間。

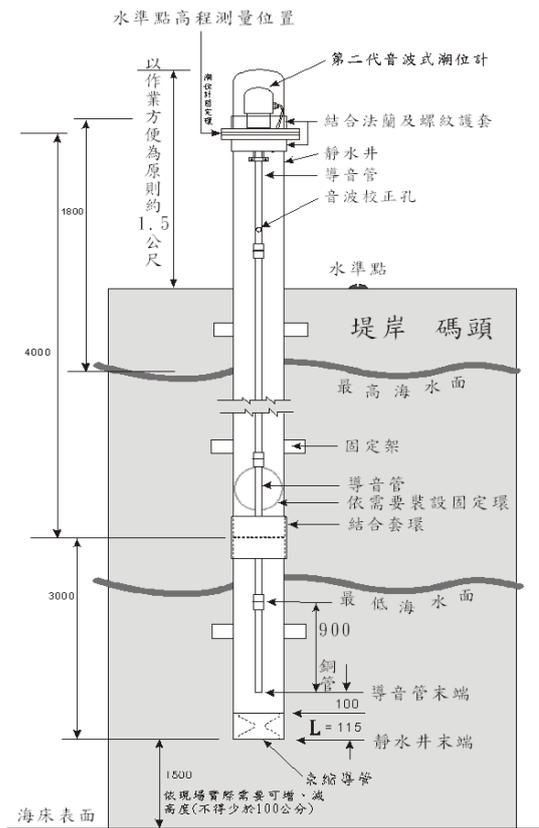


圖2 潮位站設置技術之說明



圖3 花蓮潮位站所在位置圖
(底圖來源：GoogleEarth)



圖4 花蓮潮位站現場站房(左)及其靜水井(右)

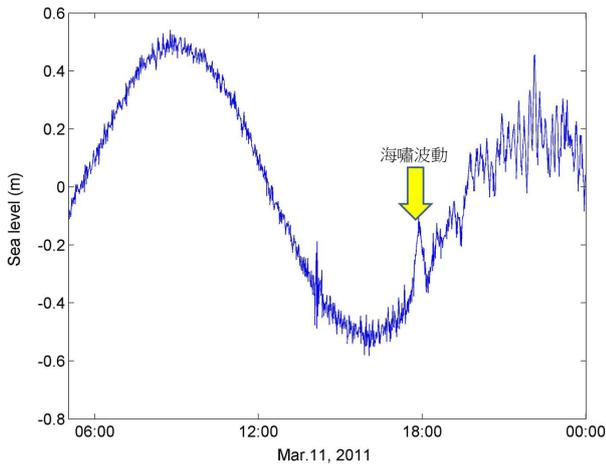


圖5 花蓮港於2011年日本地震前後測得之水位資料

三、潮位站觀測資料分析與討論

本研究針對中央氣象局於花蓮港內的潮位觀測數據進行分析。如圖6所示，為2月6日22:00-2月7日03:00之間的原始水位資料。該圖顯示，在地震發生後，海水位的漲落特徵除了原有規律的潮汐波動之外還發生有較高頻的震盪特徵。且第一次明顯水位突降的振幅約0.7公尺。水位從下降到回升至原有水位，其歷時約為15分鐘。

本文進一步利用傅立葉轉換(Fourier transform)將水位時序列轉換為能譜(Buttkus, 2012)，從中探討水位波動於頻率域之分布特徵。如圖7水位資料的傅立葉頻譜分析結果所示，能量最強的水位波動，其頻率約為0.00006Hz，相當於約28分鐘之週期。前述之第一次明顯水位突降到回升之時間歷程約為波動週期之半。

傅立葉能譜之分析結果能解析出水位紀錄所呈現出頻率和能量的關係，但無法得知波動能量在時間上的分佈。有鑑於此，本研究進一步嘗試將小波轉換(wavelet transform)理論應用於分析水位資料。小波轉換(wavelet transform)可以瞭解在時間域上的能譜密度及各頻率的能量在時間上的分佈，特別是瞬間的物理量變化。近年來小波理論的應用漸廣，將小波理論應用在潮位資料的分析，可使資訊的判斷上更為容易(李等，2008)。

如圖8所示，為水位資料的小波能譜分析結果。為能釐清前述之第一次明顯水位突降到回升歷程中的時頻譜特徵，本研究僅針對約15分鐘的水位資料進行小波轉換分析。結果顯示，除了低頻(週期超過20分鐘)波動之外，在地震發生初期(23時51分)，潮位站實測水位有短暫(歷時約1分鐘)但明顯的高頻波動，其週期約為6sec。判斷是地震震波所引起的起始海水高頻震盪。陸地震波的頻率理論上應明顯高於1/6Hz，但由於海水流體與陸地剛體之物理特性不同，海水並無法產生大振幅且頻率與陸上震波頻率

相同之波動。初步判斷在短時間內海水波動的非線性交互作用可能是讓海水產生相對低頻波動的原因之一。針對此一週期超過20分鐘低頻水位波動與地震發生初期高頻水位波動之間的交互作用，未來還有待後續分析更完整的數據與縝密探討，藉以釐清此一議題之學理機制。

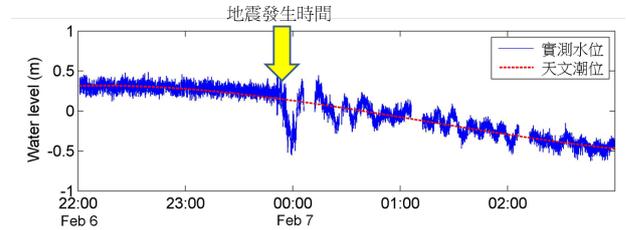


圖6 花蓮地震前後測得之水位資料

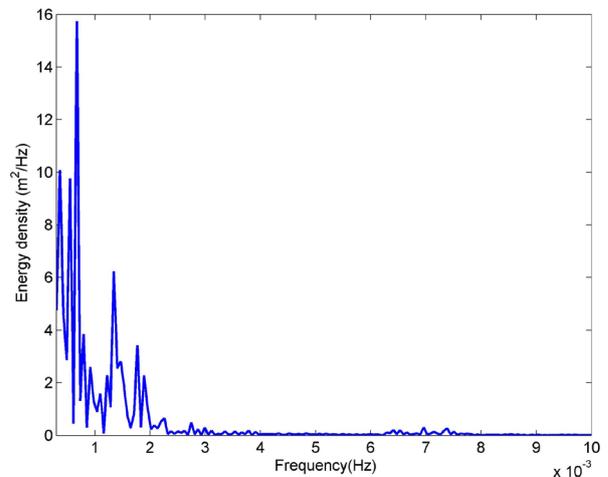


圖7 水位資料之傅立葉頻譜分析結果

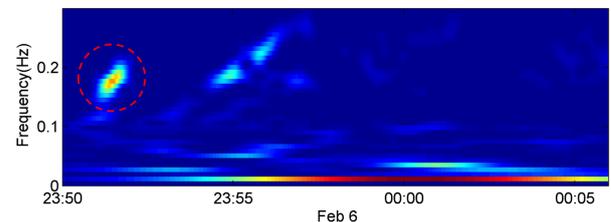
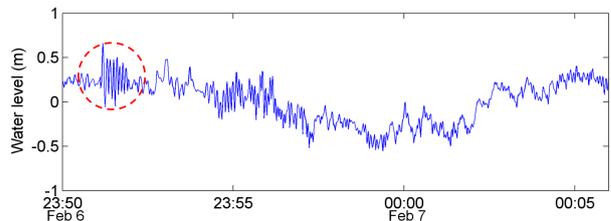


圖8 局部水位資料的小波能譜分析結果

四、港池盪漾即時預警之可能性檢討

無論是海底地震發生時或是遠方颶風傳遞而來湧浪所造成的港池內盪漾，管理單位都需要有即時的應變措施，防範突然的事件所造成之斷纜意外發生。掌握港池盪漾最直接有效的方法之一就是即時

監控潮汐以外的水位波動。每12小時25分鐘以及24小時50分鐘的潮汐長週期波動應是岸邊潮位站最主要記錄到的海水面波動。然而受到颱風暴潮、長浪、地震、海嘯以及其他因素的影響，會讓港內水位也發生其它週期之波動。由於潮汐受天體之影響具有規律之變化，往昔大多是透過調和分析的方式針對長期間的水位觀測紀錄進行解析，從中取得潮位站設置點的潮汐特徵(Boon, 2004)。透過即時分析潮位站實測水位與經調和分析所解算出的理論潮汐水位之間的差值，能偵測出異常水位波動之振幅。調和分析是非常普遍被用來分析潮位資料的方法，但根據經驗，需要至少一個月的實測水位資料進行分析解算，方能準確解算出潮汐特徵(Wu et al., 2009)。有鑑於此，本研究發展海嘯浮標所使用的即時海嘯水位偵測技術，並將其應用於分析花蓮潮位站的潮位觀測數據。此一演算技術是利用三次多項式對短時間的水位資料進行擬合(Gian Mario Beltrami, 2011)。有別於調和分析方法需要至少一個月的實測水位資料進行分析解算，本研究經測試後確認，透過三次多項式的擬合計算，僅須利用5分鐘的實測潮位資料可有效預測出未來數秒鐘的天文潮水位值。如圖9所示，一旦發生港池盪漾，預測之天文潮水位值會與港內實測水位值產生明顯之偏差。透過即時演算實測與預測資料之偏差值，可有效偵測出港池盪漾現象。經分析發現，在港池盪漾開始發生的5秒之內就能被偵測出，可藉以發送即時警示訊息，提供現場人員進行緊急應變作業。

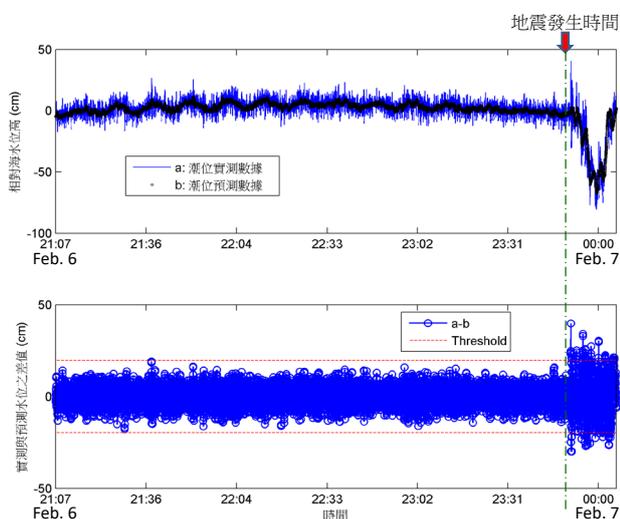


圖9 港池異常水位震盪之偵測結果

五、小結

2018年2月的花蓮規模6.2的地震，當時中央氣象局於花蓮港設置的潮位站觀測到了異常的水位波動現象。這有可能是很微弱之海嘯波動造成的港池盪漾，也可能是單純地震後所引發的港池盪漾現象。

不論是何種外力所造成的港池盪漾，都有可能對港內船舶造成危害。本文嘗試透過能譜分析，從中判讀花蓮潮位站所測得水位波動之頻率特徵。針對此次地震所引發港池水位異常波動之間的交互作用與學理成因，仍有待後續分析更完整與縝密的探討。

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。臺灣位處颱風以及地震等不同災害的潛勢發生區域乃是不爭之事實。從海洋國家長期發展的角度觀之，未來該如何善用自然環境所給予的資源，且同時能有效避免自然災害之衝擊，絕對是我們必須面對且持續思考的課題。此次花蓮地震雖沒有發生船舶斷纜以及船舶碰撞的災情，但已突顯出港池盪漾即時警示對港內船舶安全管理的重要性。未來建議港務管理可與氣象局海象測報單位合作，取得即時潮位實測資料，藉以掌握可能的港池盪漾影響程度，提早應變，減少災損。

謝誌

本文所使用花蓮潮位站資料為交通部氣象局海象測報中心所提供。

參考文獻

- [1]. 李汴軍、黃瓊珠、莊士賢、高家俊，2008. 應用小波轉換探討潮位與颱風暴潮特性之研究，海洋工程學刊，第8卷，第1期，第23-42頁。
- [2]. Boon, J., 2004, *Secrets Of The Tide: Tide And Tidal Current Analysis And Applications, Storm Surges And Sea Level Trends (Marine Science)*: Horwood Publishing Limited.
- [3]. Buttkus, B., 2012, *Spectral Analysis and Filter Theory in Applied Geophysics*: Springer Berlin Heidelberg.
- [4]. Gian Mario Beltrami, M. D. R. a. P. D. G. (2011). *The Tsunami Threat: Research And Technology*. In N.-A. Moerner (Ed.), (pp. 549-574).
- [5]. Levin, B., Levin, B. W., Nosov, M., 2008, *Physics of Tsunamis*: Springer.
- [6]. 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.*
- [7]. Wu, L.-C., Kao, C. C., Hsu, T.-W., Jao, K.-C.,

Wang, Y.-F., 2011, Ensemble Empirical Mode
Decomposition on Storm Surge Separation from

Sea Level Data. Coastal Engineering Journal,
53(03), 223-243.