

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 地球科學科

第三名

040502

以 HHT 探討 311 日本海嘯對台灣各港的影響

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者： 高一 郭子華	指導老師： 梁育儒
---------------	--------------

關鍵詞：HHT、海嘯

# 以HHT探討311日本海嘯對台灣各港的影響

## 摘要

本研究以希爾伯特－黃轉換 (Hilbert Huang Transform, HHT)，來分析 311 日本海嘯對台灣各港的水位變動影響。利用 HHT 將各港驗潮站資料分解成數個本質模態函數 (Intrinsic Mode Functions, IMF)，從中找出天文潮和海嘯影響的 IMF。將主要的天文潮及趨勢線濾除後，可清楚看出海嘯影響水位的成份，進而分析各港口海嘯波抵達時間、振幅大小和主要頻率等。由 IMF 中可發現海嘯波來臨前海水水位退潮及急升狀況。此外，東部各港呈現出較為明顯的地震前導波(P 波)所引起的高頻震盪波，與地震發生時間、P 波傳遞速度、海水傳遞延遲及各港水位抬升時間都大致吻合，但較海嘯波到達時間大幅提前。上述研究結果，對瞭解海嘯波特性和將有所助益。

## 壹、研究動機

2011年3月11日日本東北部外海發生史上規模最大的地震，隨即產生的海嘯襲擊日本東北各地並造成莫大的災害，從當日下午電視新聞一直不斷的重複報導，可怕的情形造成人心惶惶，大家心理也都有個疑問，那就是海嘯什麼時候會到達台灣？擔憂會不會對台灣造成一樣的傷害？中央氣象局也鼓勵大家一起研究有關海嘯波對台灣的影響，特地開放台灣各驗潮站的潮汐資料以供大家研究參考，但受限於複雜的水動力模式因此一直放在心中無法解開，直到爾然機會聽到由台灣人所發明的一種新的時頻分析方法 HHT 的演講後，才開始思考是否可以用此來比較分析看看。

之後上到基礎物理（1-6）波的章節，其中波的干涉分為破壞性干涉與建設性干涉。那當海嘯波進入港內碰到岸壁、障礙物等回波後再與第2個波相遇時，如同課本上所述「它們會疊加起來，讓波的振動更為顯著或微弱」，因此就更有機會助長港內水位的波動，一般從文獻資料中所瞭解，眾多學者無不從水工模型、數值模擬到實際的現場觀測等等，模擬、蒐尋港內波浪所引起的各個數據，但總歸於實驗室尺度模擬狀況，跟實際上的現場數據總有些差距，現在剛好碰到311日本海嘯，老天好像在台灣各港作了一個實驗，如同模擬海嘯的實驗室一樣，實際在港外造了一個海嘯。當海嘯波進入港內後的變化情形讓中央氣象局在各個港口所設的測潮器給真實的紀錄下來，首先想要了解的是海嘯波到達台灣北、東、南、中各個港口的時間是否一致？時間上的差異有何不同？現今上蒼好像在台灣各個港口外造一個海嘯波，給研究人員一個天載難逢的機會，因此把握這2個利基點結合起來試試看。

## 貳、研究目的

從國內（中央氣象局）既有的潮汐資料，配合新的時頻分析方法（HHT），來拆解海嘯波並分析其對台灣各港的影響，繪出簡單明瞭的時頻圖讓大家更瞭解海嘯波的內涵，並解除人民的疑慮，以及期望從各個解析出的頻率，找出各港的頻率特性，能供海岸工程建設參考使用，以解數據模擬分析與模型誤差的不足，使得在港口、碼頭、防波堤等海港設計、建設上更為堅固，不會造成設計不良與過度的資源浪費。另外對於海嘯的先期預警系統，是否能從地震前導 P 波所揚起的震盪波動上發現一種更為經濟、迅速的參考因子。

## 參、研究設備及器材

- 一、個人電腦
- 二、網路
- 三、使用軟體：1.Microsoft Excel 2.Microsoft Word 3. Matlab 4. Visual Signal

## 肆、研究過程（方法）

### 一、研究流程圖

整個研究過程，如圖 1 所示，首先確認目標後應用時頻分析方法，把潮汐資料透過 HHT 的分析工具，分解出各個經驗模態函數 (Intrinsic Mode Functions, IMF) 分量，之後再把潮位濾除天文潮即海嘯引致的水位抬升量。從 IMF 去分析海嘯對港口之影響。關於整個研究流程及方法論如下節所示。

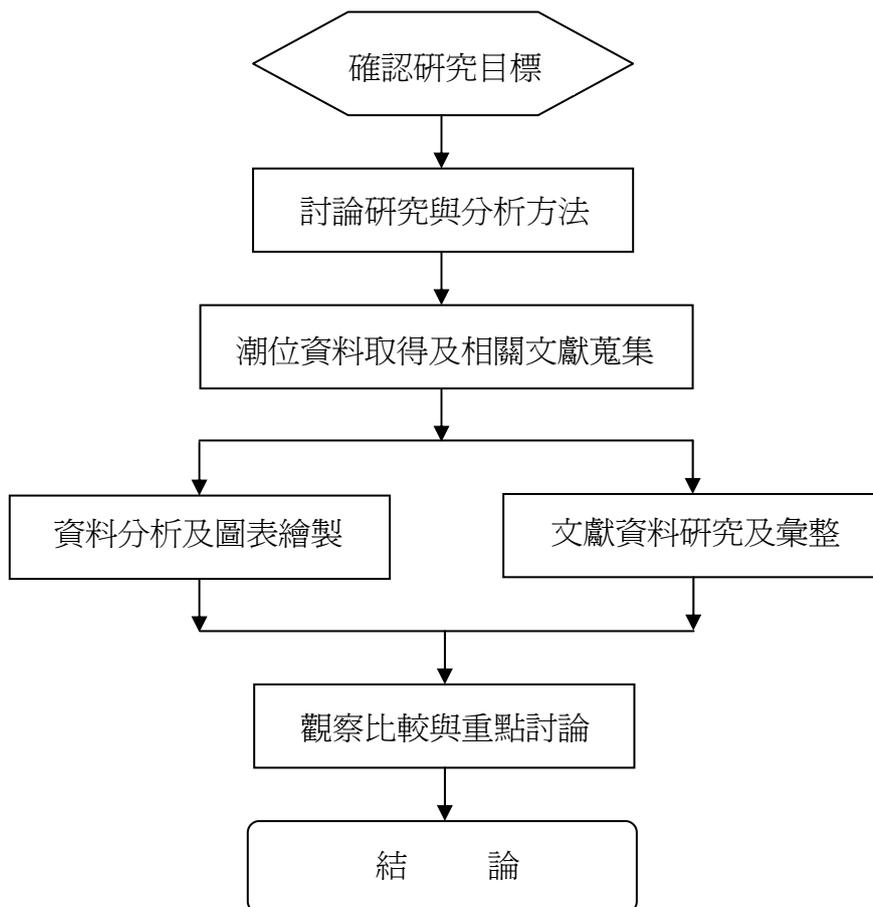


圖 1 研究流程圖

## 二、研究過程

### (一) 確認研究目標

在確認研究 311 日本海嘯對於台灣各港口水位變動的影響目標後，決定依課本基礎科學(上)冊的第 5 章中提到關於潮汐受天體萬有引力的影響，形成大潮與小潮的現象，以及半日潮、全日潮與混合潮發生的狀況，利用時頻分析軟體加以解析驗證，並與指導老師討論研究範圍上，先以解析台灣各港海嘯波影響的時間與頻率特質比較，對於港池共振方因於各港的固有頻率難以算出，因此後續再予以研究。

### (二) 討論研究與分析方法

Huang 等人 (1998) 在英國倫敦皇家學會 (The Royal Society of London) 的刊物上，發表了一個新的訊號處理方法—經驗模態分解法 (Empirical Mode Decomposition, EMD)，利用資料變化的內部時間尺度來作為能量的直接解析，此法將原始資料表達成內建模態函數 (Intrinsic Mode Functions, IMF) 分量，它不但具有明確的物理意義、高度的精確性和幾乎正交性及可適性，並且還提供了非常清晰的局部細節時頻特徵。再則希爾伯特-黃轉換 (Hilbert Huang Transform, HHT) 中，將真實存在的不同尺度波動或趨勢，依頻率由高至低逐級分解出來，產生一系列具有不同特徵尺度的資料序列，尤其是海嘯來襲時引起的水位的抬升。水位資料經驗模態分解 (EMD) 演算法，分解成數個 IMF 分量，從 IMF 分量中可以看出海嘯波動情形並發現主要能量集中於半日分潮與全日分潮。將實測水位扣除天文潮(半日潮和全日分潮及趨勢值)後，可得出海嘯引致的水位抬升量。

HHT 分析方法包含兩個主要的部份：經驗模態分解 (EMD) 和希爾伯特轉換 (Hilbert Transform, HT)，即  $HHT = EMD + HT$ 。圖 2 為 HHT 的過程示意圖，首先是把一系列時間序列資料通過經驗模態分解 (EMD)，然後經過希爾伯特轉換 (HT) 獲得頻譜的信號處理新方法，尤其是對於非穩定與非線性的時間序列有較佳的解析，可以準確地觀察出相應時間上的瞬時頻率和幅值，並具有隨著分析訊號而調整其基本性質的適應性之特點，本方法最重要的基礎，是將任何訊號內部變化的時間尺度變化，從高頻至低頻將其分析出各個局部的成份，即將原始訊號時序列訊號分解為多個內建模態函數，針對信號本身的頻率特徵出發對信號進行分解，因而能快速分析出信號的特徵，增加信號分析的靈活性和有效性。

首先利用經驗模態分解 (EMD) 將原始潮位訊號 (如圖 3-1 所示) 分解成數個 IMF 分量 (圖 3-3 所示)，並依頻率由高至低依序派列出來 (1~12 分量)，再將各個分量運用希爾伯特譜分析 (HAS)，或其他分析方法繪製頻譜圖或時頻圖等。透過分析軟體繪出時頻圖，將頻率的變化情形在時間軸上真實的展現出來，以更客觀的數據指出 311 日本海嘯波在進入港口後所產生頻率變化的基本特質。

### (三) 潮位資料取得與匯整

首先在網路上尋找潮汐與相關文獻資料，從美國國家海洋暨大氣總署 NOAA、日本氣象廳等網站上蒐集環太平洋上美日各港口潮汐資料，後來得知我國中央氣象局為了鼓勵大家研究日本海嘯，特地開放台灣各港等潮汐資料供學者研究，因此向中央氣象局申請 2011 年 3 月 11 日至 15 日，每 15 秒 1 筆的潮汐資料，並校對資料剔除異常值，運用內插法將時間軸的斷點補遺，期使時間軸資料更為正確，使解析干擾更為減小。

### (四) 資料分析及圖表繪製

1. 利用 HHT 分析軟體將原始潮汐資料帶入運算，依頻率由高至低分解出各個 IMF 分量並繪製成時頻圖。首先將主要天文潮分解並剔除，也就是將每日頻率為 1 天 1 次的全日潮與每日頻率為 1 天 2 次的半日潮驗證並分離出來（圖 3-8），留下大部分海嘯波所引起的波動變化，再解析出來的各個分量，並透過快速傅立葉轉換（FFT）得出其正確頻率，並轉換成時頻圖（圖 3-9），使頻率的變化在時間軸上展露無遺，讓觀測者更容易察覺出海嘯波在時（頻率的變化情形）。

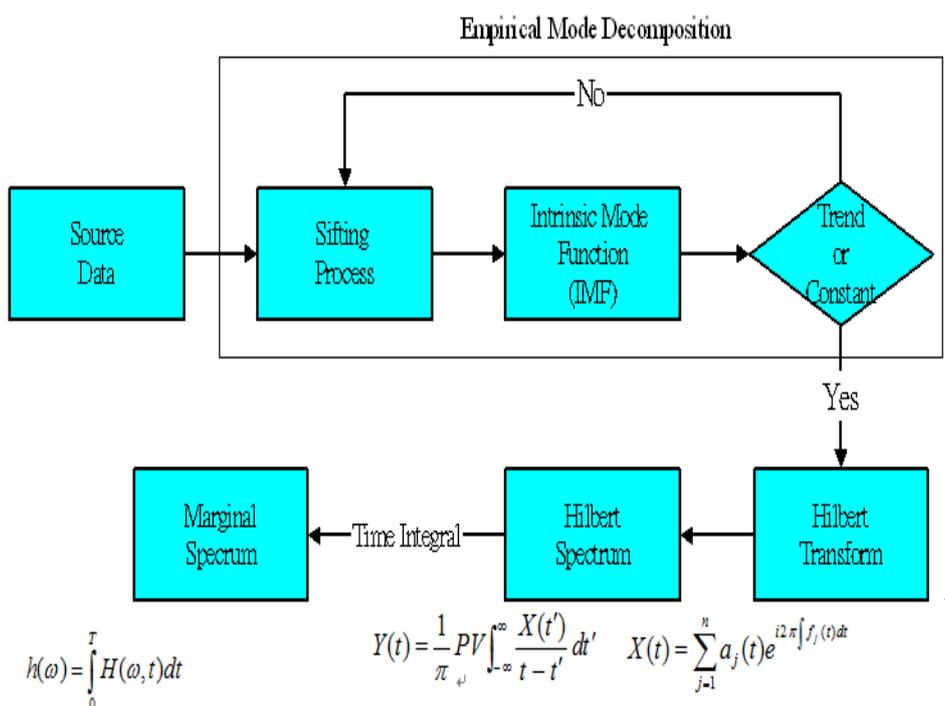


圖2 HHT 過程示意圖

## 2. 海嘯波來臨與平時無海嘯波時之 IMF 能量比較

(1)有海嘯波時潮汐資料經 EMD 分解

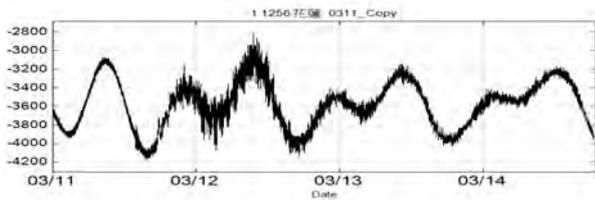


圖 3-1 中央氣象局花蓮港(海嘯波)潮汐資料

(2)平時無海嘯波時潮汐資料經 EMD 分解

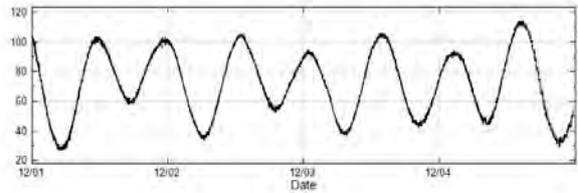


圖 3-2 中央氣象局花蓮港(平時)潮汐資料

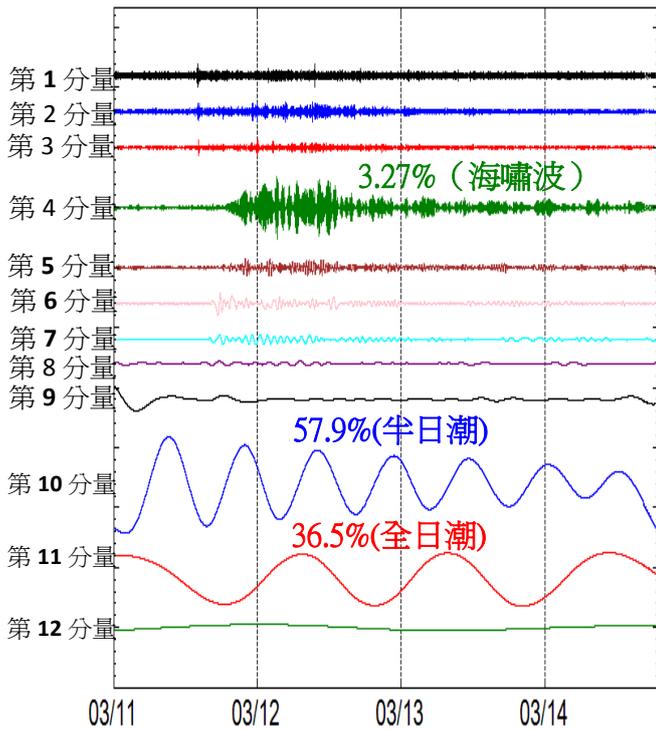


圖 3-3 將潮汐資料經 EMD 分解成 12 個分量

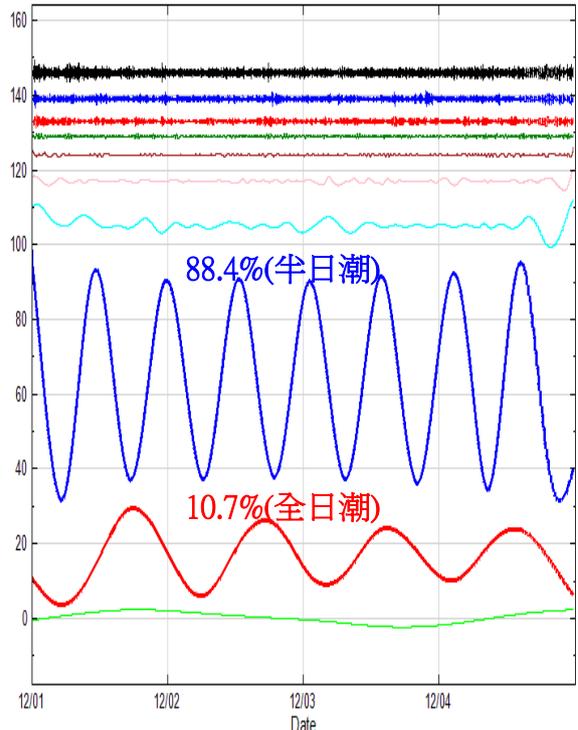


圖 3-4 將潮汐資料經 EMD 分解成 10 個分量

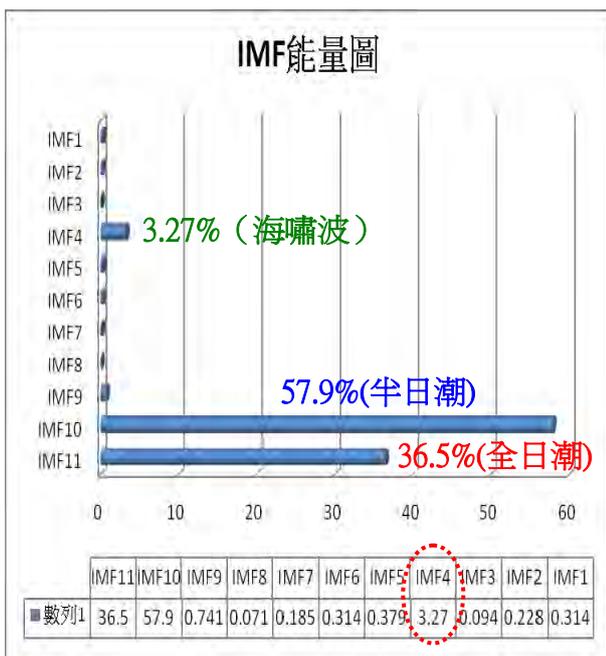


圖 3-5 IMF 分量 能量圖 (IMF12 殘值)

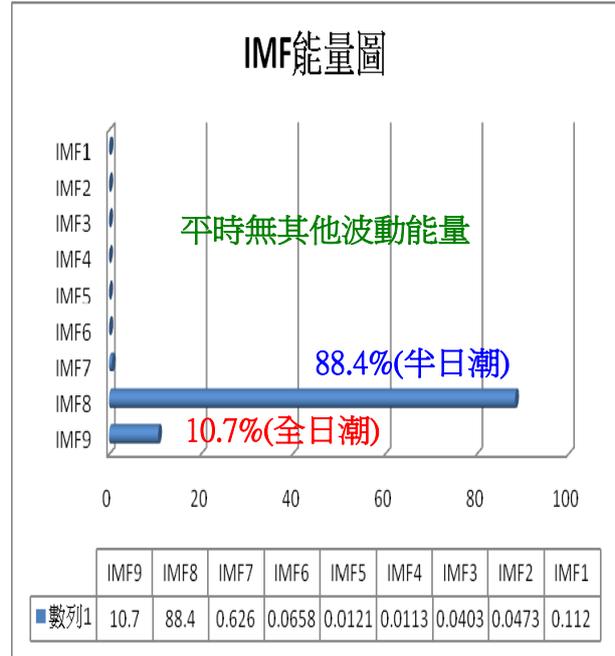


圖 3-6 IMF 分量 能量圖 (IMF10 殘值)

### 3. 海嘯造成水位抬升量的計算與起漲點的量測

海嘯造成水位抬升量

$$= \text{潮位} - [\text{趨勢值} + \text{半日潮} + \text{全日潮}]$$

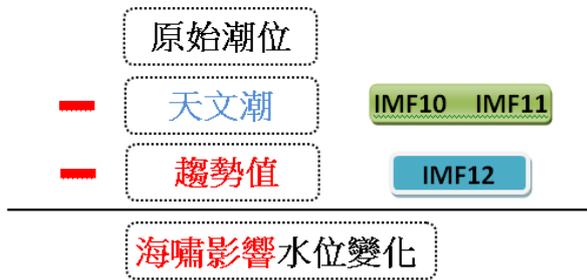


圖 3-7 水位抬升量計算式(1)

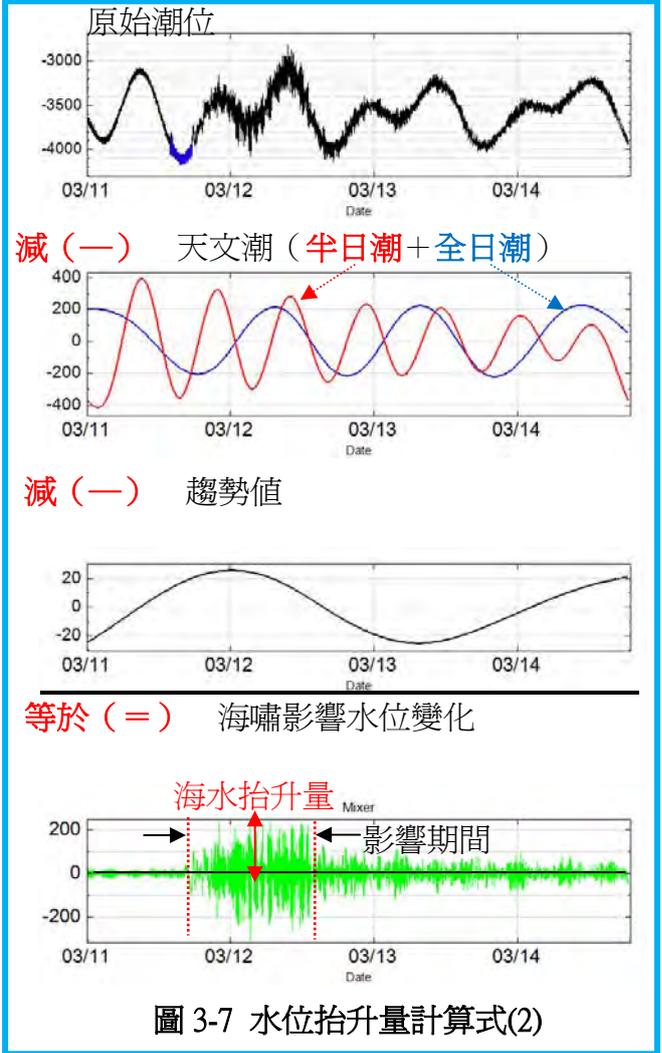


圖 3-7 水位抬升量計算式(2)

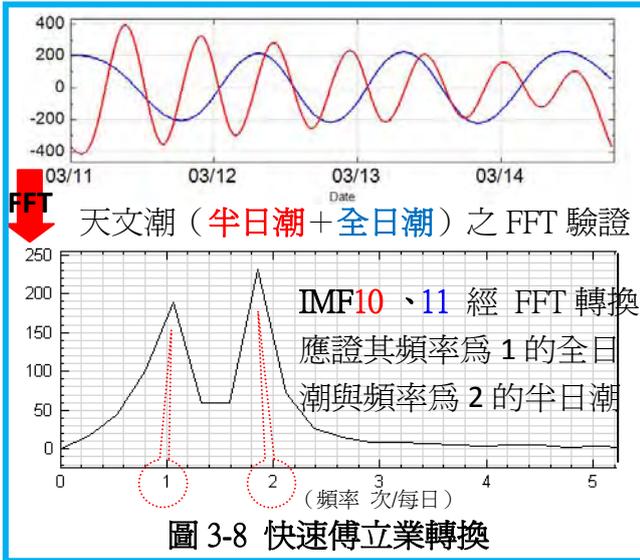


圖 3-8 快速傅立業轉換

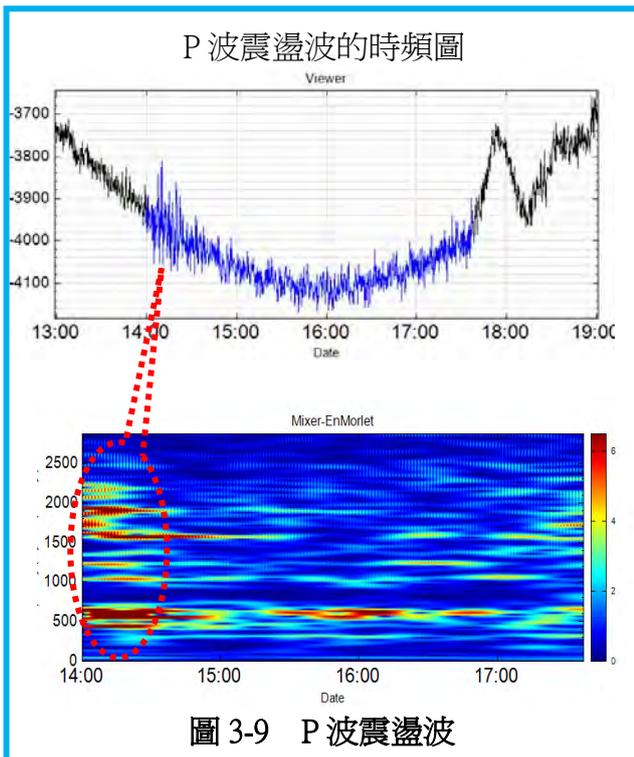


圖 3-9 P 波震盪波

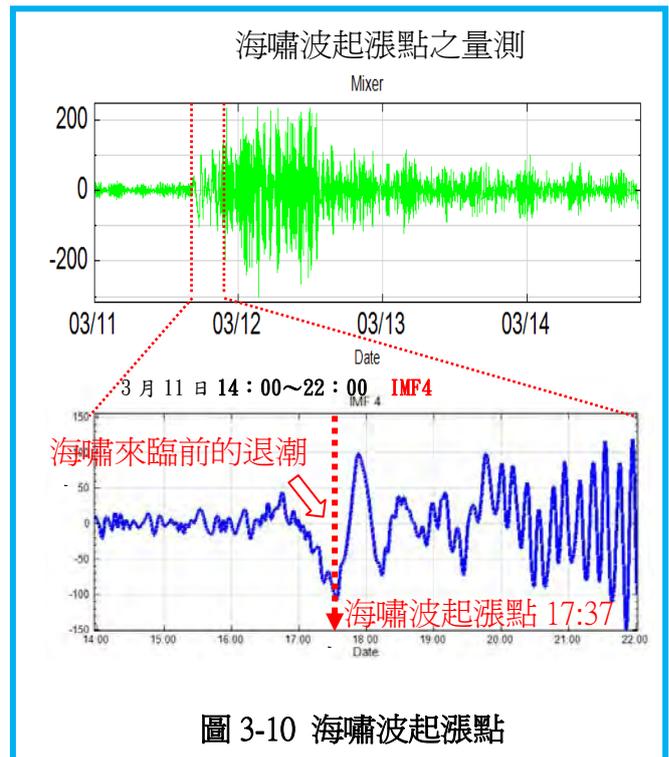


圖 3-10 海嘯波起漲點



## 1.花蓮港

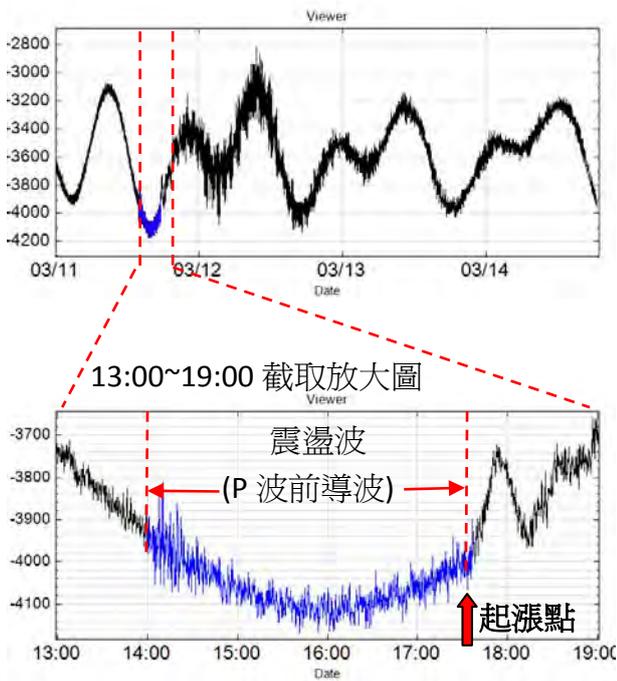


圖 5 (上) 3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 5 (中) 3 月 11 日 1300~1900 潮汐資料

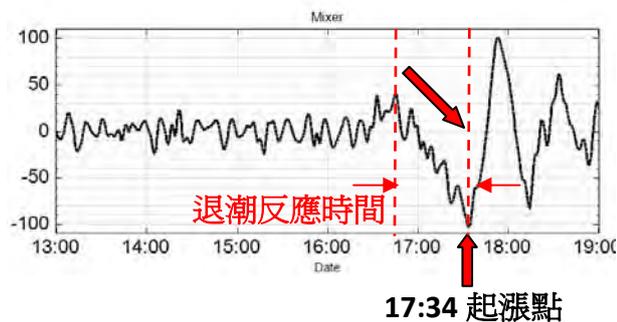


圖 5(下)3 月 11 日 1300~1900 IMF 分量圖

將原始潮位資料減天文潮及趨勢值後得出潮位變化情形，明顯看出海嘯波來臨前，海水退潮情形及在時間軸上量得退潮反應時間（1645~1734）約 49 分鐘。

## 2.台東成功

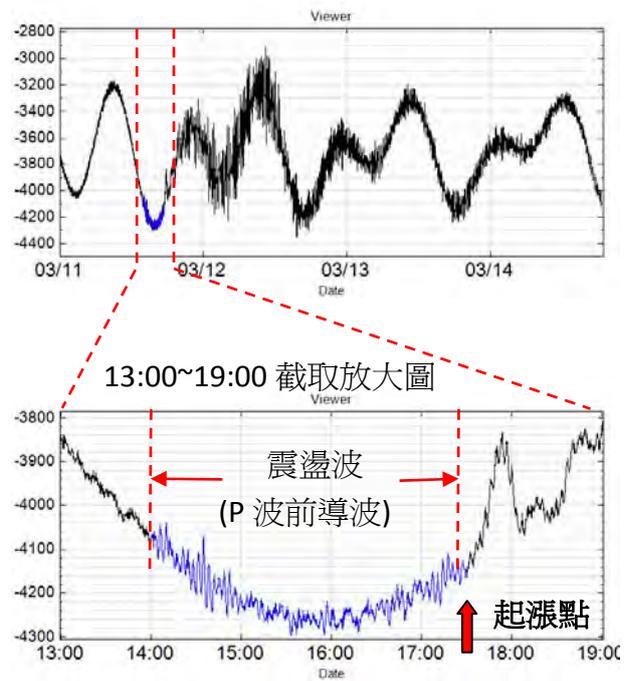


圖 6 (上) 3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 6 (中) 3 月 11 日 1300~1900 潮汐資料

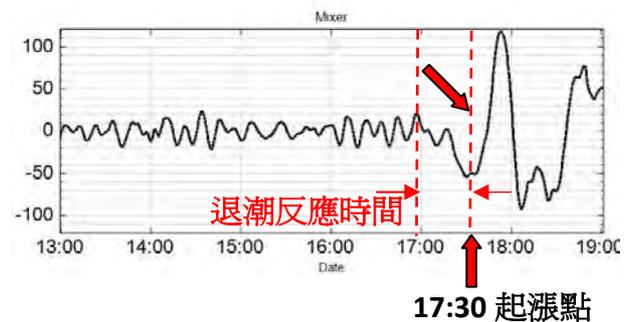


圖 6(下)3 月 11 日 1300~1900 IMF 分量圖

將原始潮位資料減天文潮及趨勢值後得出潮位變化情形，明顯看出海嘯波來臨前，海水退潮情形及在時間軸上量得退潮反應時間（1657~1730）約 33 分鐘。

### 3. 蘭嶼

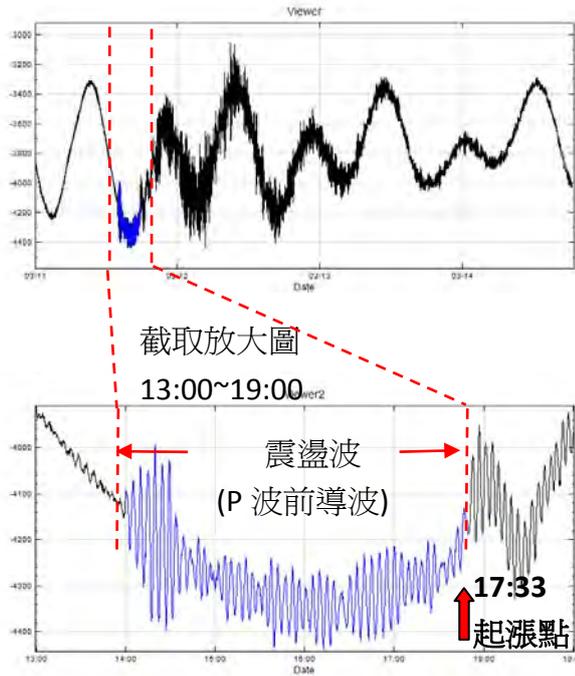


圖 7 (上) 3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 7 (下) 3 月 11 日 1300~1900 潮汐資料

### 4. 後壁湖

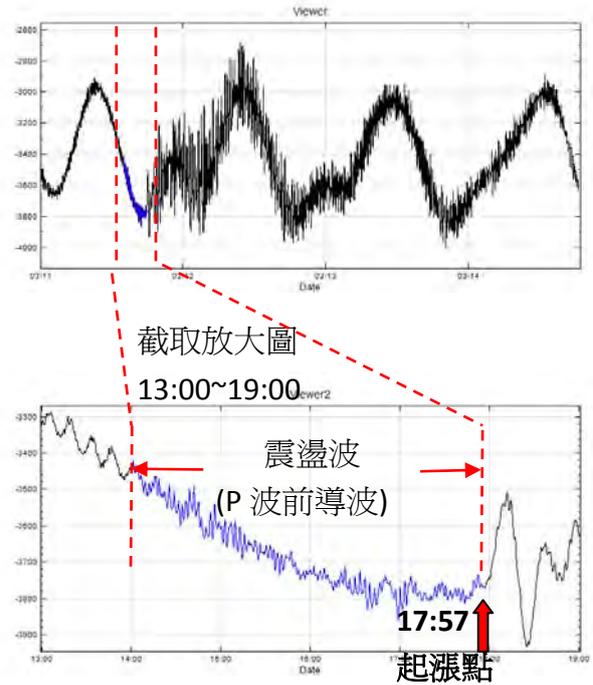


圖 8 (上) 3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 8 (下) 3 月 11 日 1300~1900 潮汐資料

### 5. 小琉球

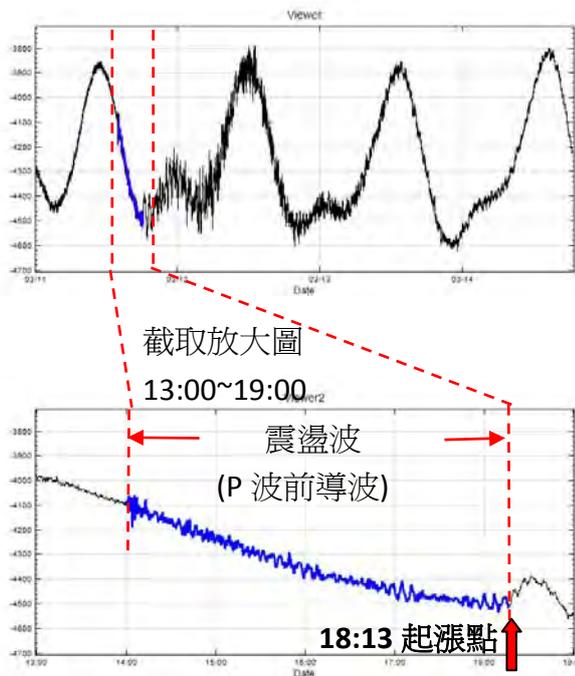


圖 9 (上) 3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 9 (下) 3 月 11 日 1300~1900 潮汐資料

### 6. 高雄港

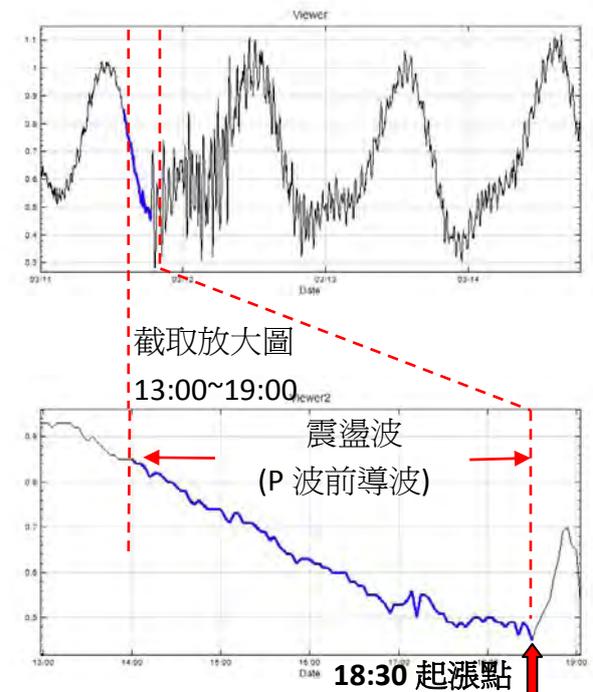


圖 10(上)3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 10(下)3 月 11 日 1300~1900 潮汐資料

### 7.台中港

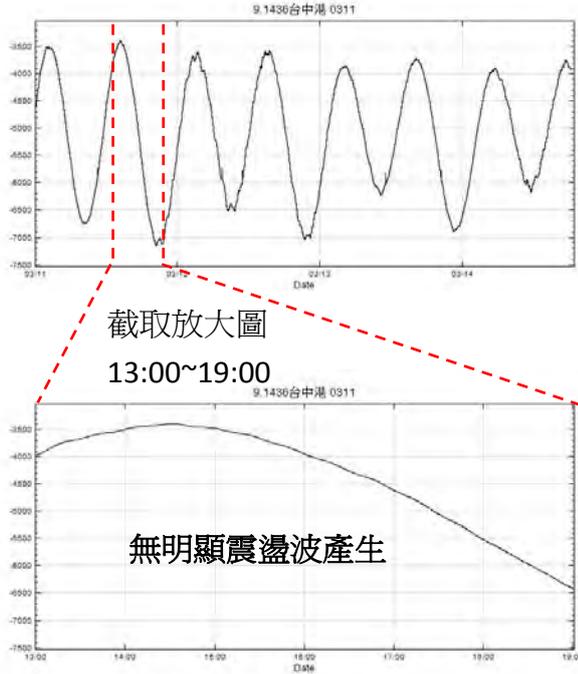


圖 11(上)3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 11(下)將 3 月 11 日 1300~1900 潮汐資料

### 8.台北港

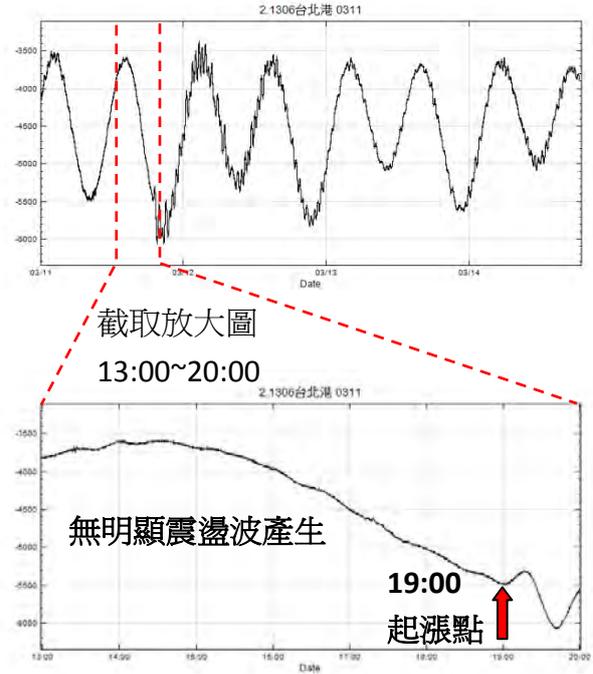


圖 12(上)3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 12(下)將 3 月 11 日 1400~2000 潮汐資料

### 9.基隆港

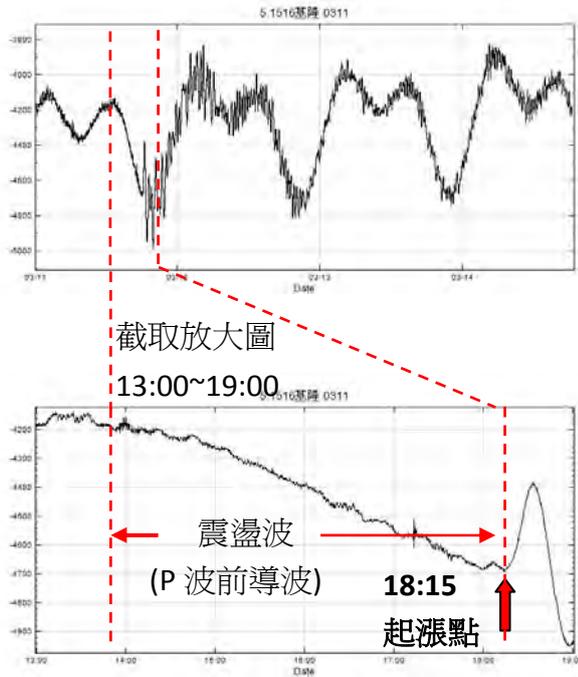


圖 13(上)3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 13(中)3 月 11 日 1300~1900 潮汐資料

### 10.彭佳嶼

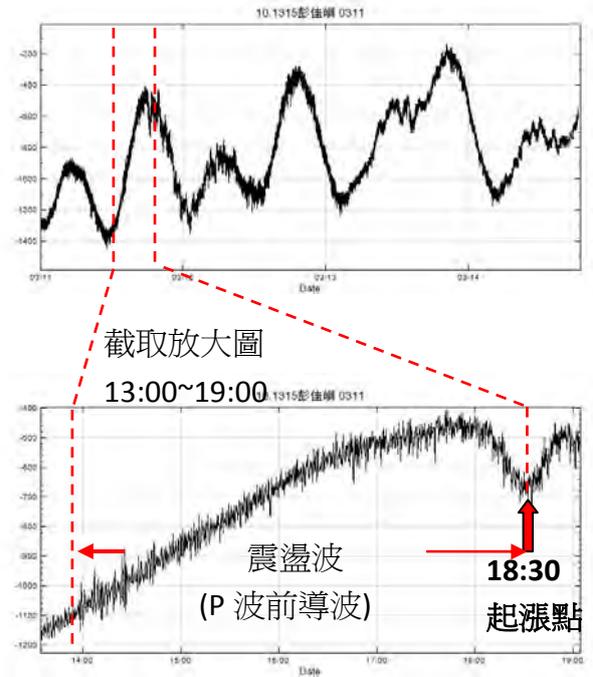


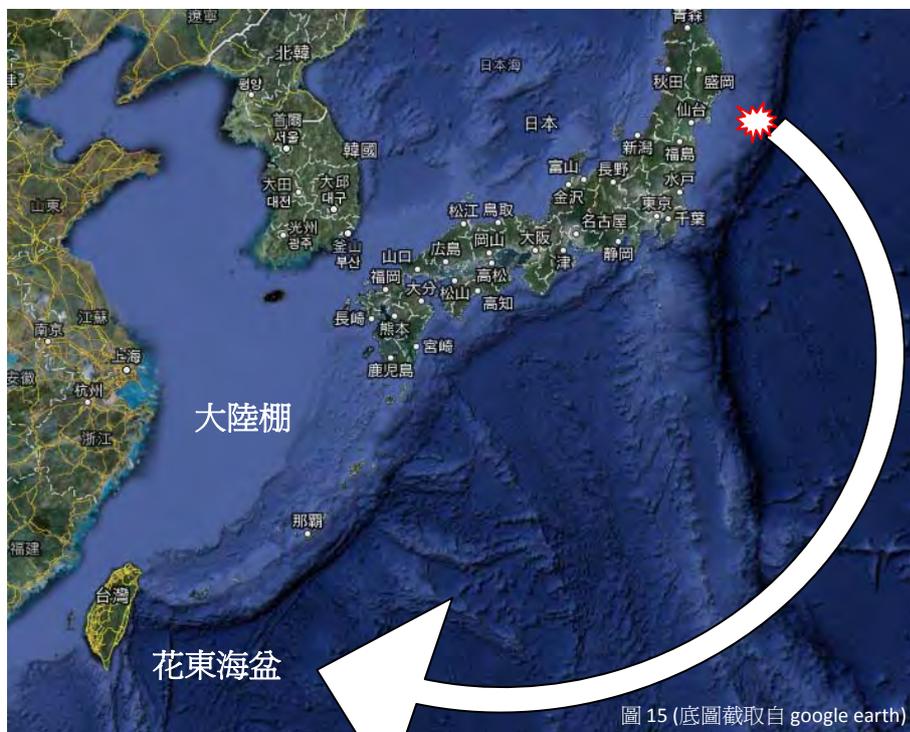
圖 14(上)3 月 11 日~3 月 15 日潮汐資料圖  
圖 14(中)將 3 月 11 日 1300~1900 潮汐資料

表 1 海嘯波到達台灣各港時間

港口	花蓮港	成功港	蘭嶼	後壁湖	小琉球	高雄港	台中港	台北港	基隆港	彭佳嶼
起漲點時間	17:34	17:30	17:33	17:57	18:13	18:30	20:30	19:00	18:15	18:30

(四) 發現：

海嘯波傳達到台灣各港時間之比較上，由表 1 各港起漲點時間可看出以台東成功（17:30）為最早到達，然後分成往北、往南 2 股海嘯波，時間上以其為中心往南至蘭嶼（17:33）、南台灣後壁湖（17:57）向西到小琉球（18:13）、高雄港（18:30）到台中（20:30），往北到花蓮港（17:34）、基隆港（18:15）、彭佳嶼（18:30）到達台北港（19:00）。由此看出花蓮、台東海嘯到達時間比位於台灣北邊最靠近日本的彭佳嶼早，而依據邊緣波理論（吳，2011）台灣與日本在地形上以琉球島弧相連，從圖 15 中可看出台灣與日本直線距離間沒有平坦的深海而是以大陸棚架構相連，造成海嘯波以邊緣波方式一路彈射至台灣，並非從震央位置以直線由東北方向傳入，而是沿大陸棚邊波由正東向西直接襲擊台東、花蓮，然後分成南、北向兩股波動，一股北上繞道基隆、彭佳嶼、台北港，另一股波動南下至綠島繞過後壁湖、小琉球、高雄港最後二股海嘯波至台中港會附近匯集。由表 1 中各港所記錄的時間上可加以驗證，為何東北方的彭佳嶼起漲時間比基隆港慢，而向南、向北的二股波動，其速率均符合序列時間。



## 二、地震 P 波所揚起之振盪波之比較

(一) 將各港 P 波所發生時間之原始潮汐資料帶入分析軟體中分解出其主要頻率，因西部各港口如台中港、台北港等無明顯震盪波，因此台中港與台北港不作比較。

### 1. 花蓮港

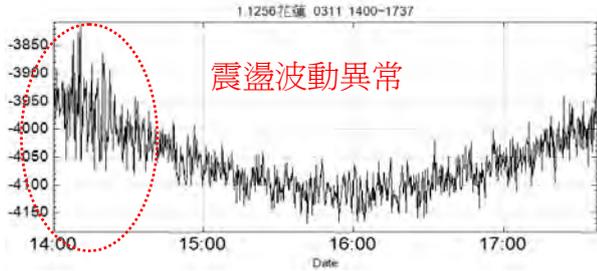


圖 16-1 3 月 11 日 1400~1737 原始潮汐資料

### 2. 台東成功

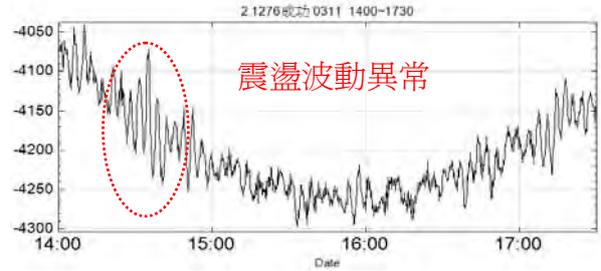


圖 17-1 3 月 11 日 1400~1737 原始潮汐資料

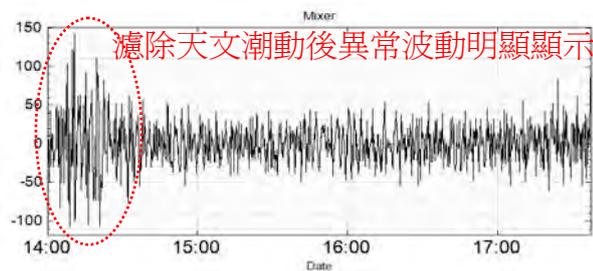


圖 16-2 將原始潮汐資料濾除天文潮

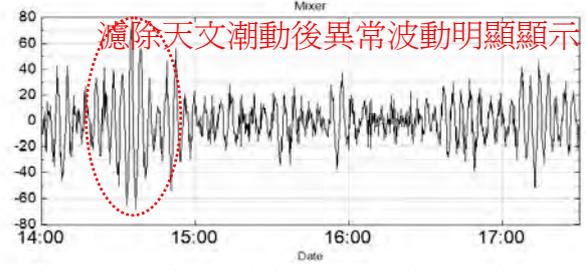


圖 17-2 將原始潮汐資料濾除天文潮

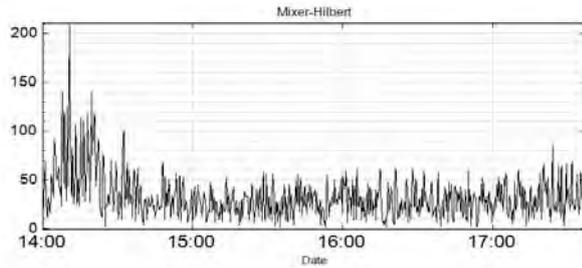


圖 16-3 震盪波抬升水位圖

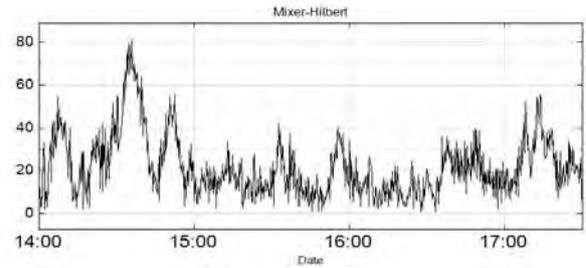


圖 17-3 震盪波抬升水位圖

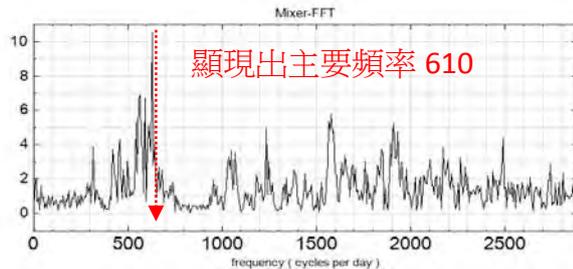


圖 16-4 快速傅立業轉換 FFT

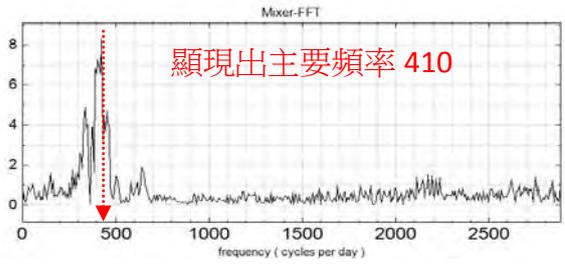


圖 17-4 快速傅立業轉換 FFT

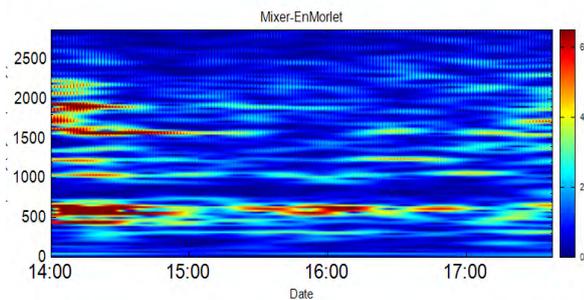


圖 16-5 EnMorlet 時頻圖

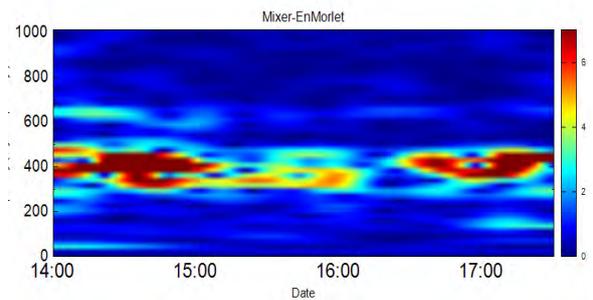


圖 17-5 EnMorlet 時頻圖

### 3. 蘭嶼

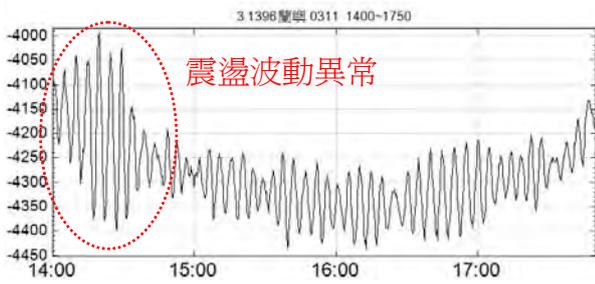


圖 18-1 3 月 11 日 1400~1750 原始潮汐資料

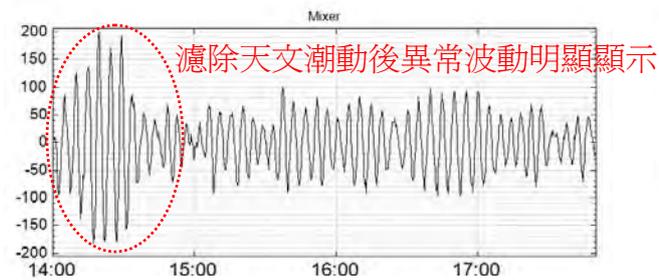


圖 18-2 將原始潮汐資料濾除天文潮

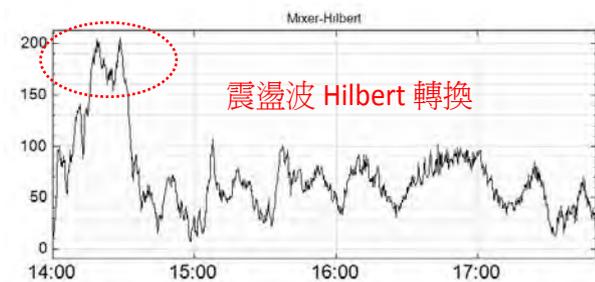


圖 18-3 水位抬升最大高度 21cm

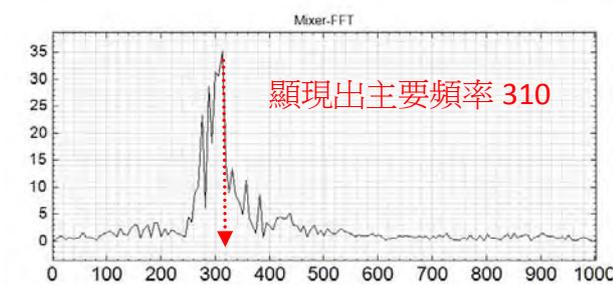


圖 18-4 快速傅立業轉換 FFT

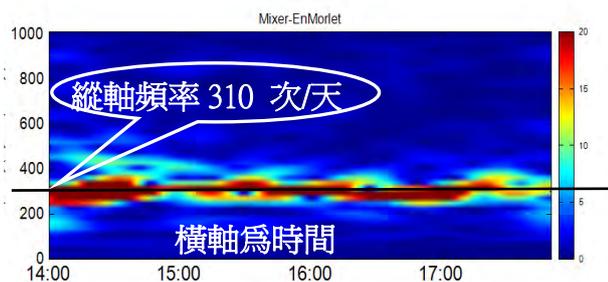


圖 18-5 EnMorlet 時頻圖

### 4. 後壁湖

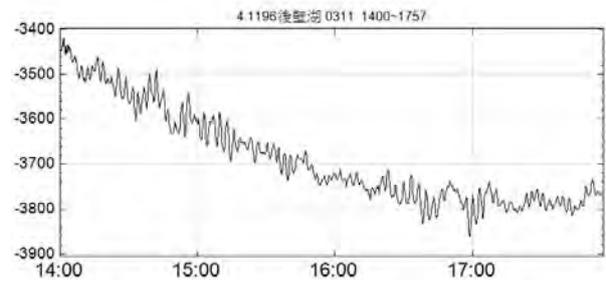


圖 19-1 3 月 11 日 1400~1730 原始潮汐資料

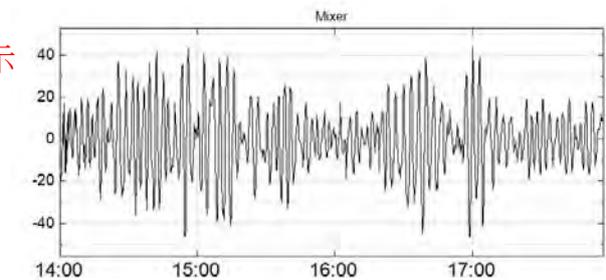


圖 19-2 將原始潮汐資料濾除天文潮

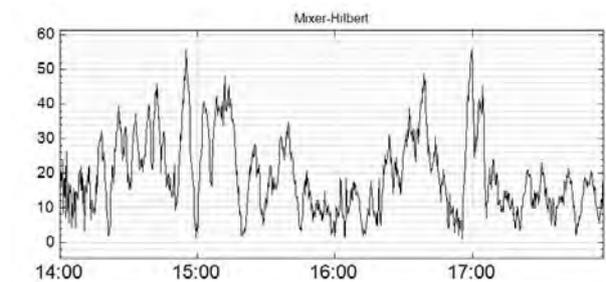


圖 19-3 水位抬升最大高度 5.6cm

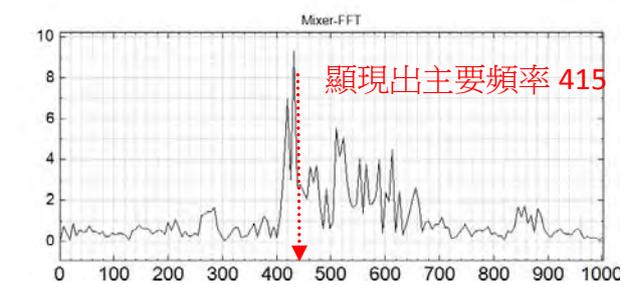


圖 19-4 快速傅立業轉換 FFT

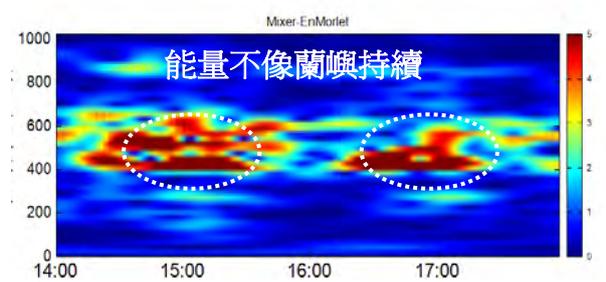


圖 19-5 EnMorlet 時頻圖

## 5. 小琉球

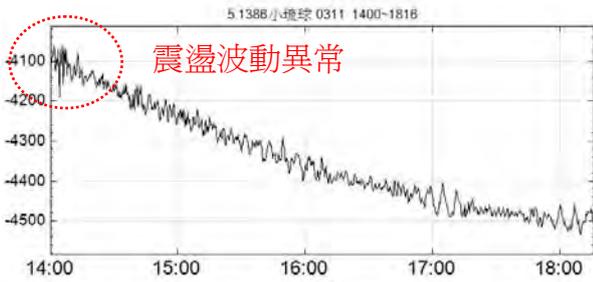


圖 20-1 3月11日 1400~1750 原始潮汐資料

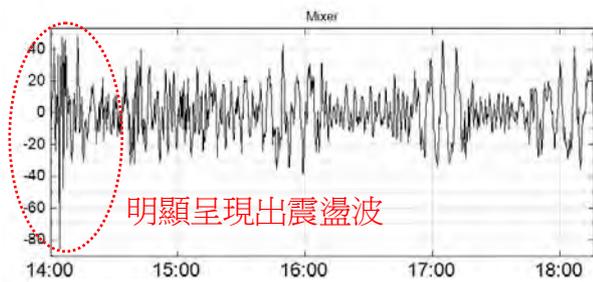


圖 20-2 將原始潮汐資料濾除天文潮

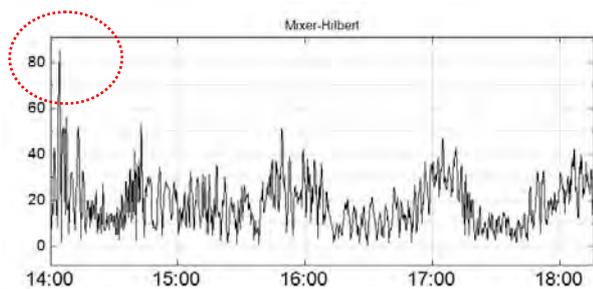


圖 20-3 水位抬升最大高度 8cm

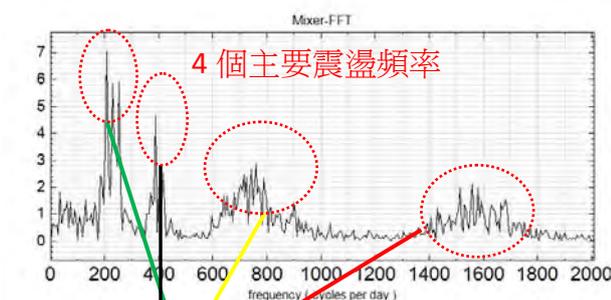


圖 20-4 快速傅立業轉換 FFT

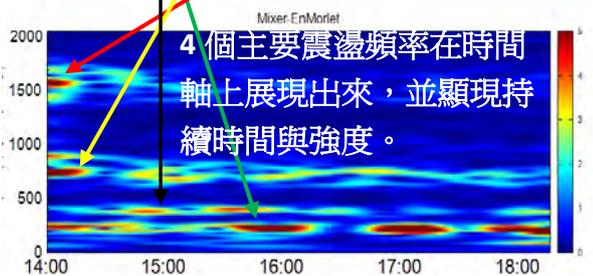


圖 20-5 EnMorlet 時頻圖

## 6. 高雄港

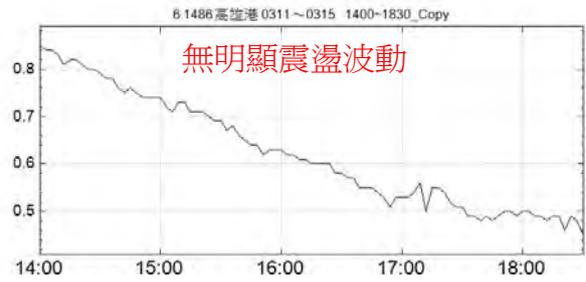


圖 21-1 3月11日 1400~1730 原始潮汐資料

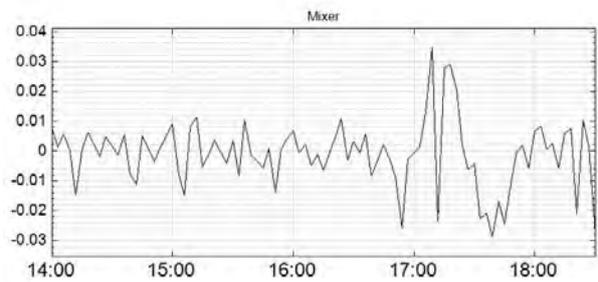


圖 21-2 將原始潮汐資料濾除天文潮

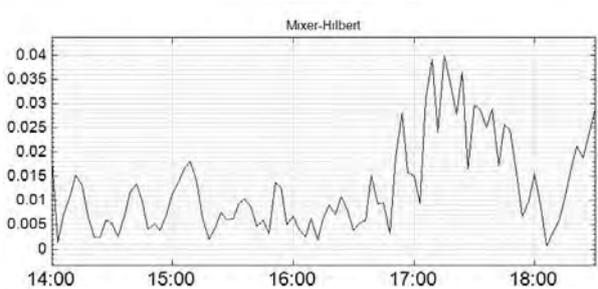


圖 21-3 水位抬升最大高度 0.004cm(幾乎無波)

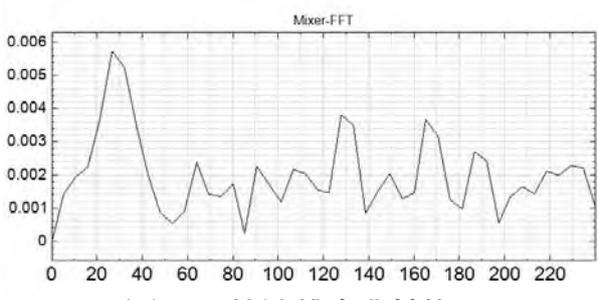


圖 21-4 快速傅立業轉換 FFT

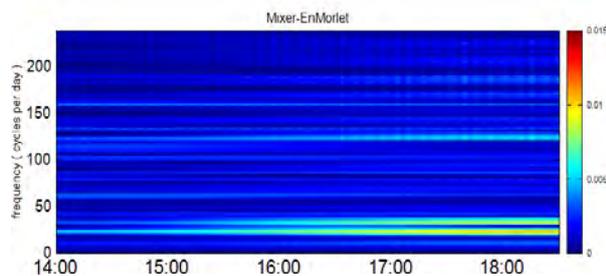


圖 21-5 EnMorlet 時頻圖

## 7. 基隆港

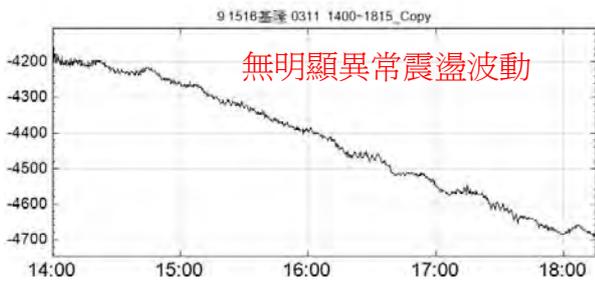


圖 22-1 3月11日 1400~1750 原始潮汐資料

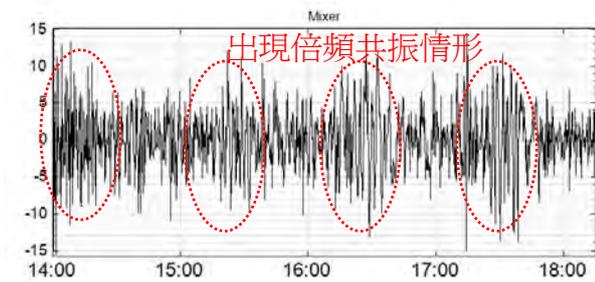


圖 22-2 將原始潮汐資料濾除天文潮

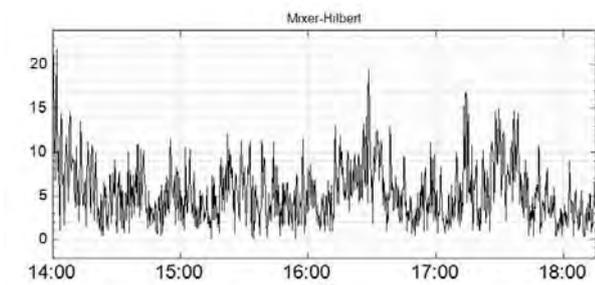


圖 22-3 水位抬升最大高度 2cm

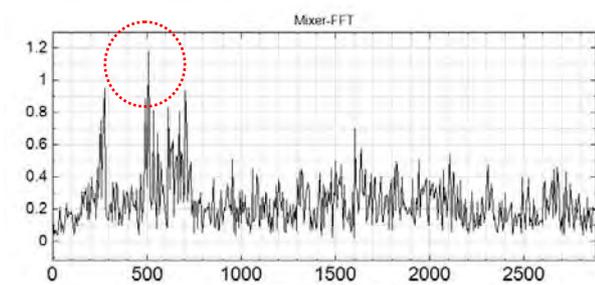


圖 22-4 快速傅立業轉換

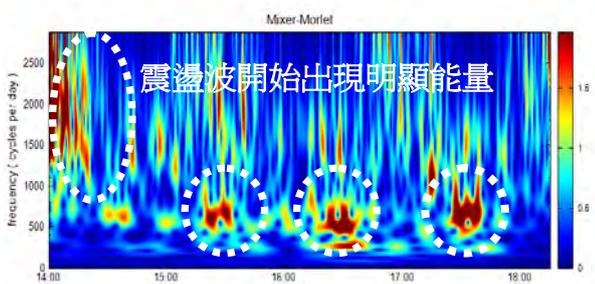


圖 22-5 EnMorlet 時頻圖

## 8. 彭佳嶼

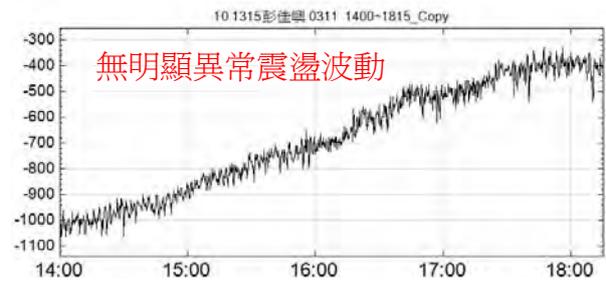


圖 23-1 3月11日 1400~1730 原始潮汐資料

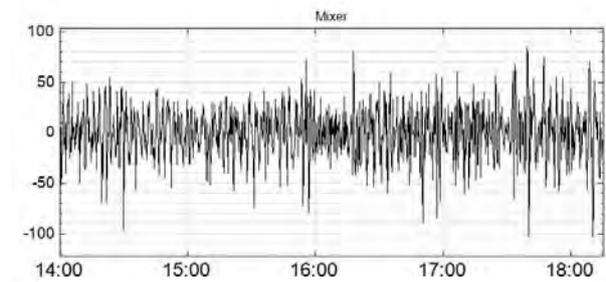


圖 23-1 將原始潮汐資料濾除天文潮

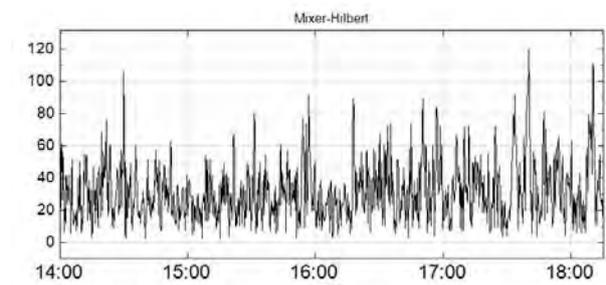


圖 23-3 水位抬升最大高度 11cm

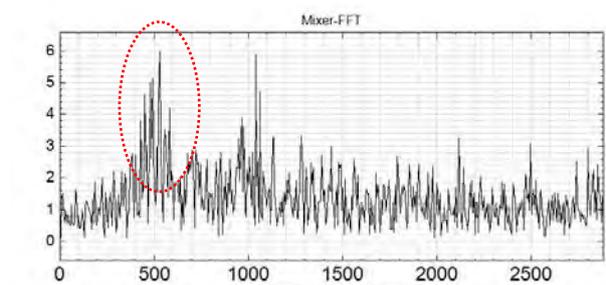


圖 23-4 快速傅立業轉換

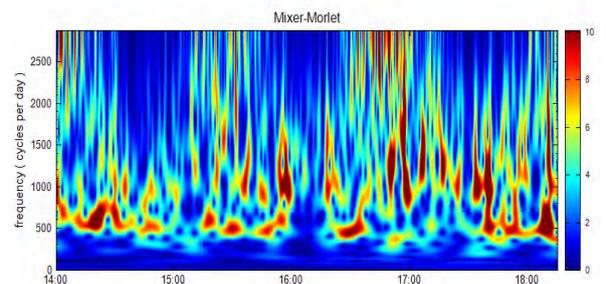


圖 23-5 EnMorlet 時頻圖

## (二) 發現

### 1. 各港 P 波所揚起震盪波發生主要頻率與週期如表 2

表 2 震盪波主要頻率與週期

港口	花蓮港	成功港	蘭嶼	後壁湖	小琉球	高雄港	台中港	台北港	基隆港	彭佳嶼
主要 頻率 (Hz)	0.007060	0.004745	0.003588	0.004803	0.002431	*	*	*	0.005903	0.00590.3
週期 (sec)	142 sec	211 sec	279 sec	208 sec	411 sec	*	*	*	169 sec	169 sec

2. 東部港口花蓮港、成功、蘭嶼、波動感受最為強烈，在往北彭佳嶼、基隆港、往南後壁湖、小琉球震盪幅度次之，最後高雄港、台中港及台北港測潮儀感受不到。
3. 花蓮港、台東成功及蘭嶼於震盪波開始時均產生明顯異常波動，再將原始潮汐資料濾除主要天文潮後，如圖 16-2、圖 17-2 及圖 18-2 更加清楚顯現。

## (三) 說明

1. 地震 P 波所產生的震盪波以台東各港感受度最為明顯，依（莊，2011）發現從東部極陡坡海岸的海嘯波記錄中可發現在遠域強烈淺層地震之前震期，波動與寬頻地動儀記錄相似，同時且同樣會呈現地動 P 波之高頻波動震盪特性，而且與美國 NGDC 太平洋資料浮標中心設置於西北太平洋海域之浮標測波動資料進行驗證，比對結果可確認地動 P 波之震盪特性，當開始實驗解析該資料時發現該點異常震動波情形原以為是海嘯波，但發生時間卻在 3 月 11 日 1400 左右，海嘯波又沒那麼快到達，依據上述文獻及美國 NGDC 太平洋資料浮標中心所得資料顯現，我們只要將該段潮汐資料透過 HHT 解析將主要天文潮濾除，即可清晰看出發生時間與波動頻率，非常經濟與有效率，希望未來或可作為海嘯預警之參考因子之一。
2. 震央距離台灣約 3000 公里，P 波在地殼中傳遞速度約 5~7 公里/秒，從這份報告取樣的港口中，測量到異常震盪的時間約在地震發生後 12~15 分，由此現象及上述文獻資料，我們可知此震盪波應為地震 P 波造成之結果。
3. 西部各港口因地形關係，所測得訊號就比較微弱而沒有東部港口明顯情況。

### 三、海嘯波比較

#### (一) 各港比較

##### 1. 花蓮港

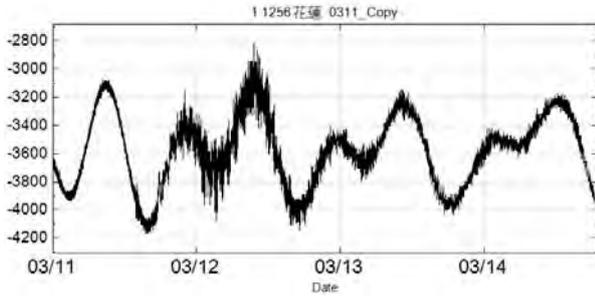


圖 24-1 花蓮港潮汐資料

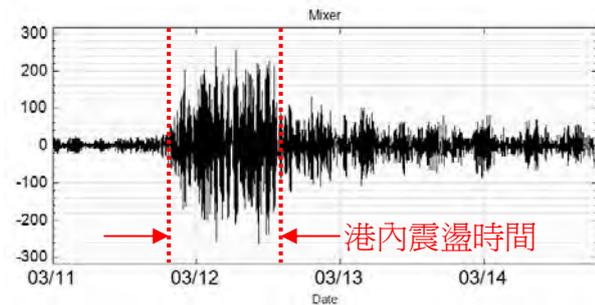


圖 24-2 海嘯波(濾除主要天文潮與趨勢值)

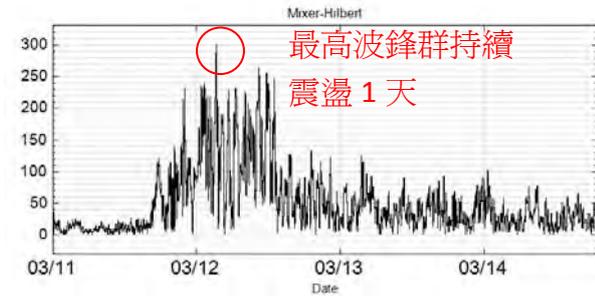


圖 24-3 水位抬升最大高度 30.1cm

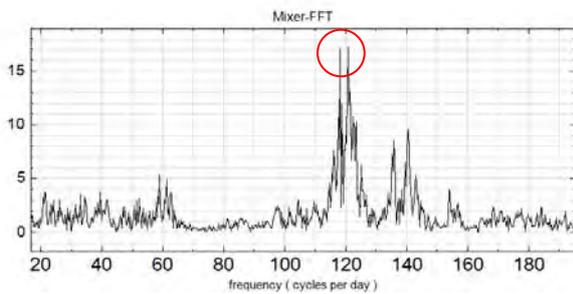


圖 24-4 快速傅立業轉換 (FFT)

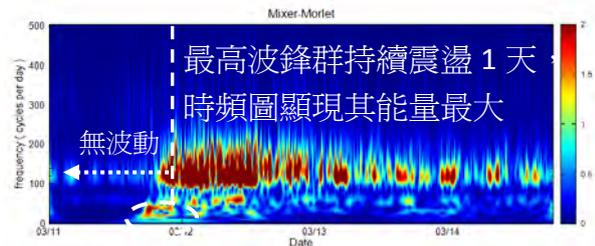


圖 24-5 EnMorlet 時頻圖

##### 2. 台東成功

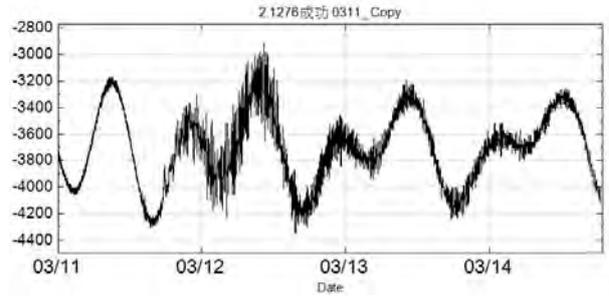


圖 25-1 台東成功潮汐資料

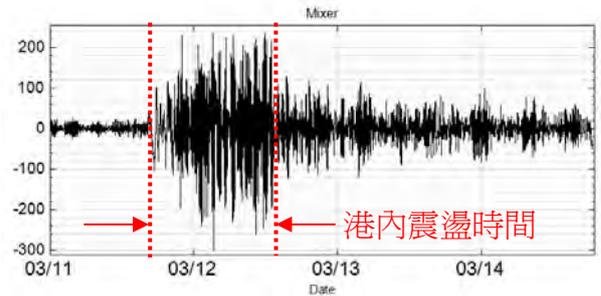


圖 25-2 海嘯波(濾除主要天文潮與趨勢值)

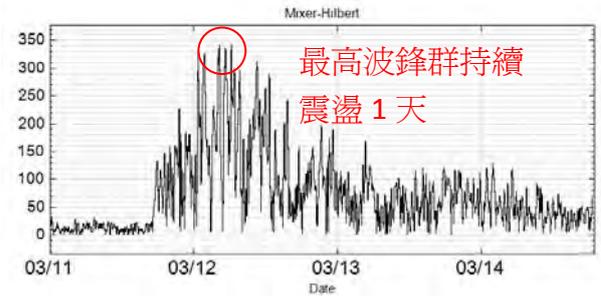


圖 25-3 水位抬升最大高度 34.2cm

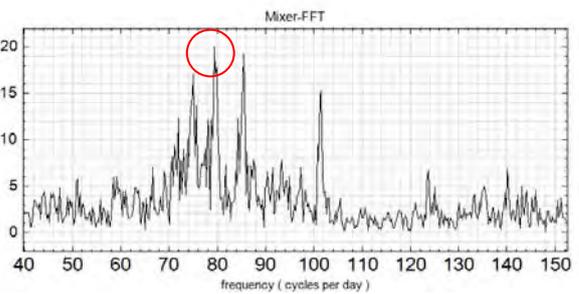


圖 25-4 快速傅立業轉換 (FFT)

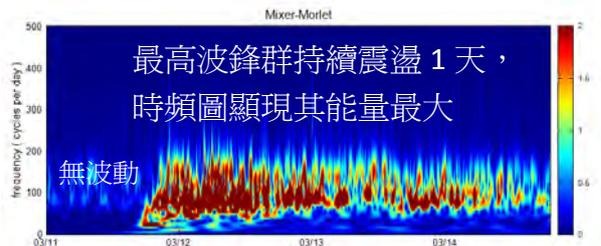


圖 25-5 EnMorlet 時頻圖

### 3. 蘭嶼

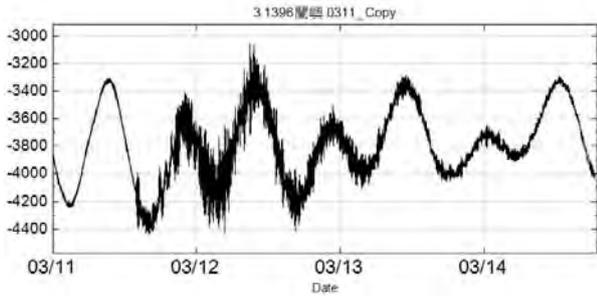


圖 26-1 蘭嶼潮汐資料

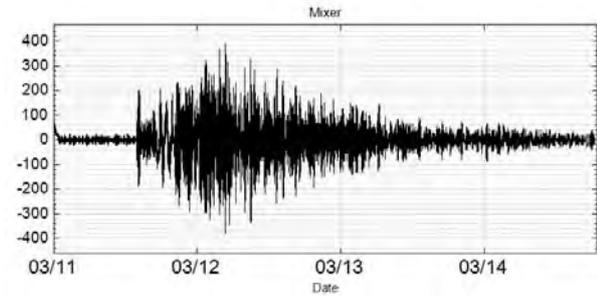


圖 26-2 海嘯波(濾除主要天文潮與高頻震盪波)

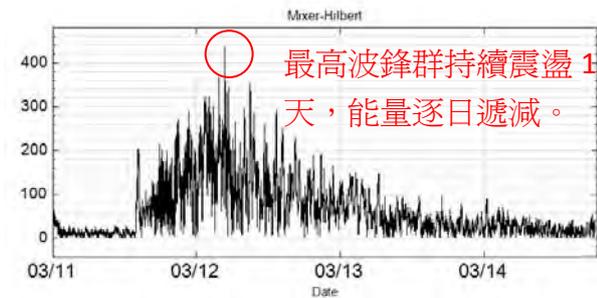


圖 26-3 水位抬升最大高度 43.7cm

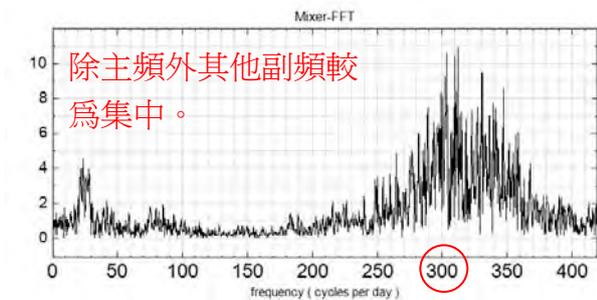


圖 26-4 快速傅立葉轉換 (FFT)

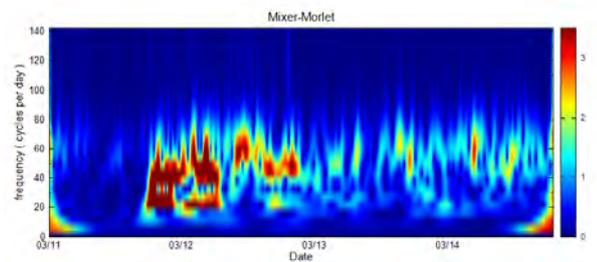


圖 26-5 EnMorlet 時頻圖

### 4. 後壁湖

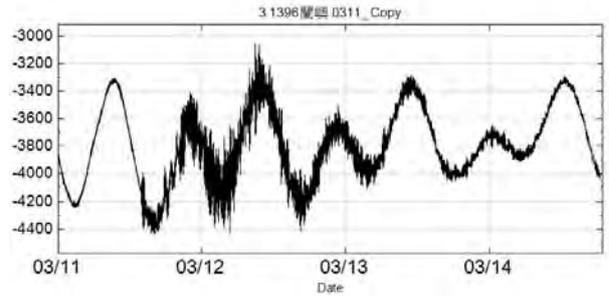


圖 27-1 後壁湖潮汐資料

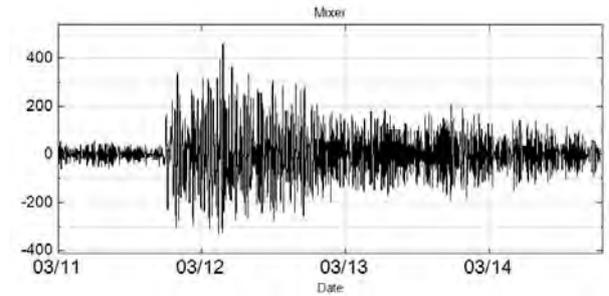


圖 27-2 海嘯波(濾除主要天文潮與高頻震盪波)

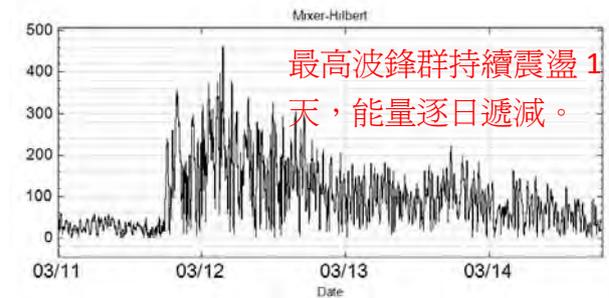


圖 27-3 水位抬升最大高度 46.1cm

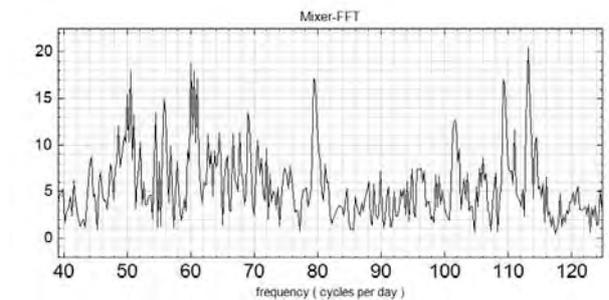


圖 27-4 快速傅立葉轉換 (FFT)

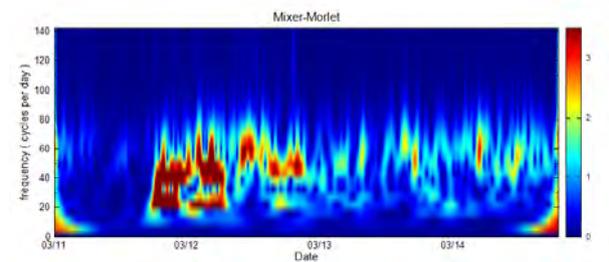


圖 27-5 EnMorlet 時頻圖

5.小琉球

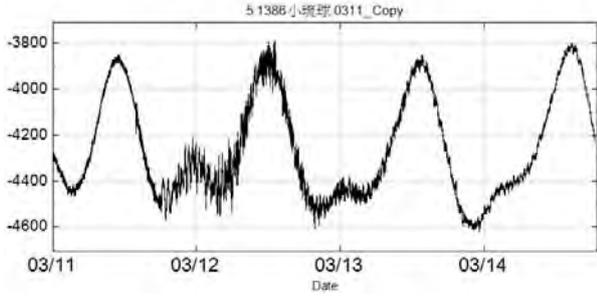


圖 28-1 小琉球潮汐資料

6.高雄港

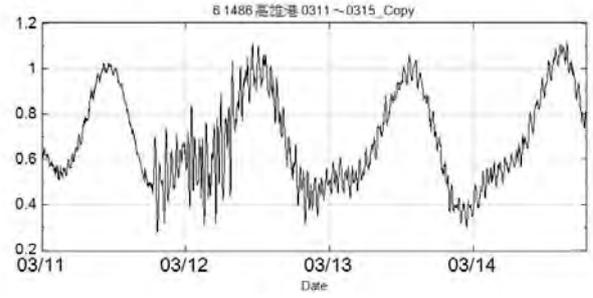


圖 29-1 高雄港務分公司潮汐資料

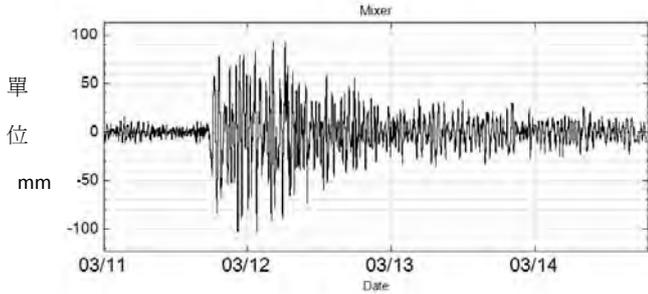


圖 28-2 海嘯波 (濾除天文潮與高頻震盪波)

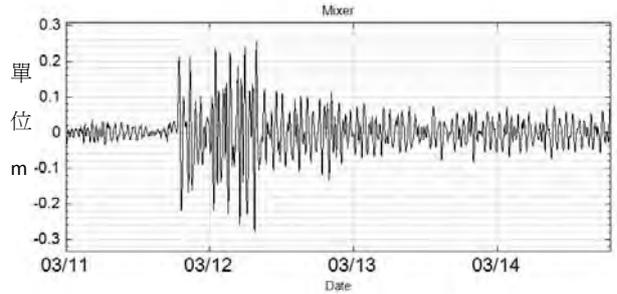


圖 29-2 海嘯波 (濾除天文潮與高頻震盪波)

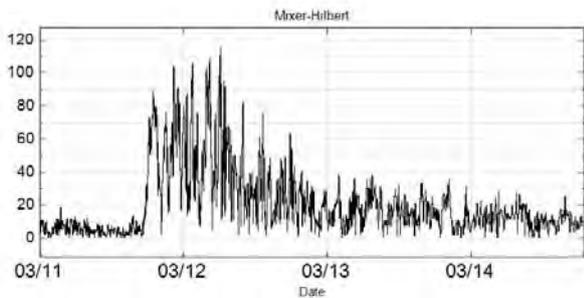


圖 28-3 水位抬升最大高度 3/12 11.6cm

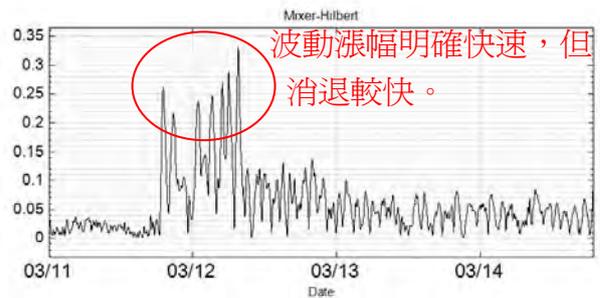


圖 29-3 水位抬升最大高度 33.2cm

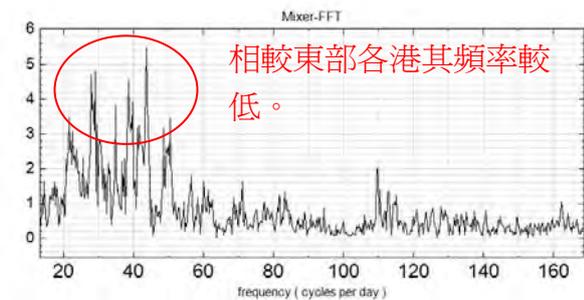


圖 28-4 快速傅立業轉換 (FFT)

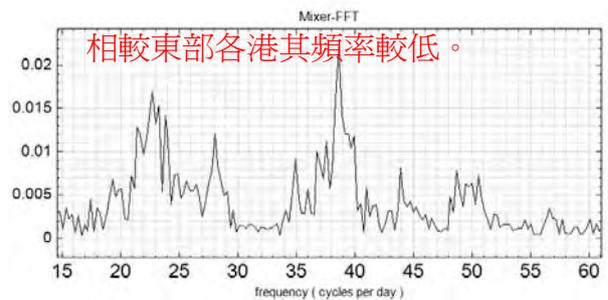


圖 29-4 快速傅立業轉換 (FFT)

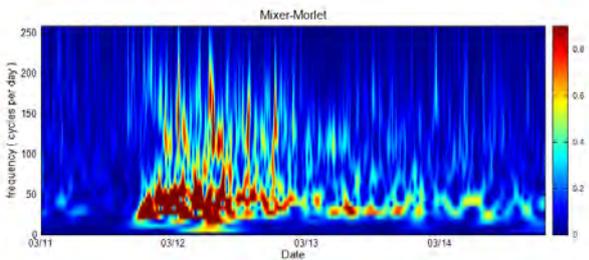


圖 28-5 EnMorlet 時頻圖

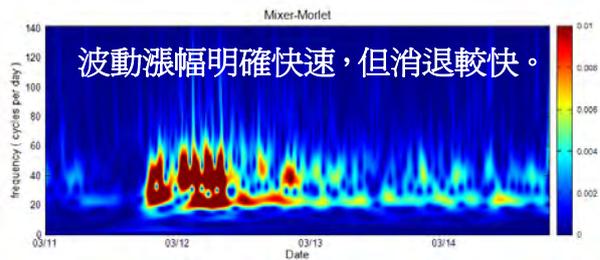


圖 29-5 EnMorlet 時頻圖

7.台中港

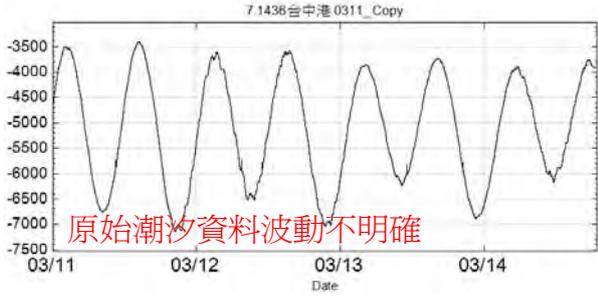


圖 30-1 台中港潮汐資料

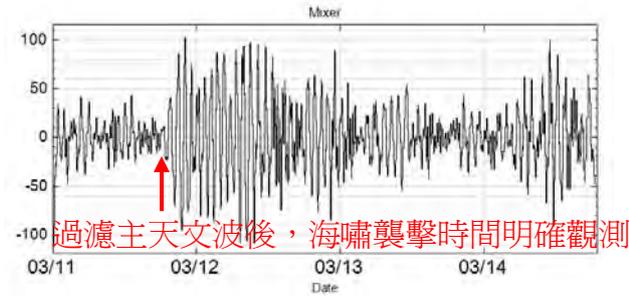


圖 30-2 海嘯波（濾除天文潮與高頻震盪波）

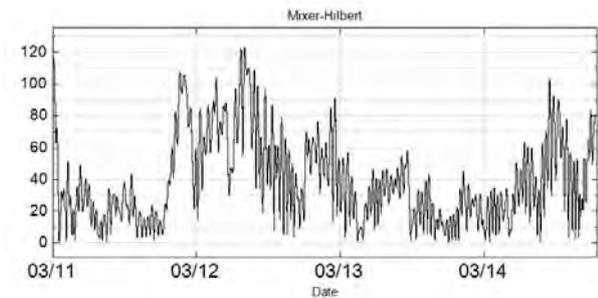


圖 30-3 水位抬升最大高度 12.3cm

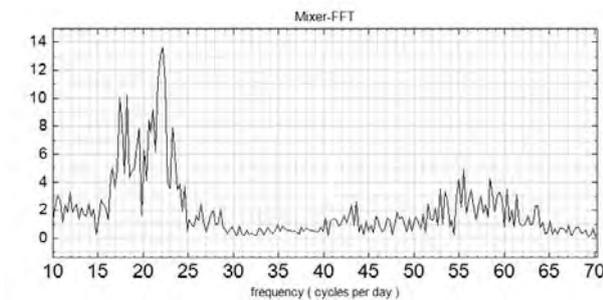


圖 30-4 快速傅立業轉換 (FFT)

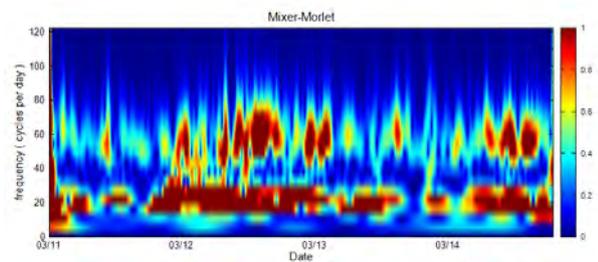


圖 30-5 EnMorlet 時頻圖

8.台北港

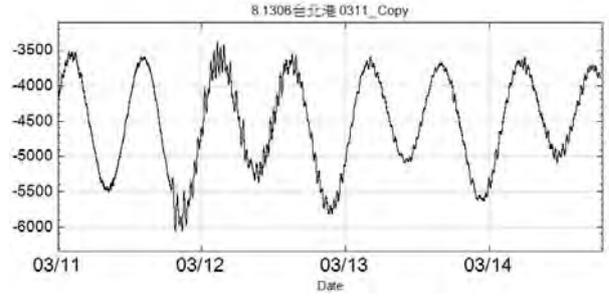


圖 31-1 台北港潮汐資料

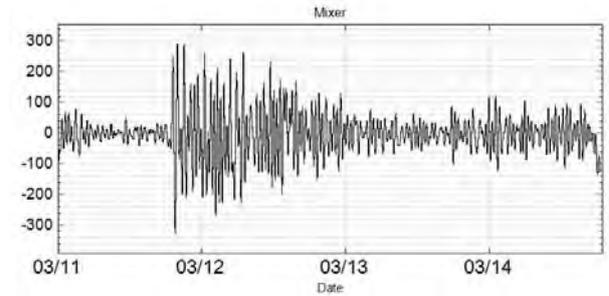


圖 31-2 海嘯波（濾除天文潮與高頻震盪波）

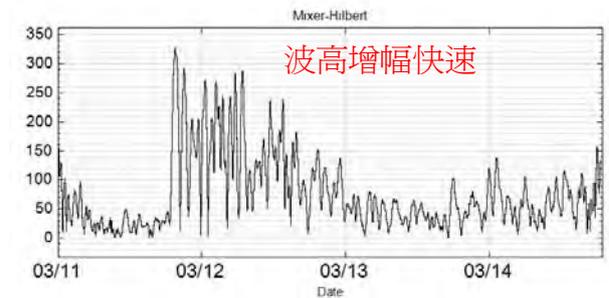


圖 31-3 水位抬升最大高度 32.9cm

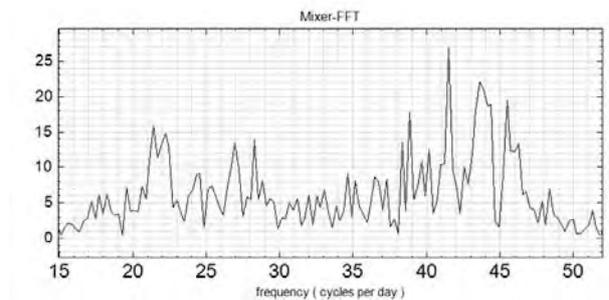


圖 31-4 快速傅立業轉換 (FFT)

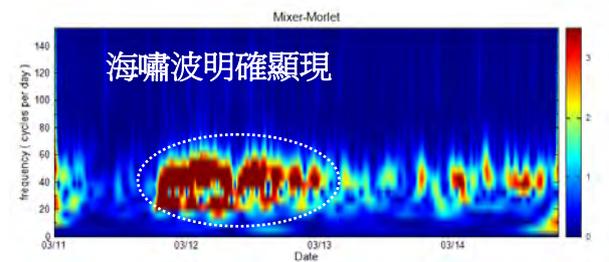


圖 31-5 EnMorlet 時頻圖

## 9.基隆港

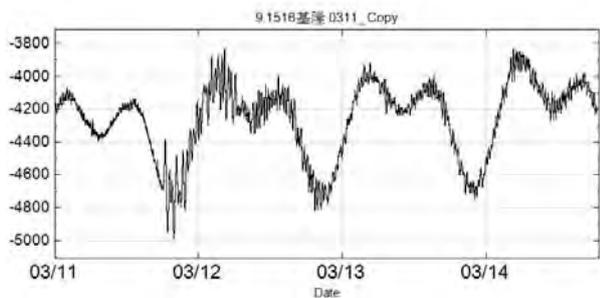


圖 32-1 基隆港潮汐資料

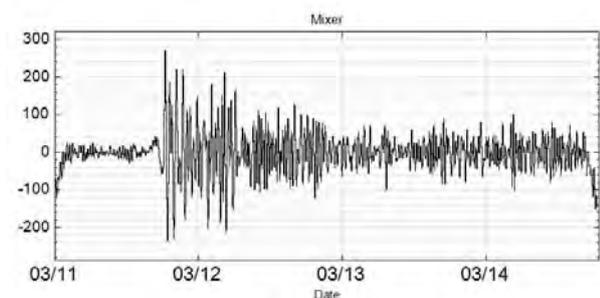


圖 32-2 海嘯波 (濾除天文潮與高頻震盪波)

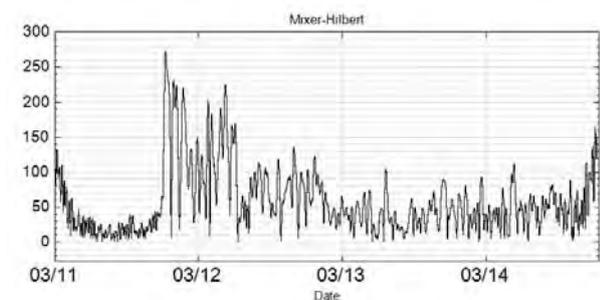


圖 32-3 水位抬升最大高度 3/12 27.4cm

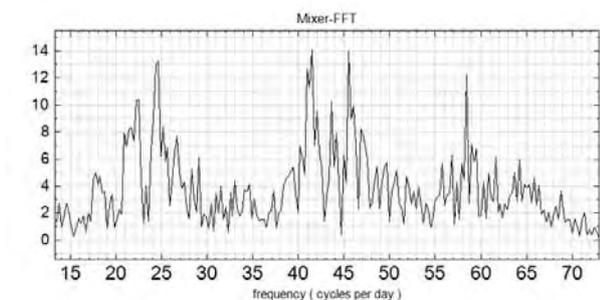


圖 32-4 快速傅立葉轉換 (FFT)

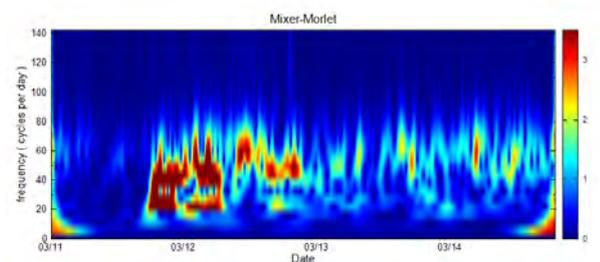


圖 32-5 EnMorlet 時頻圖

## 10.彭佳嶼

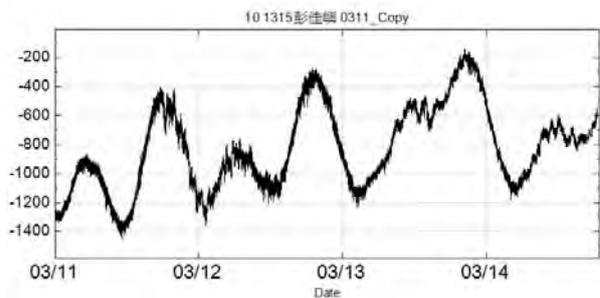


圖 33-1 彭佳嶼潮汐資料

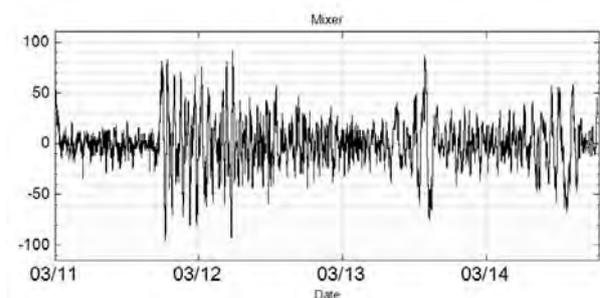


圖 33-2 海嘯波 (濾除天文潮與高頻震盪波)

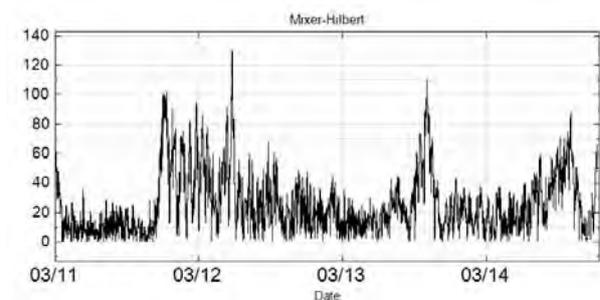


圖 33-3 水位抬升最大高度 3/12 12.9cm

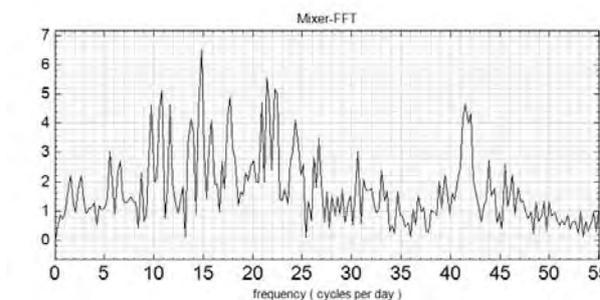


圖 33-4 快速傅立葉轉換 (FFT)

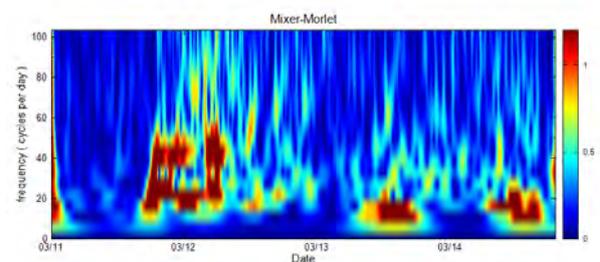


圖 33-5 EnMorlet 時頻圖

(二)、發現：

1.主要頻率與週期

表 3 海嘯波主要頻率與週期

港口	花蓮港	成功港	蘭嶼	後壁湖	小琉球	高雄港	台中港	台北港	基隆港	彭佳嶼
頻率	120	80	300	61	43	39	22	42	25	15
次/天	140	85	25	140	28	23		44	41	23
	60	75		80				46	46	11
		101		55					58	42
週期	12.0min	18.0min	288sec	23.6min	33.5min	36.9min	65.5min	34.3min	57.36min	96.0min
	10.3min	16.9min	57.6min	10.3min	51.4min	62.6min		32.7min	35.1min	62.6min
	24.0min	19.2min		18.0min				31.3min	31.3min	130.9min
		14.3min		26.2min					24.8min	34.4min

2.最大波高

表 4 海嘯波最大波高

港口	花蓮港	成功港	蘭嶼	後壁湖	小琉球	高雄港	台中港	台北港	基隆港	彭佳嶼
最大波高	30.1cm	34.2cm	43.7cm	46.1cm	11.6cm	33.2cm	12.3cm	32.9cm	27.4cm	12.9cm

(三) 說明：

- 1.頻率變化上以蘭嶼主頻集中在300次/天，（圖26-4），換算成週期其只有4.8分鐘，不像海嘯波，另一頻率為25次/天換算成週期為57.6分鐘，但是能量上卻小很多，而除主頻外其他副頻依常態分佈於兩邊，因此據時頻圖上顯示及蘭嶼地理位置考量，其受到本島海嘯反彈波襲擊機率大增。
- 2.花蓮港的主要頻率為120次/天、與140次/天，換算成週期其只有12與10.2分鐘，比其他各港頻率較高，但依圖24-5顯示有一股低頻波在開始波動前方出現（60次/天），也就是低頻波動出現時間較早，是否和倍頻共振有相關的關係，有待後續研究。
- 3.時頻圖顯示出東部各港海嘯波能量持續較久，圖24-5、圖25-5、圖26-5，顯示著海嘯的回波在港內持續震盪3~4天，臺灣西部各港能量回波大約1天以後就快速減弱。

## 陸、討論

一、台灣各測潮所測得的波高依表 4 所記錄只有 10 幾公分~40 幾公分左右，為何未受大規模的破壞？而最大波高卻在後壁湖測到又是什麼原因？

說明：

- (一) 海嘯要堆高波高則由深海到淺海區域深度變化不能太快，而台東外海有很深的海溝（花東海盆），且距岸很近坡度很陡離岸約 30 公里外海水就深達 3000 公尺，這樣的深度變化速度太快並不利海嘯波的堆高理論。另外依（吳，2011）邊緣波理論，其中所述邊緣波在沿著大陸棚邊緣不斷轉彎摩擦消耗能量，就好像穿過不同介質時會有折射或是反射的現象，而如果兩個介質之間像水與空氣之間是快速變化的，那波穿過介面時就會有一部分能量折射穿越也有一部分反射回去，台灣東部的深度變化和這個很類似，因此海嘯來襲造成的危害相對也較小。
- (二) 但是如果水深變化是緩慢漸變的，那波穿越介質時就以折射為主反射比較少，這時波前進的方向會改變，但能量反射較少，危害也就較大。正如高屏外海至南中國海的大斜坡一般，是否造成這次後壁湖的堆升波高最高及高雄港所測波高卻與花蓮港相同的原因，（莊、林、滕，2011）也提到東部海岸及後壁湖海岸所實測到較大海嘯波高，基於海嘯波之大尺度特性，據其推測應與座落在台灣海峽南北側開口之東亞大陸棚架地形阻隔有關，且明顯受陸架邊緣之強烈反射效應所影響，因此而同樣位於南灣附近的核 3 廠，更應該將此種效應考量進去，重新檢討海嘯波的防洪設備系數，記取這次 311 日本海嘯所帶來強大破壞力的教訓。

二、當海嘯波進入港內後是否引發共振情形？

說明：

我們依共振情況最明顯的花蓮港為例，將花蓮港原訊號經 經驗模態分解（EMD）後，提出波動最大的第 4 分量，並將 3 月 12 日 02:00~14:00 這段時間訊號截取出來（圖 34），很明顯看出**建設性干涉及破壞性干涉情形**，依課本所述「假設有兩個頻率一樣、振幅一樣的一維正旋波；如果兩個波的步調完全一致振幅就會加倍，這就叫**完全建設性干涉**；如果兩個波的步調恰好相反，則振動就會相互抵銷，這就叫**完全破壞性干涉**」，因此可見港內一定有兩個頻率相近振幅一樣的波產生，因此我們再將第 4 分量（IMF4）訊號作快速傅立葉分析求出 2 個振幅相當的頻率，各為 118 次/天與 121 次/天（圖 35），也就是週期 732 秒與 714 秒的海嘯波，所以可以說明當海嘯波進入港口後碰到岸壁等障礙物後所產生的回波相互間形成建設性與破壞性干涉情形，至於共振情形，由於港池固有頻率依目前所學還難以求得，期望爾後再深入研究。

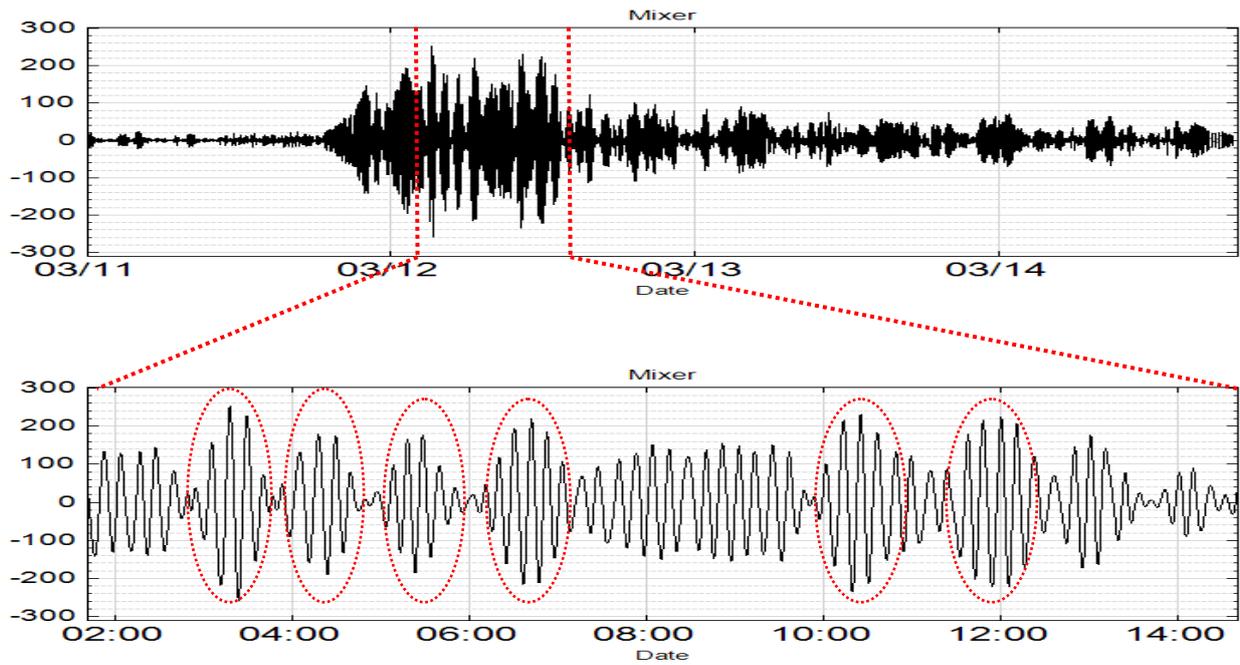


圖 34 02:00~14:00 時間圖

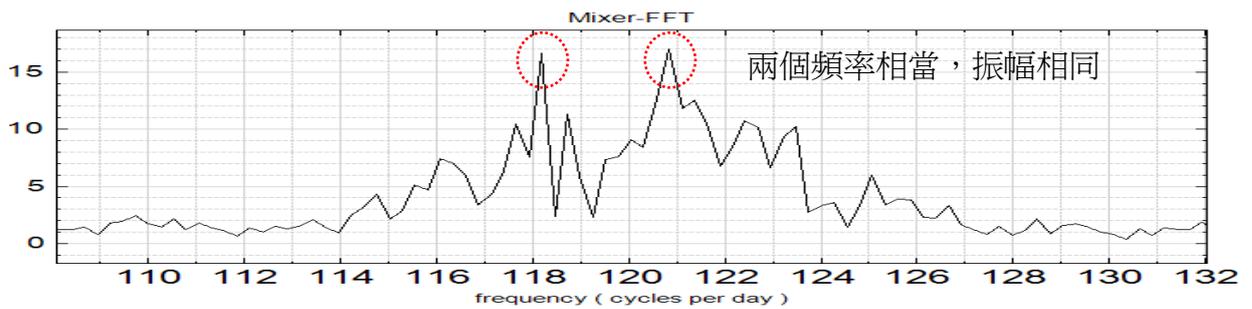


圖 35 快速傅立業轉換頻譜圖

運用分析軟體分解出兩個振幅相同但頻率相當的 2 個頻率（118 次/天與 121 次/天），因此更加驗證花蓮港內存在著海嘯波入港後的形成建設性干涉情況。

## 柒、結論

- 一、在海嘯來臨時與平時 IMF 的能量表比較下，確實證明 HHT 能有效的提出海嘯波。
- 二、由 IMF 分量中明顯看出海嘯波退潮時間及海嘯主波造成水位的起漲點，透過退潮時間到海嘯主波造成水位的起漲點之時間差，可提供政府機關發佈海嘯警戒的時機，及民眾逃生之參考時間。
- 三、311 日本海嘯波來臨前東部測潮站已先測得地震前導波 (P) 波所引發的震盪波，雖然延遲時間約 10~15 分鐘，但比海嘯波到達時間大幅提前，而且應用 HHT 簡單的過濾主天文潮即可得知。
- 四、東部港口測得海嘯波時間比北部時間早，尤其是台東外海緊臨花東海盆，說明海嘯波傳遞速率與海水深度和地形有關。
- 五、計算求得 311 日本海嘯波震盪幅度只有 10~40 公分，週期從 10~60 分鐘不等，符合邊緣波理論效應，但是西南部的的高雄港確有著與花蓮港、成功一樣的水位抬升高度，尤其是後壁湖所測得為最大。
- 六、台中港雖然潮差大，但是海嘯波造成港內波動情形卻不明顯，而東部港口比較明顯抬升。而從時頻圖，可看出東部港口波動能量持續較久，西部港口較短。

## 捌、參考資料及其他

### 一、中文部分

1. 高中基礎物理課本 (一) 全 (2012)。第6章波。龍騰文化事業股份有限公司。
2. 高中基礎地球科學課本(上)(100.3)。海水的運動(88~92頁)全華圖書股份有限公司。
3. 地震百問 (2008) 中央氣象局。
4. 逸奇科技 (2008) Visual Signal 快速使用手冊 v1.2。
5. 葉倍宏 (2006)。MATLAB7程式設計基礎篇。全華科技圖書股份有限公司。
6. 郭一羽、林明儀、曾相茂 (2002)，「花蓮港池震盪現象的探討」，海洋工程學刊第二卷，第一期，第55~71頁。
7. 張憲國、林立青 (2003)，「花蓮港港池振盪之頻率與振幅辨識之模式」，第25屆海洋工程研討會，第103~110頁。
8. 吳祚任 (2011)，「2011日本大海嘯之研究與省思」，土水會刊第三十八卷第二期。
9. 莊文傑、林立青、滕春慈 (2011)「台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。

### 二、英文部分

1. Huang, N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. L., Shih H. H., Zheng Q., Yen N. C., Tung C. C., and Liu H. H., "The Empirical Mode Decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis," *Proceedings of the Royal Society of London A*, Vol. 454, pp. 903-995 (1998).

### 三、網路資源

1. 謝志敏 (2007) 希爾伯特黃轉換簡介(Hilbert Huang Transform)  
<http://www.ancad.com.tw/presentation%20files/VisualSignal/%E4%B8%80%E8%88%AC%E6%80%A7%E4%BB%8B%E7%B4%B9/HHT.pdf>
2. Visual Signal 快速入門 [http://www.ancad.com.tw/pro\\_visual\\_signal\\_02.htm](http://www.ancad.com.tw/pro_visual_signal_02.htm)
3. 謝祥浩 時頻分析與小波轉換 [djj.ee.ntu.edu.tw/Tutorial\\_HHT%20for%20Acoustics.pdf](http://djj.ee.ntu.edu.tw/Tutorial_HHT%20for%20Acoustics.pdf)
4. 海嘯一般現象 <http://geo3w.ncue.edu.tw/bsrapage/geoscience/sea/tsunami1.htm>
5. 國家地震工程研究中心 <http://www.ncree.gov.tw/>
6. 台灣中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>
7. 世界氣象組織 [http://www.wmo.int/pages/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/index_en.html)
8. 日本氣象廳 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
9. 美國國家海洋暨大氣總署 NOAA <http://www.noaa.gov/>
10. 淺談海嘯 (Tsunami) - 國科會高瞻自然科學教學資源平台  
<http://case.ntu.edu.tw/hs/wordpress/?p=4117>

## 【評語】 040502

研究主題是未來台灣必須面對的重大自然災害，也利用日本 311 地震所造成海嘯的現象，探討對台灣海岸地區的影響，可以說是一個很好的案例，非常實用並有意義。研究使用了 HHT 作分析的主要工具，十分獨特，也掌握了海嘯發生的特性，對於高中學生來說，相當不容易，也是非常重要的課題。

1. 分析方式有效分離波動的特性，並明確解析海嘯波動的特徵。

未來除考慮海水性質外，可再針對海嘯波傳遞及海下地形進行討論；或配合地震波觀測紀錄交叉比對。現階段成果以數據分析為主，研究探討及學理對應需再加強。

2. 選題有趣並有科學意義，為對使用的分析方法，以及此題目的整體認識沒有足夠的了解，以致目標不明確。就本研究本身而言，其過程及結果很明確，結論也很清楚但欠缺新成果。