

花蓮0206大地震引致之港池振盪特性探討

莊文傑¹ 陳進益² 曾相茂¹

交通部運輸研究所港灣技術研究中心¹
中央氣象局海象測報中心²

摘要

規模大、震度強的地震，會趨使港灣之碼頭岸壁，類似造波板，產生快速大幅度地返復推移作用，進而促使只有單一港口之近似封閉港域，伴隨產生長週期之港池振盪現象。在花蓮0206大地震中，為探討地震所引致之港池振盪特性，本研究先蒐集整理中央氣象局每15秒一筆之高取樣率(1Hz)潮位監測紀錄，再透過簡單地中央移動平均法，移除潮汐訊號，最後，即可針對地震前後之港池振盪現象，進行詳細、完整的特性分析。由分析結果顯示，受地震主震及餘震之作用，花蓮港港池振盪之最大上下幅度，約可達70公分；振盪之歷時約可長達10小時。至於，港池振盪之主要週期，經分析後可得約為12分鐘，且甚巧合地恰與地震前後港池所陳現之自然振盪週期一致，故而會激發港灣共振，促使港池振盪幅度增大。此外，透過地震前後平均水位之比較，尚可確認花蓮港之潮位基準約有14.68公分之陷落偏移，或相對而言，驗潮站所在之碼頭面，應有約15公分之抬昇，這與震後勘災所指稱因土壤液化普遍造成沉陷之調查結果，具不一致性。鑑此，本研究鄭重呼籲及建議，具高取樣率之潮位監測紀錄分析，實際上可併同作為地震後地層變動勘災之重要評估項目之一。

關鍵字：地震、港池振盪、潮位監測、潮位基準偏移、花蓮港

一、前言

花蓮港，位於北緯 23 度 59 分 11 秒、東經 121 度 37 分 35 秒，是台灣東部的國際商港，港區由西防波堤及東防波堤所圍成，並以窄航道區分為內港及外港，平面配置，如圖 1 所示，其中內港港區共有碼頭 16 座，水深 6.5~10.5 米；外港港區屬於深水碼頭，共有碼頭 9 座，水深約 14~16.5 米。

於 2018 年 2 月 6 日 23 時 50 分 41.6 秒，花蓮地區發生規模 6.2 之大地震，震源位於花蓮縣近海，深度 6.3 公里，屬淺源地震，並觸動了米崙斷層及嶺頂斷層錯動，以致地震前震及餘震不斷(截至 2/7 12:50，有感餘震數量約 147 個)，在花蓮市之震度達 7 級(劇震)，儘管主震之強震延時僅 10 秒左右，但在離震央 32 公里的範圍內，多處地面發生了土壤液化(soil liquefaction)現象，並有明顯之地盤下陷及建物震損的情況發生(黃、王，2018)。

在花蓮港鄰近之HWA062地震測站上，檢視圖 2及圖3(許等，2018)所示之最大地表加速度紀錄及推算之地表位移量可見，其垂直最大地表加速度 213.8gal，實際上大於水平最大地表加速度(209.18, 202.58)gal，且最大地表位移，東西向達64.58公分、南北向達82.65公分、上下達30.07公分；以致在花蓮火車站附近，由於該區域居處在具宏觀液化震害(噴水冒砂、土體流動、建築物地基失效震陷)範圍

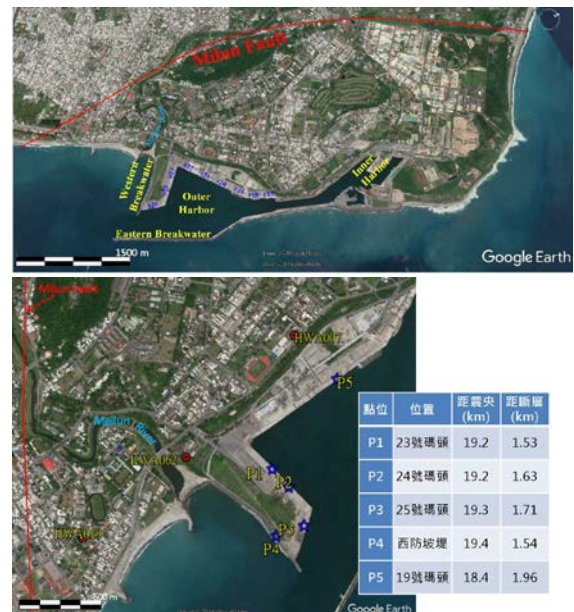


圖1 花蓮港港域平面配置及米崙斷層(上)與HWA062地震測站及震後之碼頭勘災點位(下)(資料來源：許等，2018)

內，部分建物地基有噴砂及開裂現象，下陷量約 10~20 公分、傾斜 1~2°；而在花蓮港域，由震後之勘災結果可見，位在#19~#25 碼頭之後線及西防波堤堤旁道路，均有較大範圍之地裂、砂礫噴出及地

表沉陷等現象發生，特別是在緊鄰港口之#25 碼頭後線，最大礫石粒徑約 10cm，最大沉陷量約 50~60 公分；至於碼頭沉箱之震損則較為輕微，並無明顯之沉陷、傾斜或結構體損壞情形(黃、王，2018)。

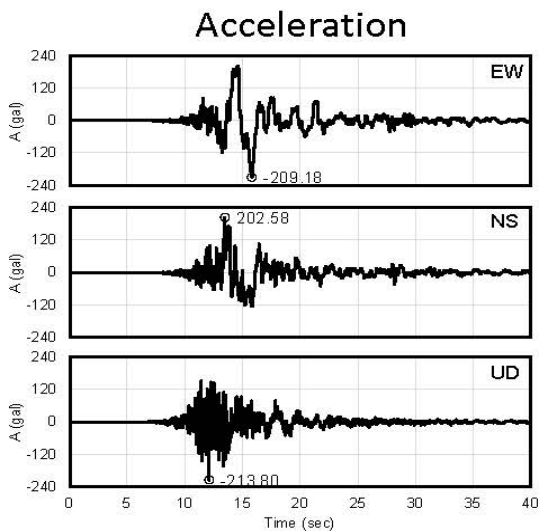


圖2 花蓮0206大地震在鄰近花蓮港之HWA026地震測站監測之地表加速度紀錄 (資料來源：許 等，2018)

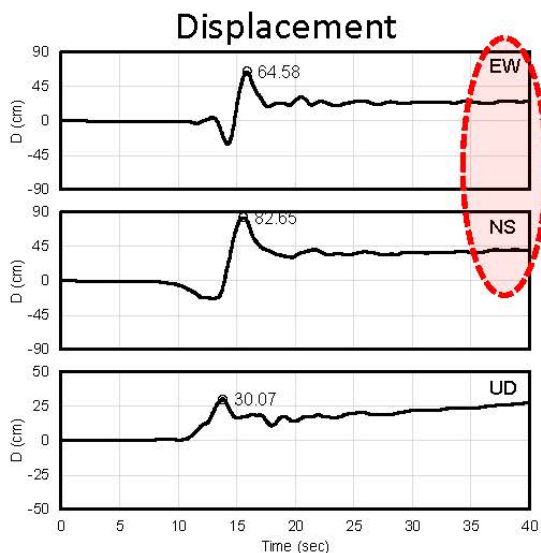


圖3 花蓮0206大地震在HWA026地震測站依據監測地表加速度推算之地表位移紀錄 (資料來源：許 等，2018)

受強大地震力及地表位移量之趨動，參見圖 2 與圖 3，港灣內之碼頭岸壁，會類似造波板，因快速大幅度地舉昇、返復推移作用，進而促使只有單一港口之近似封閉港域，伴隨產生長週期之港池振盪現象(吳 等，2018)。鑑此，本研究將蒐集整理中央氣象局 1Hz 高取樣率每 15 秒一筆之花蓮港潮位監測紀錄，再透過簡單地中央移動平均法，移除潮汐訊號(莊、曾，2009；莊 等，2011)，最後，從海象資訊之應用觀點，介紹並探討花蓮 0206 大地震前後因劇烈地動所引起港池振盪之詳細完整歷程與特性。

二、花蓮港潮位紀錄整理

為科學應用之需要，交通部運輸研究所港技術研究中心在花蓮港內，於港口與#25碼頭間建置有長期性壓力式驗潮站，透過該中心五個國際港之海氣象即時監測與傳輸顯示系統(曾 等，2015)，可概覽2018年2月6日23時50分41.6秒花蓮地區發生規模 6.2大地震前後期間每分鐘一筆之潮位紀錄，如圖4所示。由圖觀察可見，地震發生時，花蓮港潮位正處於滿潮後之退潮段；地震後，港內水域確實存在明顯的港池振盪現象。

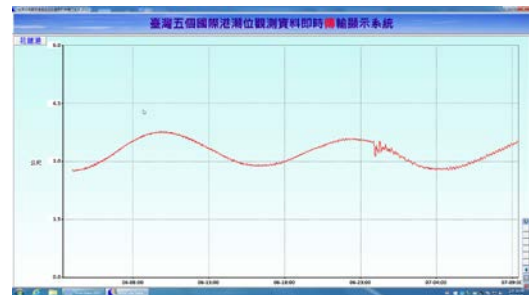


圖4 花蓮驗潮站在2018年2月6日23時50分41.6秒發生大地震前後期間每分鐘一筆之潮位監測紀錄

另外，為掌握臺灣東部之海象資訊，中央氣象局亦曾在花蓮港內外港區#22-#23碼頭間，於地理座標為(121.623611E, 23.980556N)之站位上，建置量測精確度具有公厘等級之音波式驗潮站，取樣率為1Hz。針對花蓮發生0206大地震之前後期間，為詳細掌握港內的港池振盪現象，經洽詢、檢索、蒐集並整理花蓮驗潮站每15秒一筆之潮位監測紀錄，可得如圖5所示。圖中，黑色線為潮位紀錄，紅色線則為應用15分鐘窗寬之中央移動平均法分析之擬潮線(莊、曾，2011)。

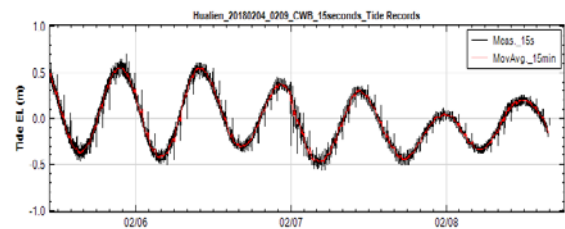


圖5 花蓮驗潮站在2018年2月6日23時50分41.6秒發生大地震前後期間以1 Hz高取樣率監測潮位所得每15秒一筆之詳細潮位變動型態

觀察圖5可見，地震發生前後，以1 Hz高取樣率監測潮位所得每15秒一筆之詳細潮位紀錄，明顯會因數位訊號之傳輸品質，致使整點時刻之紀錄波形圖，普遍存在有突波干擾的情形。儘管如此，在地震發生後，仍可在潮位正處於滿潮後之退潮段，清楚監測到伴隨潮位變動之明顯港池振盪現象，如圖6所示。再仔細觀察圖6可見，在花蓮0206大地震前，值得特別注意的是，花蓮港內之外港水域，實

實際上原來即存在有振幅約5公分、週期近似於12分鐘的港池自然振盪現象；而在地震後，雖然部分潮位紀錄有缺漏，且在整點時刻，仍無法避免地包含有因訊號傳輸而產生之突波干擾，但自然振盪之振幅，隨即會明顯增大，最大可達約70公分，而週期仍概約維持在12分鐘左右。

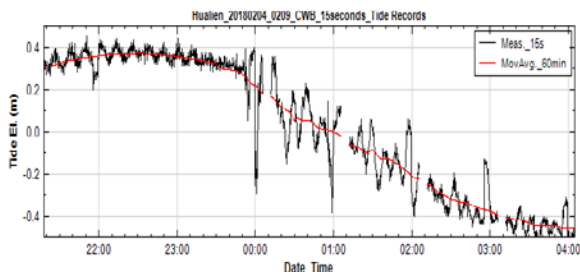


圖6 花蓮驗潮站在0206大地震前後期間以1 Hz高取樣率每15秒一筆之監測潮位紀錄所陳現伴隨潮位變動之明顯港池振盪現象

三、港池振盪現象分析

為詳細掌握花蓮0206地震前後花蓮港內之港池振盪現象與特性，針對圖5所示以1 Hz高取樣率監測潮位所得每15秒一筆之潮位紀錄，進一步應用15分鐘窗寬之中央移動平均法分析擬潮線，然後將其自原始潮位紀錄中扣除，因此，可得去除潮汐變動效應之單純港池振盪訊號及其相對應期間之頻譜分析結果，如圖7所示。

觀察圖7綜合可見，去除潮汐效應後之港池振盪訊號，明顯存在有因訊號傳輸而產生週期性之突波干擾，外加部分期間之紀錄缺漏影響，以致頻譜分析結果，在週期近似於5cph(cycles per hour)或12分鐘之主頻外，仍具有甚強之側頻效應。儘管如此，在花蓮0206大地震後，於僅具單一港口之花蓮港近似封閉港域內，受碼頭岸壁的反復快速推拉作用所衍生較大振幅之港池振盪訊號，仍可清楚判別與確認，如圖8所示。

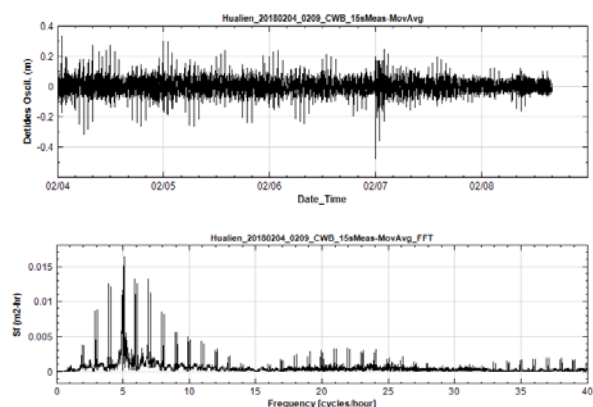


圖7 花蓮港在0206大地震前後應用15分鐘窗寬之中央移動平均法去除潮汐效應後之港池振盪訊號(上)與對應期間之頻譜分析結果(下)

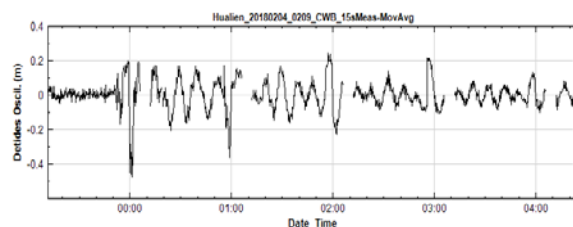
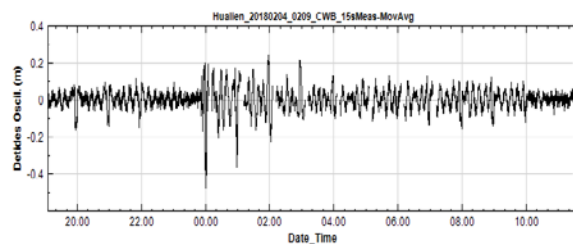


圖8 花蓮港在0206大地震前後經應用中央移動平均法去潮後之港池振盪訊號(上)與詳細的港池振盪現象(下)

針對花蓮0206大地震前後期間，仔細觀察圖8可見，在地震發生前，花蓮港內之外港水域，原來即存在有波高約10公分、週期近似於12分鐘的港池自然振盪現象；而在地震後，受碼頭岸壁的反復快速推拉作用影響，自然振盪之振幅，隨即會明顯增大，且概約在2月7日零時左右，最大振盪可達約70公分；至於週期，概約仍與地震前之自然振盪週期相符合，維持在12分鐘左右(參見圖7)，這一特性實際上也意謂著，因地震所造成的港池振盪，實際具有促成港灣共振的效果。此外，在地震前後，對照振盪振幅之差異，尚可觀察到，因地震及餘震所造成較大振幅之港池振盪，其延續期間，自2月7日零時起至當日10時止，概約可長達10小時，然後，港池會再度回復到原來即具有之自然振盪型態。

四、海嘯波動之對照比較

氣象暴潮、海嘯波動以及港池振盪等，因其皆具有頻率低於0.1cpm(cycles per minute)之長波特性，故而皆可透過1Hz高取樣率每15秒一筆之潮位監測紀錄，充分陳現其波動型態與特徵。

以2011年3月11日發生在日本東北規模9.0之淺層強烈地震為例，該地震曾在日本岩手縣、宮城縣、福島縣及茨城縣等海岸，引發高度約達14公尺之大海嘯，且海嘯波自震央傳播至臺灣東部海岸，共歷經約4小時又8分鐘，平均傳播速度，估計約為488 km/hr (莊、曾，2011)；當時，在臺灣環島海岸多數驗潮站，皆可監測到該海嘯波動之發展歷程，其中，在花蓮港驗潮站以1Hz高取樣率監測潮位所得每15秒一筆之時變紀錄及以移動平均法去潮後所萃取之海嘯波動與經時頻分析後之邊際頻譜，經統整可得如圖9所示(莊等，2011)。

在圖9中，先由去潮後之單純海嘯波動振幅時變特性觀察可見，基於近岸淺水海域內混頻波動之

群聚效應(莊、曾，2015)，在花蓮港內，海嘯波動之振幅，會先由小持續漸增，而後再循序遞減；整個波動之延續期間，約可長達24小時以上。接著，觀察邊際頻譜(AnCAD, 2014)特性可知，遠域海嘯波動傳播至臺灣東部之花蓮港內時，波動確實混合有頻率低於6cph或0.1cpm之低頻及亞低頻成分，如圖10所示，且其低頻成分之主頻約為4.8cph，週期近似於12分鐘；而其亞低頻成分，主頻約0.8cph，週期近似於1.25小時。

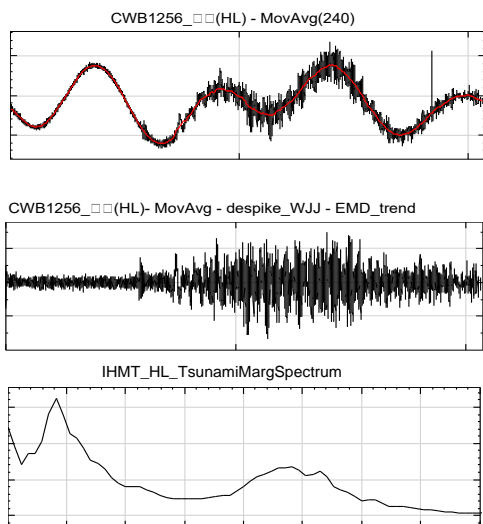


圖9 於2011年日本東北發生311大地震之前後期間在花蓮港驗潮站以1Hz高取樣率監測潮位所得每15秒一筆之紀錄(上)及以移動平均法去潮後所萃取之海嘯波動(中)與經時頻分析後對應之邊際頻譜(下)(資料來源：莊、曾，2011)

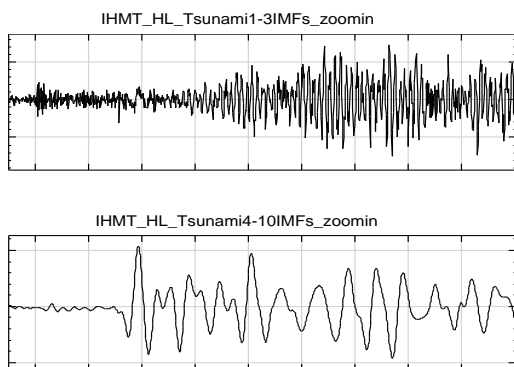


圖10 日本東北311大地震在花蓮港內所監測到之低頻及亞低頻海嘯波動成分(資料來源：莊、曾，2011)

淺源地震，當其規模超過7之情況，通常會在大範圍之區域性海岸，引起海嘯侵襲之關注(吳 等，2018)。花蓮0206大地震，雖為規模接近於7之淺源地震，但檢視同樣位處台灣東部驗潮站之潮位監測紀錄可發現，除了在花蓮港內之外，在蘇澳港內並無顯著之海嘯波動，這事實說明，花蓮0206之淺源地震，僅有在局部性之花蓮港內海域，引發港池振盪現象，並未有區域性大範圍之海嘯波發生。

另外，在花蓮港內，將圖7所示之港池振盪時變紀錄與圖9及圖10之海嘯波動時變紀錄相互作對照比較可發現，在花蓮0206大地震後，因港域受碼頭岸壁的反復快速推拉作用所衍生之自然港池振盪，其與海嘯波動之最大差異，在於前者之波動振幅，係由大逐時衰減；而後者會先由小持續漸增，而後再循序遞減；至於頻率，兩者皆明確具有近似於5cph或週期約12分鐘左右之振盪。依據此一共通頻率特性，因而可進一步推斷，花蓮0206大地震，會在花蓮港內衍生近似海嘯波之港池振盪；或換句話來說，遠域的海嘯波，基於其長距離傳播所具有之混頻特性，當其進入花蓮港內時，部分週期近似於12分鐘之低頻波動，因其與花蓮港之自然振盪週期相符合，故而，不僅會促成成長時間、大振幅之港池振盪現象，甚且會引發港池共振。

五、潮位基準之變動

花蓮0206大地震，在花蓮市區之震度達7級(劇震)，僅管主震之強震延時僅10秒左右，但在離震央32公里的範圍內，多處地面發生了土壤液化現象，並有明顯之地盤下陷及建物震損的情況發生(黃、王，2018)。依據災後相關建築結構及港灣設施地基震害之調查結果，部分建物室內或外地板上拱；也有地基液化下陷，伴隨室內斷層錯動而地坪破裂，並有噴砂及開裂現象，下陷量約10~20公分、傾斜1~2°；而在花蓮港域，由震後之勘災結果，如圖11可見，位在#19~#25碼頭之後線及西防波堤堤旁道路，均有較大範圍之地裂、砂礫噴出及地表沉陷等現象發生，特別是在緊鄰港口之#25碼頭後線，最大沉陷量約50~60公分；至於碼頭沉箱之震損則較為輕微，並無明顯之沉陷、傾斜或結構體損壞情形(黃、王，2018)。

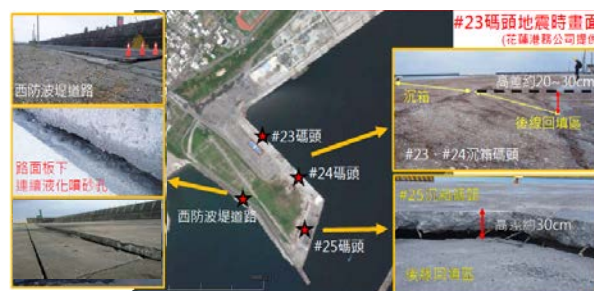


圖11 花蓮港0206大地震後之港區堤防路面板下之土壤液化噴砂與沉箱碼頭前後線相對20~30公分之陷落災害(資料來源：許 等，2018)

中央氣象局所建置之花蓮驗潮站，係位在花蓮港內#22~#23碼頭間。花蓮0206大地震後，依據圖11所示花蓮港碼頭區之勘災結果可見，在#23~#24碼頭之前、後線間，相對變位量經量測約有20~30公分，又基於土壤液化會導致沉陷之常態結果，因此，大部分的勘災調查報告(許 等，2018；

黃、王, 2018), 皆研判花蓮港之碼頭後線, 相對於前線, 應具有約20~30公分之沉陷量。

基於驗潮站之建置方式, 在大規模地震發生前後, 當驗潮站位所在之基地, 發生有舉昇或沉降情況時, 必會在短期間內造成平均海平面(MSL)或是潮位基準之相對變動。以花蓮驗潮站為例, 重整地震前後每15秒一筆之潮位時變紀錄, 再分別對地震前後期間, 計算對應之平均海平面(MSL)值, 因而可得短期間內之MSL變動, 如圖12所示。

由圖12觀察可見, 地震後之MSL, 相對於地震前, 潮位基準(MSL)具有明顯的陷落現象, 且總陷落量約可達14.682公分。這意謂在驗潮站位所在之碼頭前線地面, 短期間內, 其高程相對於後線碼頭地面, 具有舉昇之變動。僅管該舉昇變動量, 與震後在#23~#24碼頭後線地面經勘察約有20~30公分之沉陷量相當, 但兩種情況所陳現出來之地表或碼頭面升降變動特性, 卻是完全迥異。至於實際情況, 究竟是前線碼頭面相對於後線為舉昇; 或後線碼頭面相對於前線為沉陷?本研究從潮位基準之變動觀點, 透過地震前、後短期間之潮位基準(MSL)變動對照, 深信應可較準確地判定, 在花蓮發生0206大地震後, 花蓮港自#22至#25之外港域碼頭區, 其後線地面因土壤液化所造成之沉陷量應較微小, 反而是前線碼頭面, 可能係因地震斷層帶之擠壓或因沉箱之傾斜, 而相對會陳現有大幅舉昇之現象。

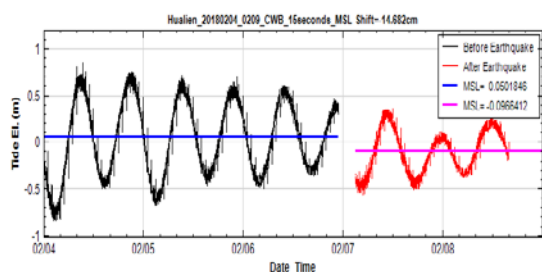


圖12 花蓮港0206大地震前後以短期間平均海平面(MSL)陳現之潮位基準陷落或碼頭面之舉昇變動

六、結論

透過花蓮驗潮站每15秒一筆之高取樣率(1Hz)潮位監測紀錄之分析可確認, 規模大、震度強的地震, 會趨使港灣之碼頭岸壁, 類似造波板, 產生快速大幅度地返復推移作用, 進而促使只有單一港口之近似封閉港域, 伴隨產生具有近似自然振盪週期之港池振盪現象, 甚且會激發港灣共振效應。此外, 透過地震前後平均水位之變動比較, 不僅可確認花蓮港潮位基準之變動特性, 更可據以準確地判別, 驗潮站所在之碼頭面, 受強震之影響, 實際係產生地面舉昇, 這與震後勘災所指稱因土壤液化普遍造成沉陷之調查結果, 具不一致性。鑑此, 本研

究鄭重呼籲及建議, 具高取樣率之潮位監測紀錄分析, 實際上, 不僅可據以研究港池振盪特性, 尚可併同作為地震後地層變動勘災之重要評估項目。

七、謝誌

承蒙花蓮港務分公司鄭璟生、范良勳提供港區勘災報告; 中央氣象局海象測報中心概允免費提供花蓮驗潮站每15秒一筆之高取樣率潮位監測紀錄供分析應用, 使本研究得以順利完成, 謹致謝忱。

參考文獻

1. 莊文傑、曾相茂, 2009: “花蓮港近岸引致港灣共振之亞重力波波源辨識”, *第31屆海洋工程研討會論文集*, 第435-440頁。
2. 莊文傑、曾相茂, 2011: “日本311大海嘯對臺灣環島海岸及港灣之衝擊”, *第20屆水利工程研討會論文集*, 第J001頁。
3. 莊文傑、林立青、滕春慈, 2011: “臺灣環島海岸實測日本東北大地震所引發海嘯之波動特性分析”, *第33屆海洋工程研討會論文集*, 第553-558頁。
4. 莊文傑、曾相茂, 2015: “臺灣東海岸颱風長浪演化歷程之共通特性”, *第37屆海洋工程研討會論文集*, 第83-88頁。
5. 曾相茂、何良勝、曾俊傑, 2015: “103年臺灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(2/4)”, MOTC-IOT-103-H2DA001a 基本研究報告, 交通部運輸研究所, 共373頁。
6. 吳立中、高家俊、滕春慈、林燕璋, 2018: “2018年2月花蓮地震所引發港池盪漾之研究”, *107年天氣分析與預報研討會論文集*, 海象測報與應用, 中央氣象局, 7-14-L。
7. 許尚逸、盧志杰、楊炫智、黃郁惟、劉佳泓、黃俊鴻, 2018: “2018年花蓮地震調查與探討: 花蓮港港區震災調查與初步分析”, NCREE大地組簡報, 國家實驗研究院, <https://conf.ncree.org.tw/download/0-A1070529-花蓮港港區震災調查與初步分析.pdf>。
8. 國家地震工程研究中心, 2018: “2018.02.06 花蓮地震概要”, 國家實驗研究院, https://www.ncree.org/EarthquakeInfo/20180206/0206_花蓮地震彙整簡報_V8.pdf。
9. 黃富國、王淑娟, 2018: “0206 花蓮地震土壤液化害相關問題探討”, *國家災害防救科技中心災害防救電子報*, 第158期, 第1-20頁。
10. AnCAD, 2014: Visual Signal 1.5 Professional, 逸奇科技公司。