

實測潮位與視訊影像應用於偵測港池盪漾之研究

吳立中¹ 高家俊²

¹ 國立成功大學近海水文中心專案助理研究員

² 國立成功大學水利及海洋工程學系名譽教授

摘要

港池盪漾是港口營運所必須面對的課題。本文研究潮位資料與視訊影像之分析技術，期能透過即時解析實測數據或影像，在短時間內偵測到港池盪漾現象，以便在緊急事件發生時能提供警示功能。透過分析 2018 年 2 月 6 日花蓮地震期間的港內潮位站之實測水位數據與港邊視訊影像，確認當時發生了盪漾現象。在盪漾開始發生的 5 秒內就能從潮位站觀測數據被偵測出。透過影像分析技術，則可即時判讀出船體受到港池盪漾所產生的運動特徵。從影像中參考物體的尺寸結果可判讀出，當時地震後船體的垂直運動距離達將近 1m。

關鍵詞：港池盪漾、潮位站、視訊影像分析

Detection of Harbor Seiches Using Tide Gauge Data and Video Images

Li-Chung Wu* Chia-Chuen Kao

* Project-Appointed Assistant Research Fellow, Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

ABSTRACT

Seiche is the main concern for port operations. In this study, we present the case of seiches in the port of Hualien during the earthquake on Feb. 6, 2018. Both tide gauge data and video images of this event were collected to discuss the features of this case. The method which was originally used for the tsunami detection is implemented to detect the seiches from the tide gauge data. We also developed a method to detect the motions of ship which was influenced by the seiches.

Keywords: Harbor seiches; Tidal station; Image processing

一、前言

港池盪漾對船舶的繫纜造成巨大拉力，另外也危及人員上下船之安全，更甚者會造成船隻斷纜碰撞風險。過往花蓮港颱風期間港池盪漾有造成船舶斷纜而致災的情事，船隻在大風浪下仍須出海避險。除颱風之外，地震也會造成港池盪漾之現象。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異常水位波動。花蓮港務公司於港區所設置的視訊監控設備也監控到繫

纜船舶於地震後的持續晃動特徵。

雖然透過事後檢視港內潮位站的實測水位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因應作業並無法提供具有時效性之助益。有鑑於此，本研究嘗試將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港潮位站 2018 年 2 月的觀測數據。

除花蓮港潮位站的觀測數據分析與解算之外，地震當時的視訊紀錄也是確認港池盪漾特徵的重要依據。本研究進一步針對花蓮港地震期間的視訊影

像進行分析演算，從影像資料中解析出船體受港池盪漾影響後的運動特徵。

二、研究方法

2.1 港池內之駐波數學關係

如圖 1 所示，為花蓮港之空拍影像，可得知港嘴開口在港池的南邊，港池的東西向皆受到結構物之阻隔。依據波浪理論，在封閉水域中，入射波與反射波在同相位(in phase)的條件下相互疊加，因而產生駐波。封閉港池的寬度若為 B_L ，港池的水深若為 h ，則港池內震盪的自由週期 T 可表示如下：

$$T = \frac{2B_L}{\sqrt{gh}} \quad (1)$$

本研究所使用的潮位資料來自於交通部中央氣象局設置於花蓮港外港港區的潮位站，視訊影像資料則來自於外港港區的 24 號碼頭。該港區的東西向寬度約略 800m，水深約略 15m。根據式(1)的數學關係搭配外港港區的幾何特徵，估計港池內盪漾的自由週期約為 130sec，換算成頻率約為 0.007Hz。前人之調查研究也指出，引起港池船隻斷纜之外港共振的成份波週期大致介於 130sec ~ 150sec 間(蔡, 2010)。本文後續章節會進一步檢討潮位站與視訊影像分析所求得盪漾週期之結果。



圖 1 花蓮港相關位置資訊
(底圖來源：GoogleEarth)

2.2 港內潮位站資料分析方法

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，都有可能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)。

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，本文透過三次多項式的擬合計算，僅須利用幾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。

2.3 港內視訊影像分析方法

針對花蓮港視訊影像之分析，本研究將視訊影像時序序列進行拆解，並針對不同時間點的影像進行互相關分析(cross-correlation)，藉以解算不同時間點影像矩陣之間的空間相關性，進而取得船體運動資訊。互相關之數學式可表示為：

$$g(m,n) = w(m,n) * f(m,n) \\ = \sum_{s=-K/2}^{K/2} \sum_{t=-K/2}^{K/2} w(s,t) f(m+s, n+t) \quad (2)$$

式中 $w(m,n)$ 與 $f(m,n)$ 為要在空間域 (m,n) 中進行相關性比較的(不同時間點)兩張影像。 s 與 t 則分別為 $f(m,n)$ 相較於 $w(m,n)$ ，在空間域 (m,n) 所移動的像素量。從 $g(m,n)$ 的分析結果可呈現出 $w(m,n)$ 與 $f(m,n)$ 之間偏移量與相關係數之結果。透過從 $g(m,n)$ 分析結果中的最大值即可找出兩影像之間對應的偏移量。

三、結果與討論

3.1 港內水位偵測結果

本研究於往昔之研究中針對中央氣象局於花蓮港內的潮位觀測數據進行分析(吳等, 2018)。如圖 2 所示，為花蓮潮位站於 2 月 6 日 22:00-2 月 7 日 03:00 這段時間測得之原始水位資料。從圖 2 的結果顯

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幅度約 0.7 公尺。水位從下降到回升至原有水位，其歷時超過 10 分鐘。

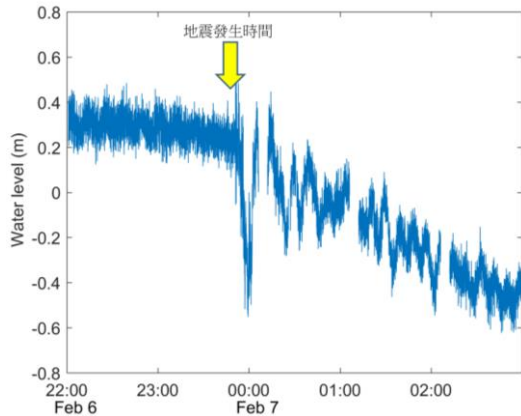


圖 2 花蓮地震前後測得之水位資料

為確認地震期間花蓮港水位震盪的細部特徵，本文針對花蓮地震前後測得之局部時段水位資料進行檢討。如圖 3 所示，在地震開始發生(2018 年 2 月 6 日 23 時 50 分 41.6 秒)十數秒之後，潮位站監測到明顯之高頻水位震盪，歷時約一分鐘。為確認此一水位高頻震盪之特徵，本文透過小波能譜分析潮位站實測水位資料。小波能譜具有同步解析訊號時頻域特徵之能力(Chuang et al., 2013)，已有大量之研究證實其應用於分析大自然非定常訊號之優勢。如圖 4 所示，為水位資料的小波能譜分析結果。分析結果顯示，地震發生初期(23 時 51 分)的水位高頻波動，其週期約為 6sec，與港內理論上盪漾的自由週期(約 130sec)差異極大。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 10 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。

從前述之理論所估算花蓮港外港區盪漾的自由週期約為 130sec，換算成頻率則約為 0.0077Hz。從圖 4 的小波能譜分析結果在此一頻帶範圍並無發現明顯能量特徵，判斷應是時頻解析度會受到測不

準原理之限制(Chuang et al., 2013)。為能整解析細部之頻譜特徵，本文應用傅立葉頻譜分析水位資料，如圖 5 所示。從水位資料的傅立葉頻譜可發現在頻率約略 0.007Hz 的區域確實有些微的能量，但並不明顯。主要的能量還是集中於更低頻(<0.002Hz)之區域。

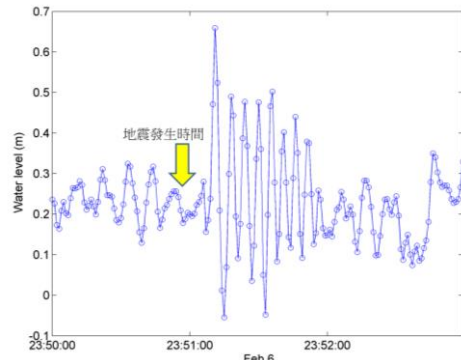


圖 3 花蓮地震前後測得之局部時段水位資料

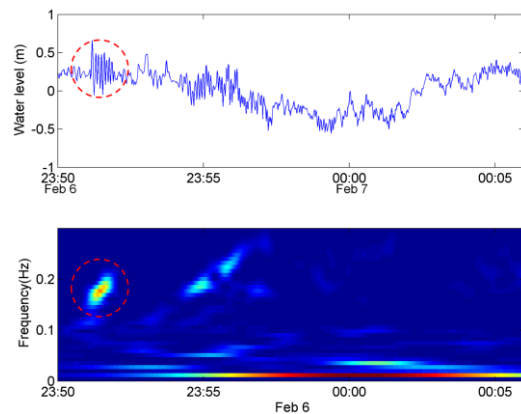


圖 4 水位資料的小波能譜分析結果

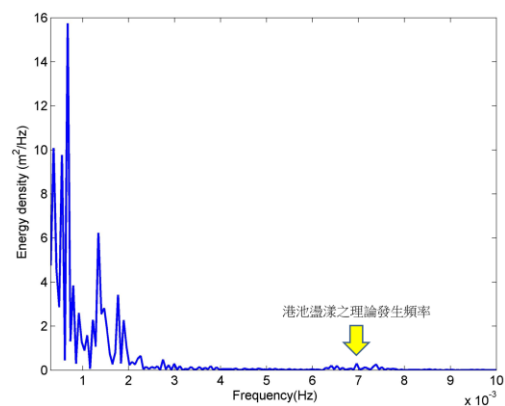


圖 5 水位資料之傅立葉頻譜分析結果

無論是海底地震發生時或是遠方颱風傳遞而來的湧浪影響，都需要有即時的應變措施，防範突然的事件所造成之船舶斷纜意外發生。本文利用前述介紹之海嘯水位偵測技術，即時偵測港池內的水位異常盪漾特徵。如圖 6 所示，本文利用花蓮潮位站 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。發生港池盪漾時，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，有效偵測出港池盪漾現象。經分析花蓮潮位站 2018 年 2 月的觀測數據後發現，在港池盪漾開始發生的 5 秒之內就能被偵測出，未來應可藉此發送即時警示訊息，作為現場人員進行緊急應變作業之依據。

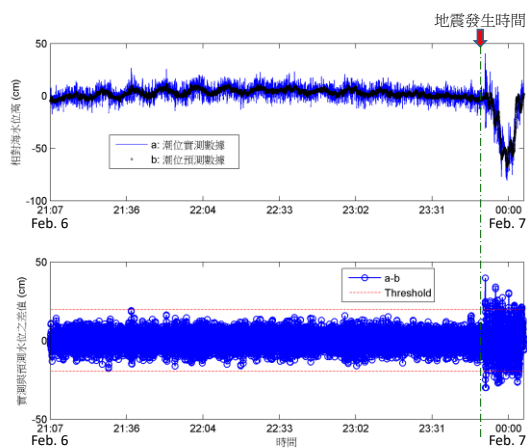


圖 6 波浪傳遞於斜坡底床之波浪溯升

3.2 視訊影像分析結果

本研究進一步針對花蓮港地震發生期間的視訊資料進行影像分析。如圖 7 所示，為花蓮港地震期間之視訊影像。影像拍攝範圍內有一艘貨輪停泊在港邊。本文嘗試透過偵測船體在影像序列中不同時間點的位置，藉以解析出影像中船體之運動特徵。因船艦本身尺度過大，不利於定位船體在影像中之確切位置。為能有效定位船體，首要工作是要從影像中尋找一尺度較小但卻利於辨識之標誌。如圖 8 所示，在船身側面有一類似矩形框的標誌，可作為影像辨識之標的。

本文將影像解算之船體位移區分為水平方向與垂直方向兩類。如圖 9 所示，為影像偵測港池盪漾造成之船體水平運動特徵。從船體水平方向移動的時序列可看出，地震發生過後，船體在水平方向有

長週期的前後移動。進一步透過小波能譜分析，可確認水平往復運動的主頻約為 0.002Hz。此外，小波能譜中，頻率 0.007Hz 處存在有些許之能量，說明了船體除了約 500sec 週期的水平運動之外，也存在有約 130sec 週期的水平運動特徵，與前述所估計港池內盪漾的自由週期相近。



圖 7 花蓮港地震期間之視訊影像

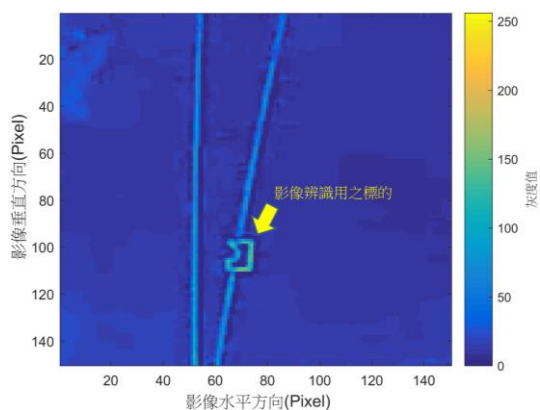


圖 8 上圖影像中船首側面之圖案

相較於船體水平方向的運動，其垂直方向的運動振幅更明顯，頻率也較高，如圖 10 所示。針對船體的移動距離，影像中雖僅能判讀出船體移動的像素量，而非實際物理距離，但因影像範圍中有設置於港邊的紐澤西護欄，其幾何尺寸可做為評判船體移動距離之參考。圖 10 顯示，船體在垂直方向從最低位置移動到最高位置，在影像中共位移了超過 50 像素點。透過影像旁邊的紐澤西護欄幾何尺寸做為參考，可判讀出當時船體的垂直運動的實際物理距離達將近 1m。針對船體在垂直方向的運動週期，從圖 10 的小波能譜分析結果發現，其能量主要集中於約頻率 0.007Hz 處。說明了船體主要垂直方向之運動與前述所估計港池內盪漾的自由週期相近。

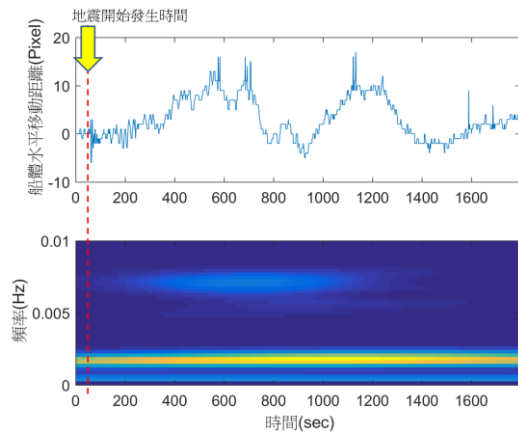


圖 9 影像偵測港池盪漾造成之船體水平運動特徵

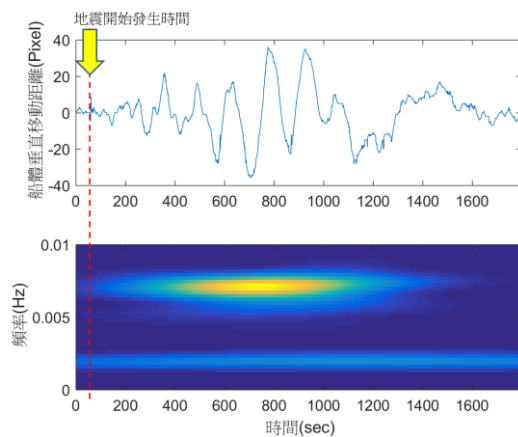


圖 10 影像偵測港池盪漾造成之船體垂直運動特徵

四、小結

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。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。本文透過分析 2018 年 2 月 6 日的花蓮港潮位站實測數據與視訊影像，確認當天晚上發生的地震造成了花蓮港內發生盪漾的現象。

雖然從潮位資料與視訊影像的能譜分析結果，都可從偵測到符合理論港池盪漾週期之波動特徵，但潮位站測得之港池盪漾特徵明顯較微弱，實測水位之主要波動週期超過 10 分鐘，與海嘯波動之週期特徵較為相近。

考慮到港池盪漾即時警示對港內船舶安全管理的重要性，本文透過即時演算實測潮位資料與預測

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，未來應可據此提供現場人員進行緊急應變作業。此外，透過視訊影像的即時分析，也能即時判讀出船體受到港池盪漾所產生的運動特徵。建議未來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

感謝中央氣象局海象測報中心提供花蓮潮位站的觀測數據；臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司提供花蓮地震期間的港內視訊影像，讓本研究得以順利進行。

參考文獻

1. 蔡立宏(2010)花蓮港港池共振機制及改善對策之研究，交通部運輸研究所，研究試驗報告。
2. 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」，107 年天氣分析與預報研討會，第 A7-14 頁。
3. 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.
4. Chuang, L.Z.H., Wu, L.C., Wang, J.H. (2013). Continuous Wavelet Transform Analysis of Acceleration Signals Measured from a Wave Buoy, *Sensors*, 13(8), 10908–10930.
5. Moerner N.-A. (Ed.) (2011). *The Tsunami Threat: Research And Technology*, IntechOpen.
6. 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.