

# 2018 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180004

參展科別 地球與環境科學

作品名稱 台灣西南平原表面波現象探討

得獎獎項 大會獎：三等獎

荷蘭 INESPO 正選代表

就讀學校 國立臺灣師範大學附屬高級中學

指導教師 王靖華、洪逸文

作者姓名 黃瑋程、鄭濬承

關鍵詞 地震、表面波、場址效應

## 作者簡介



我是黃瑋程，來自國立台灣師大附中，平時就對各類學科的知識都很有興趣，尤其是在地球科學方面。此外，我也熱衷於攝影、運動、音樂等課外活動。此次能參加國際科展，發表自己的研究成果並與更多人切磋交流，我感到非常榮幸與開心，畢竟這是我們認真的分析、整理，經過許多的討論後所得到的研究結晶。希望這次的經驗能讓我們有更多精進研究的方向，並且從其他同學的用心研究中增廣見聞。

我是鄭濬承，來自師大附中，喜歡接觸在日常生活中可見的科學。除了地球科學以外，我也同時對生物很有興趣，常常郊外學習生物知識。這次很高興可以參加國際科展，認識來自台灣各地的同學，希望也能和大家分享我們專研的所學。

## 摘要

台灣西南平原的測站紀錄中時常會出現明顯的短周期表面波，此類型表面波常常是因為震波在沖積層共振而產生。本研究利用表面波的低頻、長持續時間的特徵，量化分析 2016 年美濃地震、2010 年甲仙地震與 2012 年霧台地震中發育的短週期表面波，並與相關圖資套疊，找出與場址特性的關聯。

本研究分析後發現，此三地震皆在西南平原發育出表面波，又以台南七股地區發育得最完整，討論後認為這與此區的地質構造與沖積層厚度有關。量化分析中，時頻圖與頻譜得到的主頻由東到西遞減，與表面波發育情形有近似的分布，持續時間則不明顯，但持續時間的分析因為測站資料不足而有困難，這部分仍待解決。而套疊圖資的結果中，沖積層等深線圖較能符合量化分析的趨勢，土壤液化潛勢圖則否，經確認後發現這與牽涉表面波的地層深度有關。根據本次研究強地動的結果，是能運用在快速掃描沉積地層，較各站鑽探快速且普及。

## Abstract

The short-period surface wave may excited by the alluvial layer and the path. Due to sedimentary environments of Taiwan's southwestern plain, there usually have strong site effect when an earthquake strikes. Our research analyzes TSMIP data of Meinong earthquake(2016), Jiashian earthquake(2010) and Wutai earthquake (2012) to find the dominate resonance frequency and duration time of short-period surface wave. Then, comparing these analyzing results with alluvial contours map and soil liquefaction map to find the relations.

The results are as follows: First, the short-period surface waves really developed at sedimentary plain area in these three earthquakes, especially in Cigu area, Tainan, we consider that thick alluvial layer in Cigu area is the main factor for the strong surface wave. Second, the dominate resonance frequency of spectrogram and spectrum decreased from east to west, as the distribution of surface wave, but the duration times were not; therefore, our seismic data miss some surface waves, and cause our difficulties while analyzing duration time. Last, the distribution of frequencies and duration times were just relative to part of the alluvial contours map, after discussion, we discover that the reason is because of the depth of layer which influence development of the short-period surface wave. Our results can apply on a quick investigation of the alluvial layer by earthquakes, and it's easier than geological drilling on each stations.

## 壹、研究動機

2016年2月6號，台灣南部發生了規模6.6的美濃地震，此次地震震央雖然位於美濃，卻在台南地區產生最大震度，也在台南發生維冠大樓倒塌與多處土壤液化的災情。在中央氣象局的幾個測站震波圖中，可以發現在特定的幾個測站的Z軸向紀錄中，主要震波過後會有一串的低頻波，而且以沿海一帶最為明顯。這個現象引起了我們的好奇心：到底這些低頻波代表著什麼意義，又與哪些因素相關呢？

## 貳、研究目的

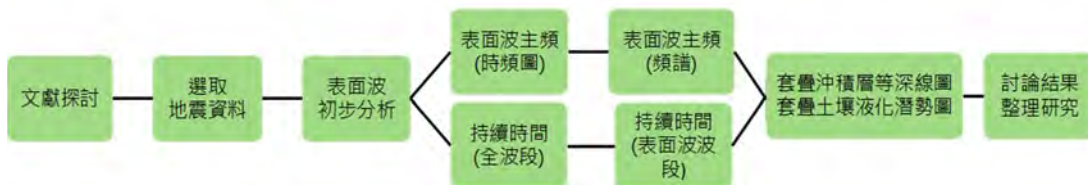
- 一、探討在台灣西南平原發育的表面波之特質及分布。
- 二、量化分析此區域表面波的主頻與持續時間，得以具體探討其特質。
- 三、將前述分析結果套疊相關圖資以找出與上述二資料的相關性。

## 參、研究設備及器材

- 一、電腦
- 二、地震資料：來自中央氣象局的強地動觀測網(TSMIP)
- 三、分析軟體：Seisgram2k、SAC、GMT、Excel、Photoshop(套疊用)

## 肆、研究方法或過程

本研究的流程大致如下圖所示：



圖一、研究流程圖

### 一、文獻整理

#### (一)短週期表面波簡述

地震波傳遞至沖積層時，部分會因為地層特性發生全反射而陷在地層中前進，當這些波互相干涉共振、形成波包，即是所謂的表面波。表面波的發育由路徑與場址效應共同影響。

一般長週期地震儀記錄的表面波，週期在10秒以上；但本研究探討的表面波週期並未大於10秒，屬於短週期表面波，可被一般的強地動地震儀紀錄。在震源深度淺的地震中容易出現短週期表面波，尤其是沖積層厚的地區。

表面波可分為徑向垂直向後滾動的雷利波(Rayleigh wave)，與切向水平運動的洛夫波(Love wave)。雷利波的波速比洛夫波慢。本研究探討的表面波，因為低頻特徵都在垂直向的地震紀錄上，可以初步推定是雷利波。

頻散是表面波的重要特徵之一，一個表面波包中有許多不同頻率的波，較低頻的表面波速度較快，在震波圖上就會產生表面波由低頻至高頻排列的現象。

## (二)研究地震資料簡述

美濃地震發生於2016年2月6日，震源位於(120.54°E, 22.92°N)下方14.6公里處，芮氏規模6.6。此次地震造成維冠大樓倒塌及多處土壤液化的災情。經推估，此斷層為一東西走向、帶平移分量的逆斷層，可能為尚未被發現的盲斷層。另外也有學者推測美濃地震是雙主震，第一主震先在美濃發生，產生的應力在4秒後觸發台南的第二主震。

甲仙地震發生於2010年3月4日，震源位於(120.71°E, 22.97°N)下方22.6公里處，芮氏規模6.4。此次地震在南台灣發生建築物受損、土壤液化及高鐵出軌等多起災情。引發甲仙地震的斷層亦為一東西走向、帶平移分量的逆斷層，可能為尚未被發現的盲斷層。有研究指出因為淺層速度構造差異，甲仙地震的震波沿著曾文溪發育較強的表面波，造成一列高鐵在緊急煞車時脫軌。

霧台地震發生於2012年2月26日，震源位於(120.75°E, 22.75°N)下方26.3公里處，芮氏規模6.4。此次地震災情較前二地震小，僅部分停電、坍方災情。引發霧台地震的斷層亦為一東西走向、帶平移分量的逆斷層，可能為尚未被發現的盲斷層。

## 二、選取地震資料

我們採用一開始發現表面波特徵的美濃地震，以及震央、規模相近的甲仙地震、霧台地震，在中央氣象局強地動觀測網(TSMIP)中雲嘉南三區(CHY)的加速度地震紀錄進行研究分析。而由於一開始看到表面波的特徵皆在上下向的紀錄上，因此後面的分析都以Z軸(上下向)的波形紀錄為對象。

### 三、初步分析

- (一)以濾波、觀察等方式判斷各測站有無出現表面波。
- (二)因為表面波受路徑和場址效應共同影響，我們可由震央畫出數條輻射線，選取距離線 5 公里以內的測站，觀察表面波在不同路徑的生成狀況。我們在三地震中各標出經台南平原、經雲林平原跟沿西部麓山帶北上三條線比較。
- (三)另外，我們發現震波波形無法完整觀察表面波特質，所以後來也排列各測站震波的時頻圖(介紹見下頁圖一)進行觀察分析。
- (四)而為了更清楚的了解表面波發育的特質，我們也試著繪出各測站表面波的走時曲線分布，進而探討更進一步的特質。而製作表面波走時曲線的過程中，我們發現 TSMIP 的測站資料沒有標記絕對時間，只好使用距離對上 P 波與表面波到時差作圖。

### 四、表面波主頻分析

表面波最明顯的特徵就是低頻的波包，因此可以藉由分析尾段的主要頻率來分析表面波的有無。在研究中，我們使用地震專門分析程式 Seisgram2k 來分析表面波的主頻：

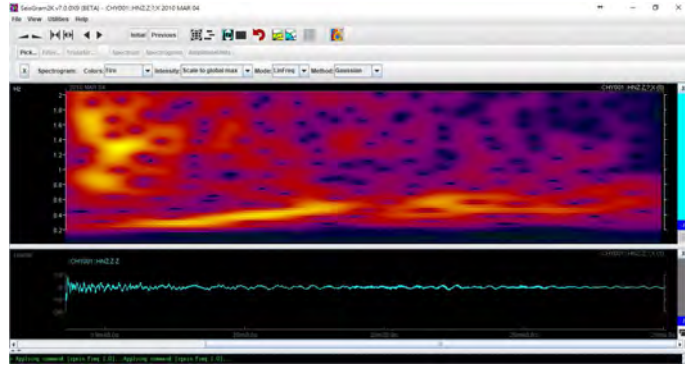
#### (一)時頻圖(Spectrogram)分析：

1. 取震波中震幅衰減至最大值一半後的時窗作為表面波時窗。
2. 進入時頻圖分析，它可以用顏色表示每個時間點各個頻率的強度，如下圖二。
3. 分析時將 Y 軸拉到 2Hz 以下的部分觀看以方便辨識。其中較強(顯示紅色)又最低的區塊，即是此時窗的表面波主頻。

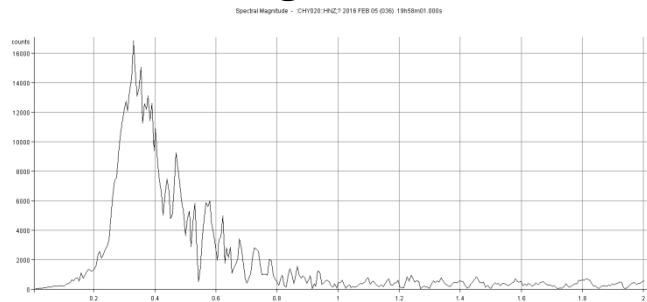
#### (二)頻譜(Spectrum)分析：

使用時頻圖分析後，我們想知道表面波更精確的主頻，因此使用頻譜分析。

1. 因為我們發現前面的選取時窗方式無法完整的選到表面波，所以改為只取有表面波出現測站的表面波時窗作分析。
2. 進入頻譜分析，它可以分析時窗內各頻率的強度，較時頻圖能更精確地呈現頻率數值，如下圖三。
3. 選取頻譜中最大強度的頻率作為表面波主頻。



圖二、Seisgram2k 時頻圖範例



圖三、Seisgram2k 頻譜圖範例

## 五、持續時間分析

而除了低頻特質外，表面波也會拉長整體地震的時間，於是我們使用前人的研究方法來分析地震的持續時間長短：

### (一)全波段：

1. 設定第一個及最後一個達到門檻震幅  $5\text{gal}(\text{cm}/\text{s}^2)$  的時間之間為第一個時窗，目的是為了去除震波中的背景雜訊。
2. 對於第一段時窗內的震幅平方後積分(如下式一)，就可以得到這段時間的總能量。不過為了方便操作，我們將時窗內每 0.05 秒的振幅值平方後加總，可達到相近的效果。
3. 最後找出累積能量佔總能量比在 5%~95%之間的時窗，時窗長度即視為地震有效的持續時間。

### (二)表面波波段：

分析全波段的時間後，我們發現此做法會計入 P、S 波的影響，而且有些表面波的震幅小於  $5\text{gal}$ ，無法計入持續時間中。所以我們用表面波時窗再進行一次分析，並將門檻震幅降至  $1\text{gal}(\text{cm}/\text{s}^2)$ 。

$$I_E = \int_{t_1}^{t_2} a^2(t) dt$$

式一、能量的表示公式

## 六、套疊圖資分析

### (一)使用圖資：

1. 沖積層等深線圖(Z0.6/Z1.0)：沖積層是短週期表面波形成的重要因素，而 Z0.6/Z1.0 代表 S 波波速到達 0.6/1.0 (km/s) 所需要的深度，因沖積層的震波速度較慢，Z0.6/Z1.0 的值就會較大，可代表沖積層厚度。
2. 土壤液化潛勢圖：由下面的土壤液化潛能公式，可得其與最大震幅平方成正比，共振主頻成反比，與表面波現象相符。

### (二)套疊方式：

除了最簡單的將量化分析的散布圖疊在目標圖資上，我們也將散布資料繪製成等值線圖比對，使確認相關性時能更加客觀。

$$K_g = \frac{A_g^2}{F_g}$$



#### 式二、土壤液化潛能公式

(Kg 為土壤液化潛能，愈高表示

愈容易發生土壤液化、Ag 為地

震波放大倍率、Fg 為共振主頻) (來源：中央地質調查所)

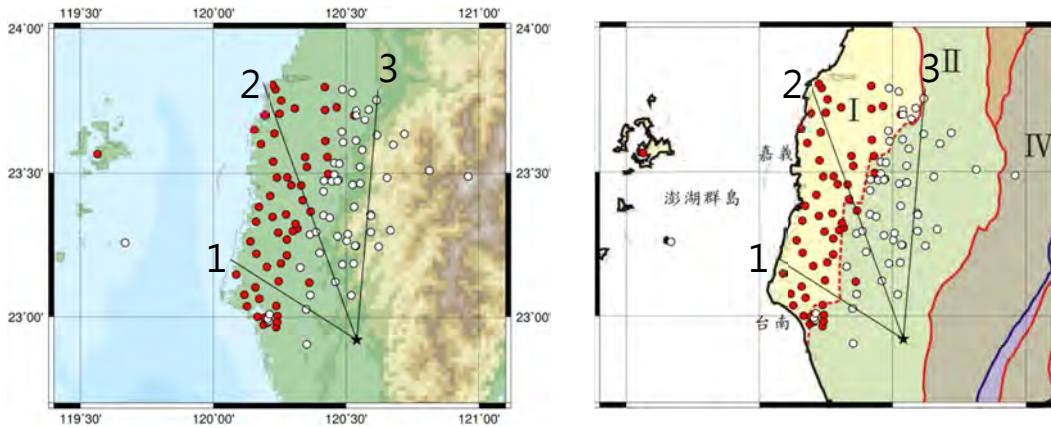
圖四、土壤液化潛勢圖

## 伍、研究結果與討論

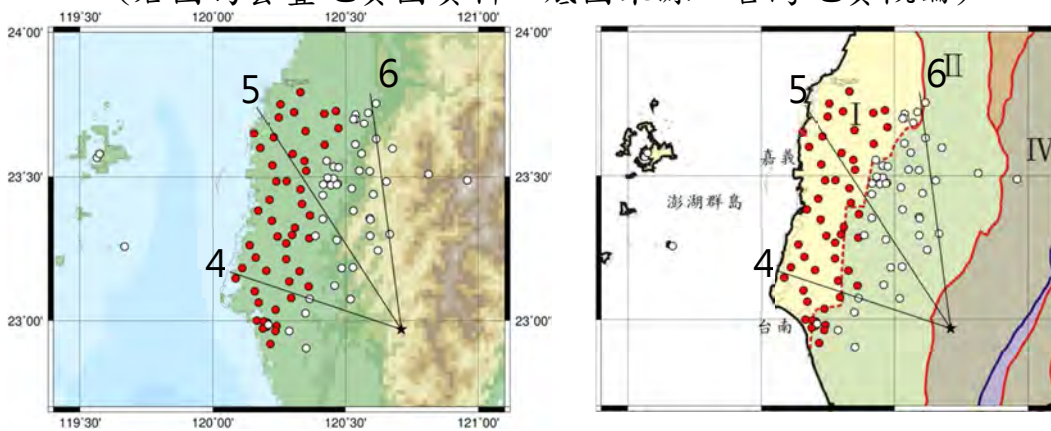
### 一、初步分析

- (一)在表面波有無的分布圖中，我們發現有表面波的測站(紅色)多出現在平原地區。將分布圖套疊在地質圖上後，也發現有表面波出現的測站大致符合圖中的「海岸平原地質區」。
- (二)排列輻射線周邊的測站波形之後，可以發現經過平原的輻射線都有發育出表面波，其中又以台南七股地區最明顯，經過山區的輻射線則沒有表面波生成。
- (三)而在測站時頻圖的排列中，可以清楚看見有發育出表面波的線段，在進入平原後時頻圖開始出現尾端低頻，且逐漸向後移的表面波現象，代表表面波的速度比 P、S 波慢。另外，時頻圖中的表面波頻率隨時間由低到高，即為表面波的頻散現象。
- (四)三地震的表面波走時分布圖都顯現類似的走向趨勢，另外，經台南平原的表面波走時，回歸直線之斜率(約 0.4)低於經雲林平原(約 0.7)的斜率，可以發現經台南的表面波波速較快。
- (五)經過討論及查詢文獻，我們推測因為七股地區的沖積層較厚(可見圖四十)，加上台南特殊的地層構造，表面波發育較明顯。

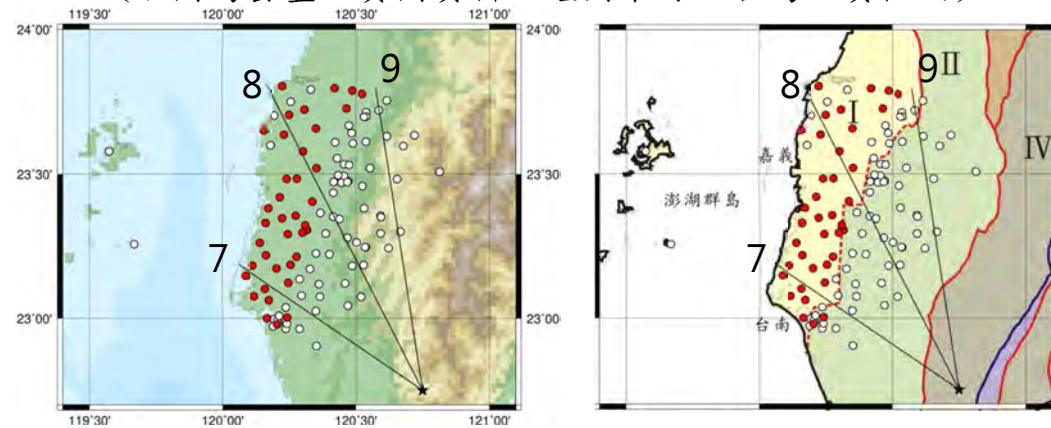




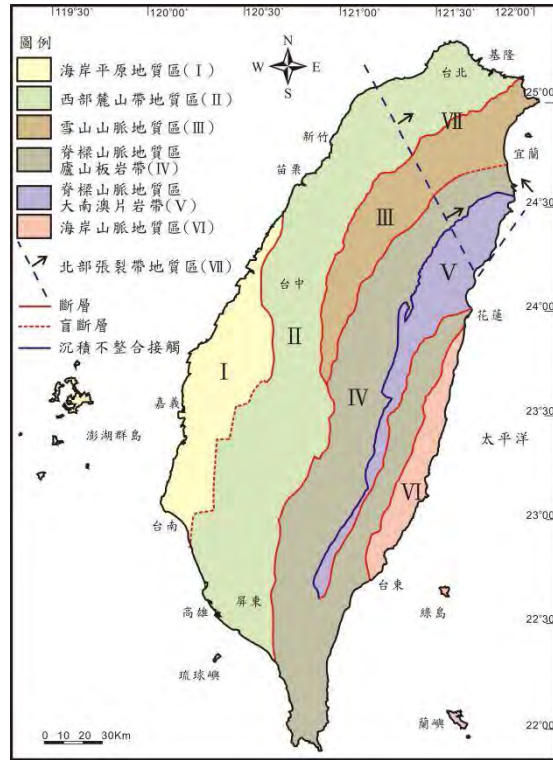
圖五、美濃地震表面波有無測站與輻射線分布圖  
 (右圖為套疊地質圖資料，底圖來源：台灣地質概論)



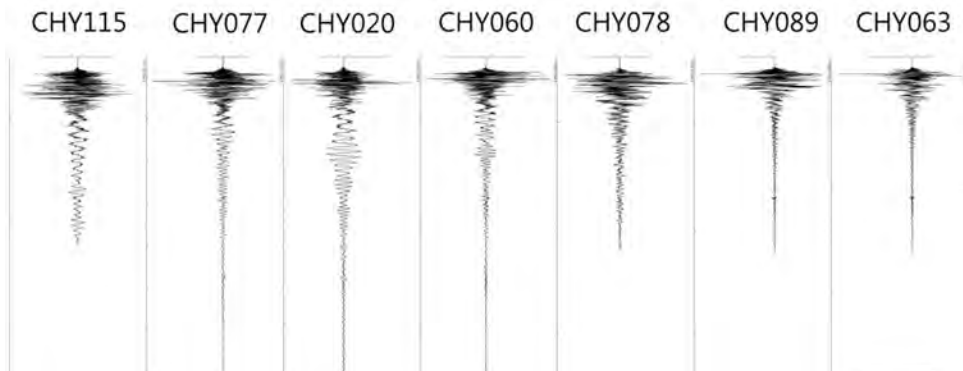
圖六、甲仙地震表面波有無測站與輻射線分布圖  
 (右圖為套疊地質圖資料，底圖來源：台灣地質概論)



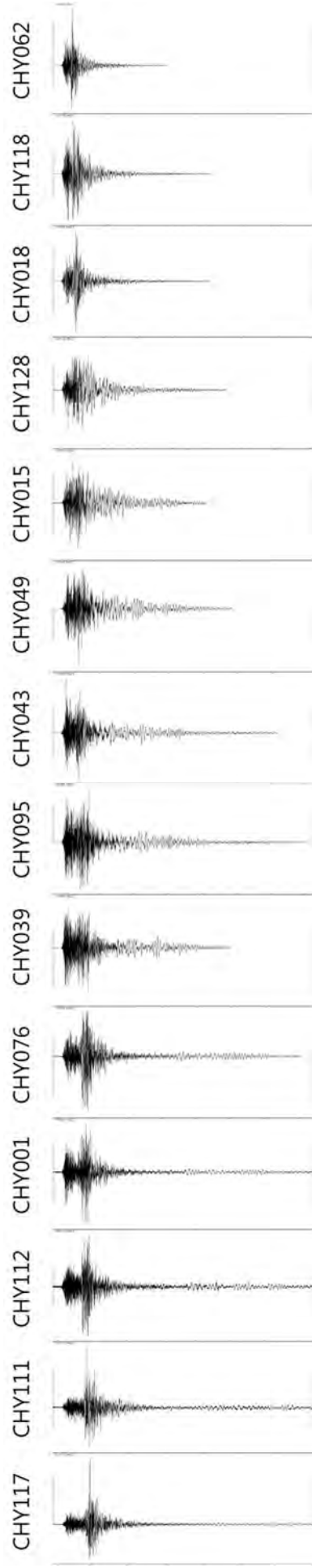
圖七、霧台地震表面波有無測站與輻射線分布圖  
 (右圖為套疊地質圖資料，底圖來源：台灣地質概論)



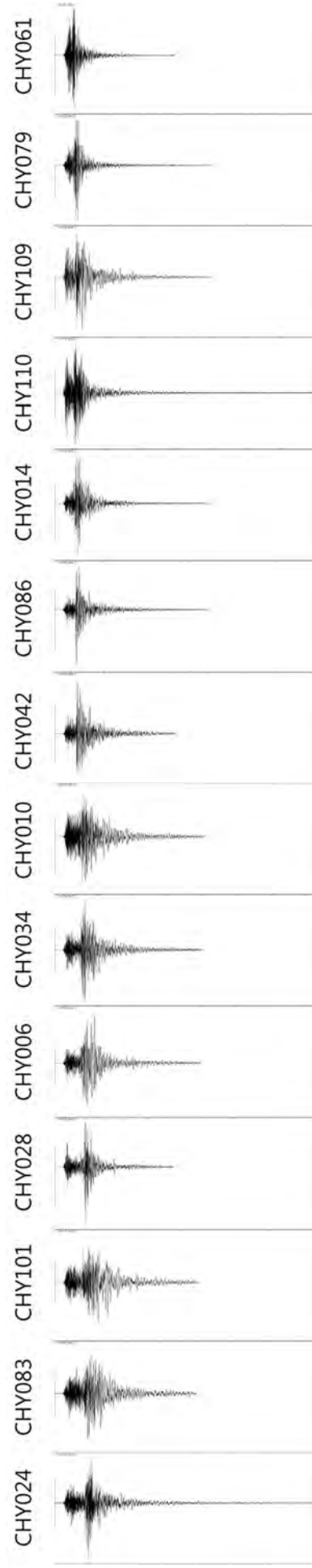
圖八、台灣地質圖(來源：台灣地質概論)



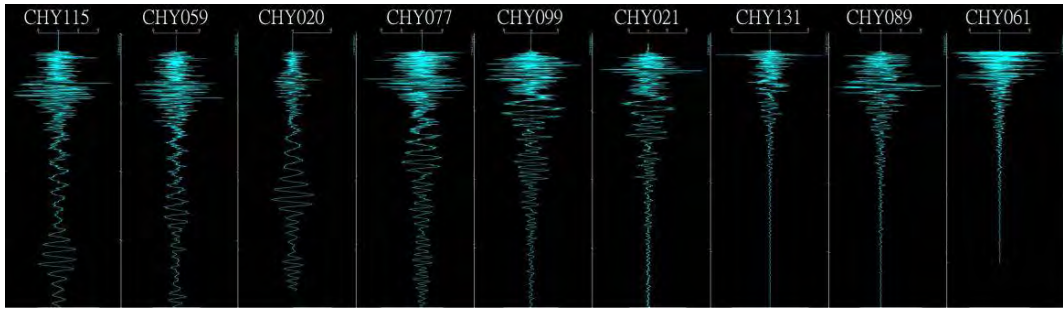
圖九、1 號線(美濃地震)測站排列



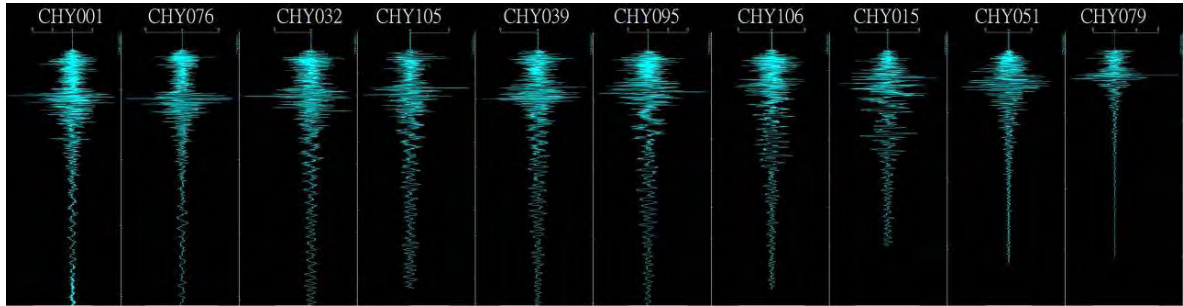
圖十、2 號線(美濃地震)測站排列



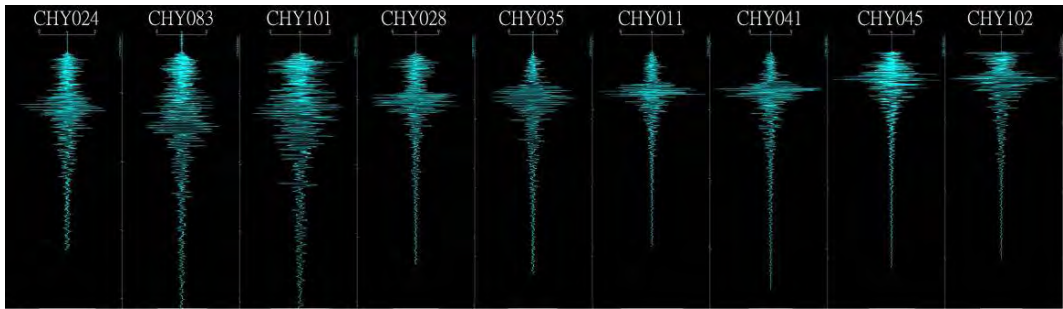
圖十一、3 號線(美濃地震)測站排列



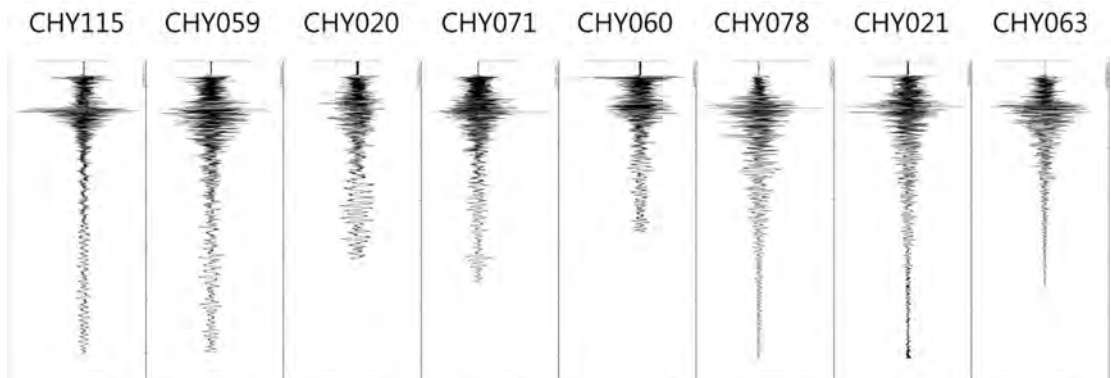
圖十二、4 號線(甲仙地震)測站排列



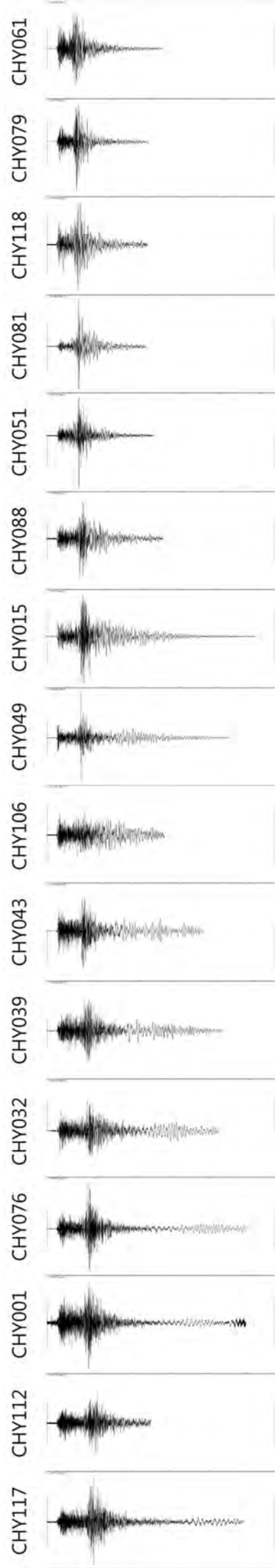
圖十三、5 號線(甲仙地震)測站排列



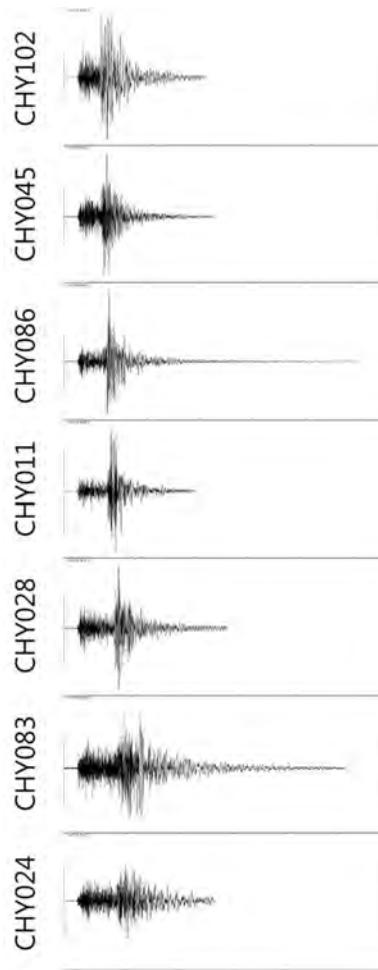
圖十四、6 號線(甲仙地震)測站排列



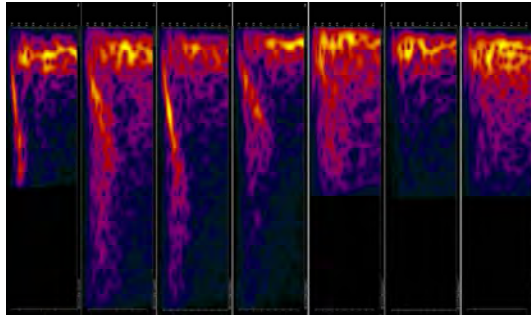
圖十五、7 號線(霧台地震)測站排列



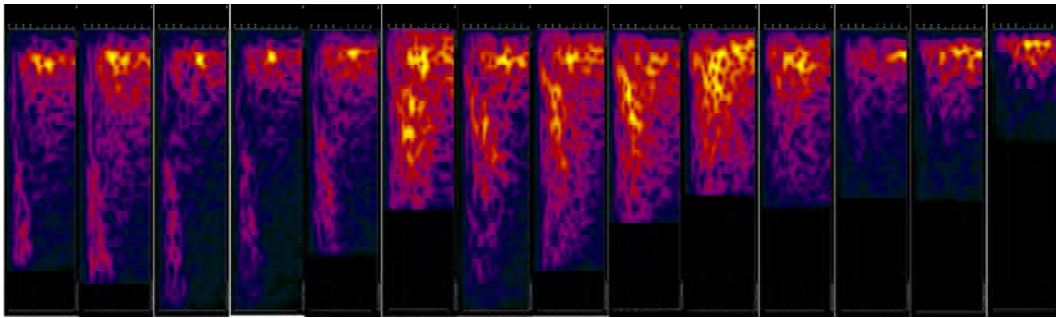
圖十六、8 號線(霧台地震)測站排列



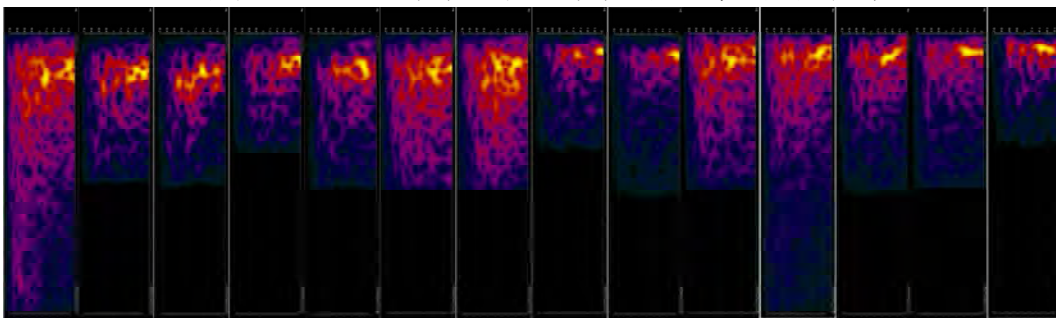
圖十七、9 號線(霧台地震)測站排列



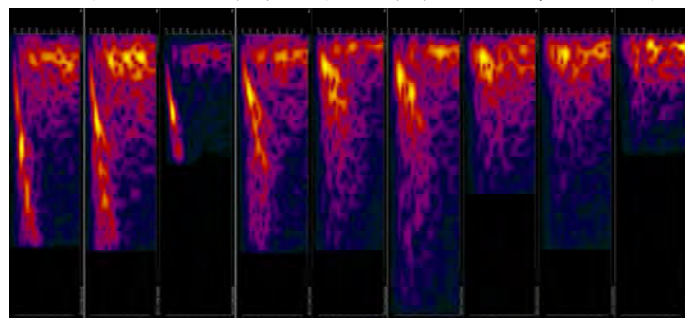
圖十八、1 號線(美濃地震)測站時頻圖排列



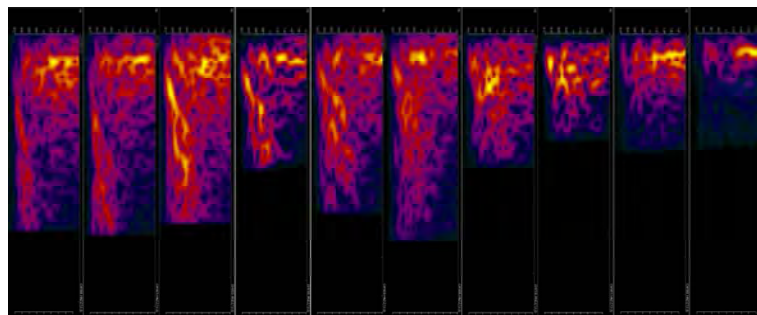
圖十九、2 號線(美濃地震)測站時頻圖排列



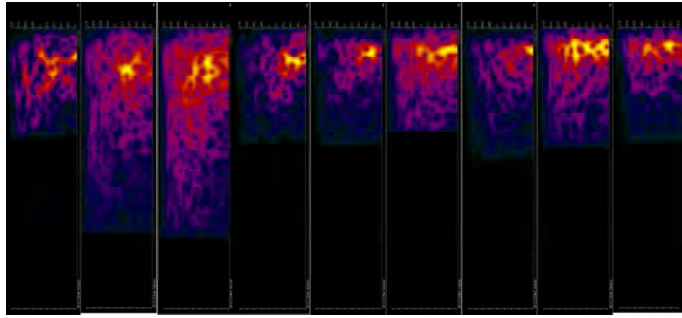
圖二十、3 號線(美濃地震)測站時頻圖排列



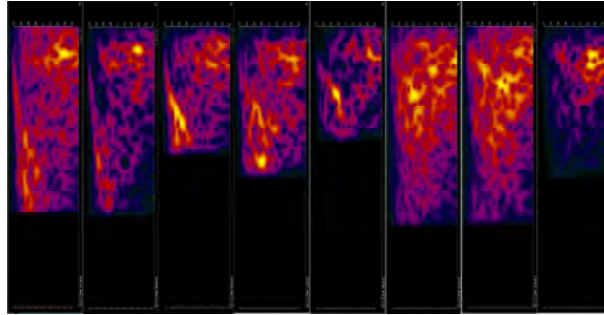
圖二十一、4 號線(甲仙地震)測站時頻圖排列



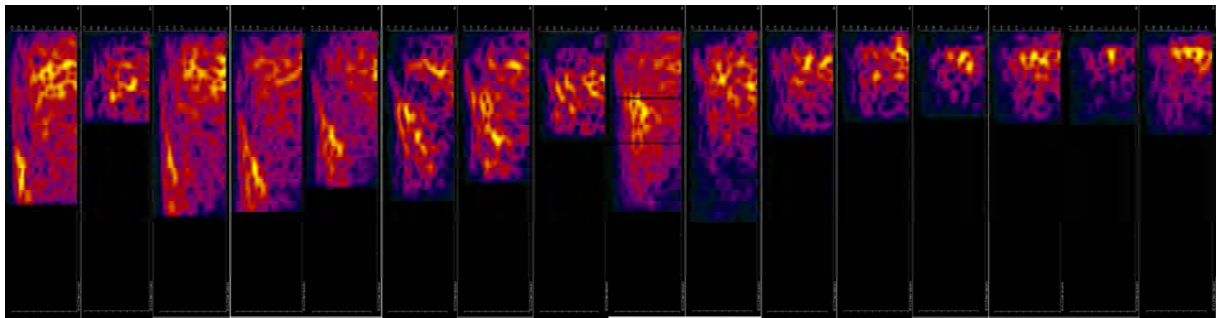
圖二十二、5 號線(甲仙地震)測站時頻圖排列



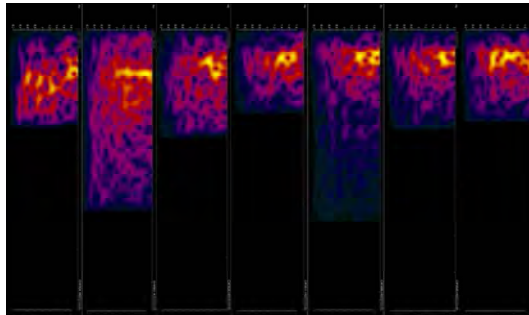
圖二十三、6 號線(甲仙地震)測站時頻圖排列



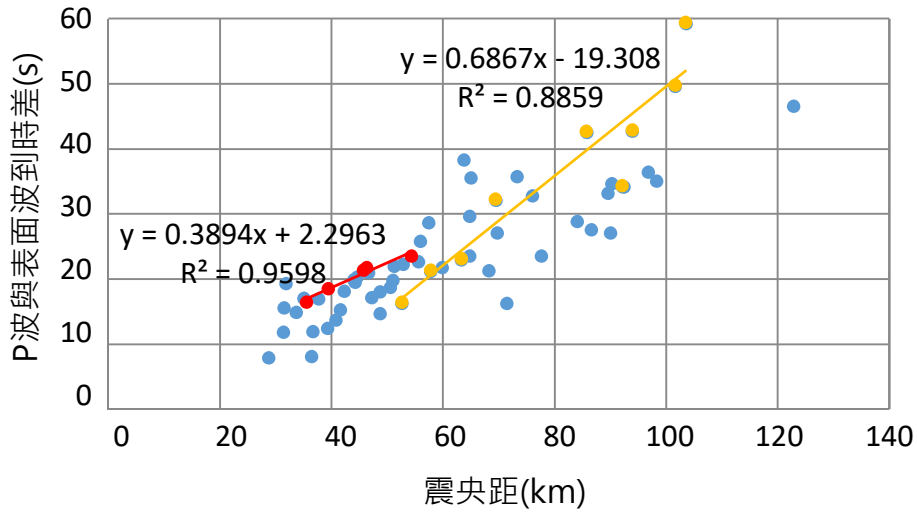
圖二十四、7 號線(霧台地震)測站時頻圖排列



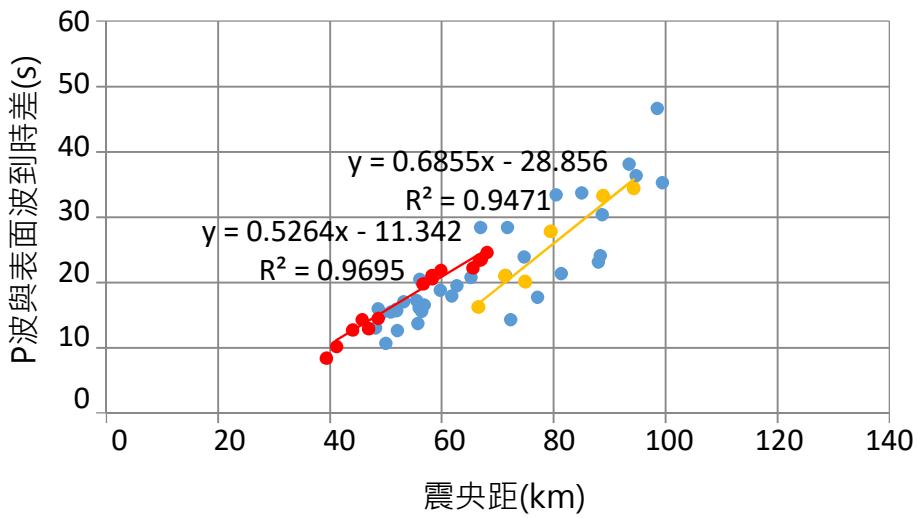
圖二十五、8 號線(霧台地震)測站時頻圖排列



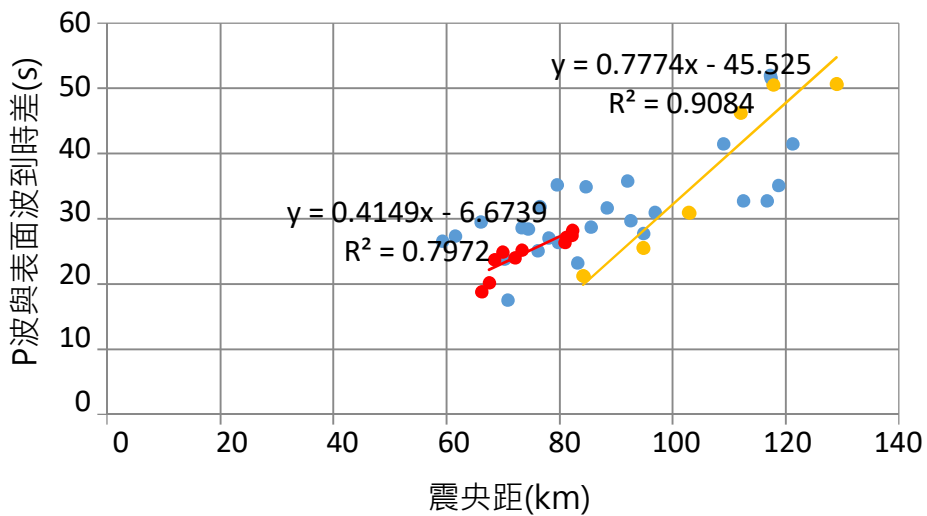
圖二十六、9 號線(霧台地震)測站時頻圖排列



圖二十七、美濃地震表面波走時曲線圖(紅色：1 號線、黃色：2 號線)



圖二十八、甲仙地震表面波走時曲線圖(紅色：4 號線、黃色：5 號線)



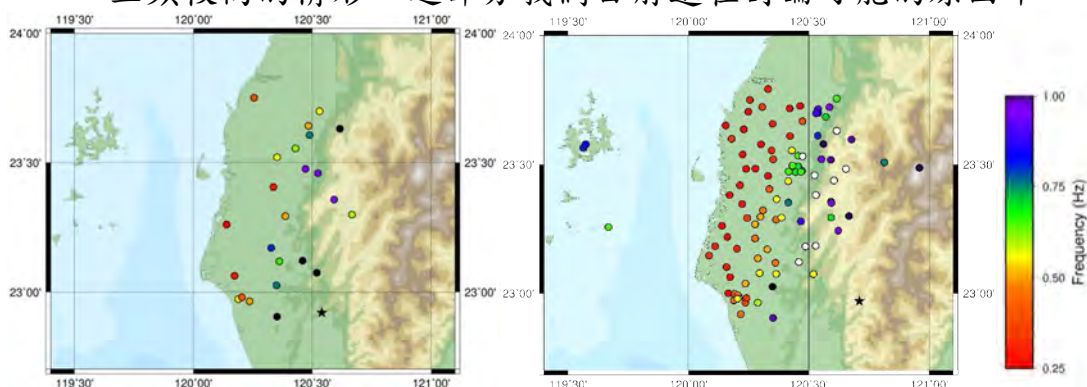
圖二十九、霧台地震表面波走時曲線圖(紅色：7 號線、黃色：8 號線)



## 二、表面波主頻分析

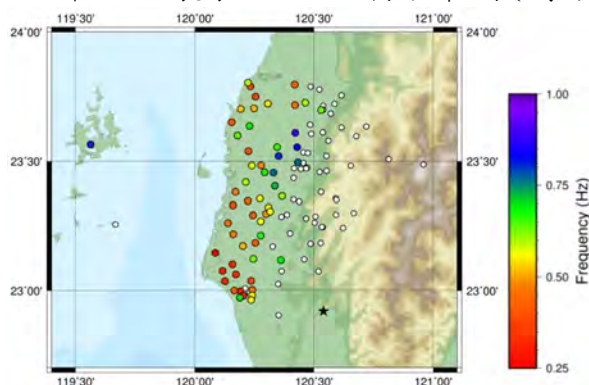
(一)使用時頻圖分析的結果裡，三地震中低主頻的測站都集中在平原地區，並且與表面波出現有無的分布相同，表面波主頻大致落在 0.25~0.5Hz 之間。

(二)使用頻譜分析的結果也大致有主頻由內陸向外遞減的趨勢，表面波主頻大致落在 0.2~0.8Hz 之間，不過在部分地區有表面波主頻較高的情形，這部分我們目前還在討論可能的原因中。



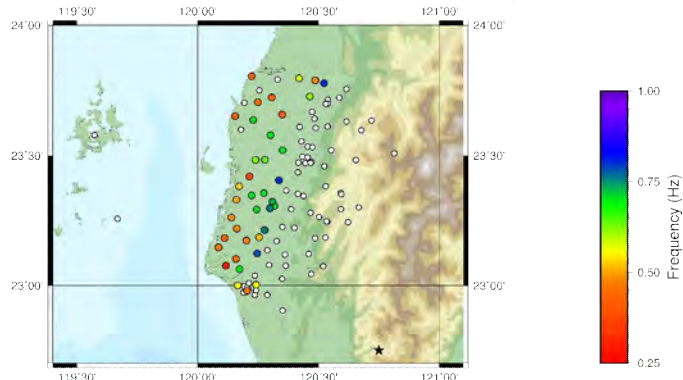
圖三十、美濃地震表面波主頻分布圖(時頻圖)(左)

圖三十一、甲仙地震表面波主頻分布圖(時頻圖)(右)



圖三十二、美濃地震表面波主頻分布圖(頻譜)(左)

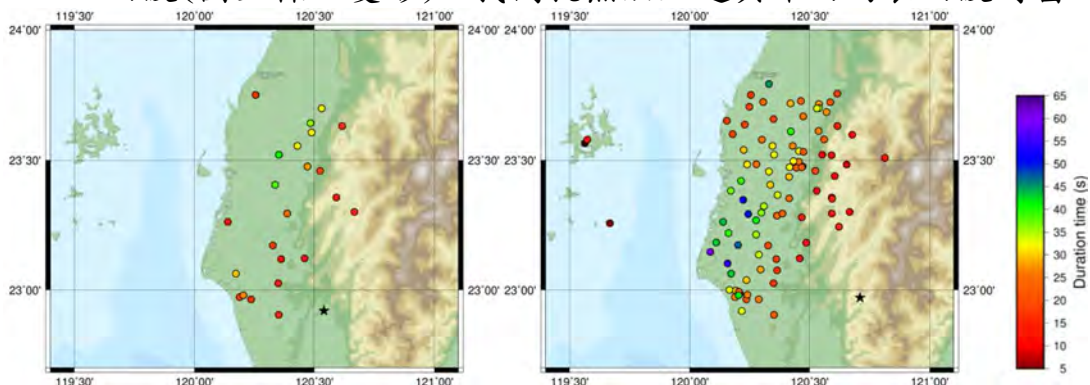
圖三十三、甲仙地震表面波主頻分布圖(頻譜)(右)



圖三十四、霧台地震表面波主頻分布圖(頻譜)

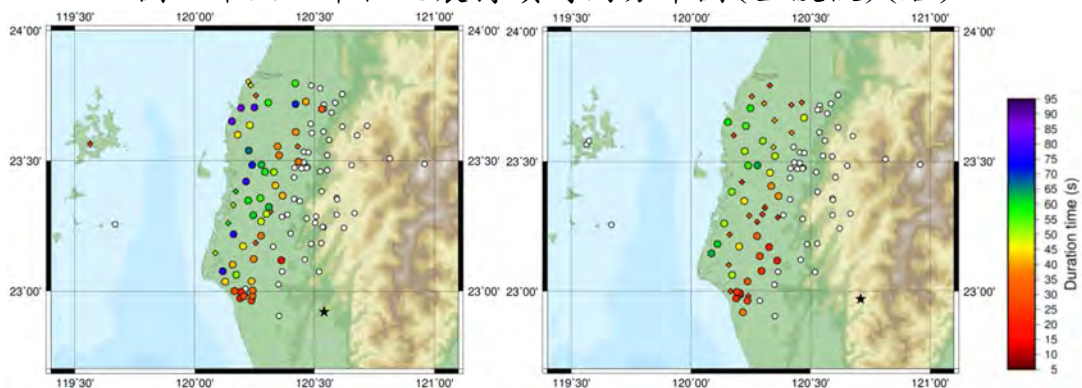
## 三、持續時間分析

- (一)全波段的分析結果與預期不同，僅台南地區有稍長的持續時間，最長約落在 65 秒左右。我們檢討問題後，發現因為 5gal 的震幅門檻只能篩出台南地區的表面波，其餘的都被忽略掉，所以才會有此結果。此外，體波計入持續時間也會使分析不準確。
- (二)表面波波段的分析結果中，持續時間約在 20~95 秒間，大多沿海測站有較長的數據，但還是與表面波的分布有差距。而且因為 TSMIP 的地震紀錄並不完整，有些測站只記錄到一部分的表面波(圖上標註菱形)，我們就無法知道其確切的表面波時窗。



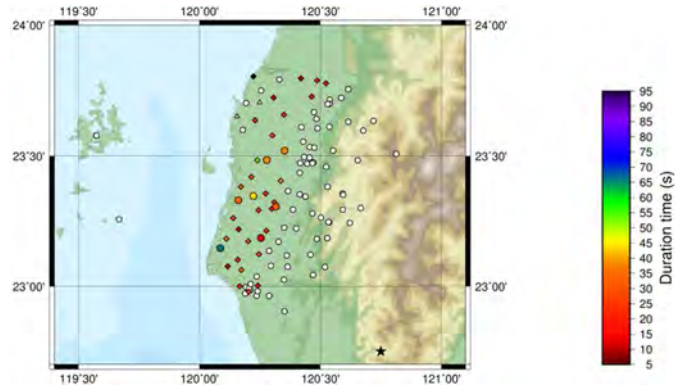
圖三十五、美濃地震持續時間分布圖(全波段)(左)

圖三十六、甲仙地震持續時間分布圖(全波段)(右)



圖三十七、美濃地震持續時間分布圖(表面波波段)(左)

圖三十八、甲仙地震持續時間分布圖(表面波波段)(右)



圖三十九、霧台地震持續時間分布圖(表面波波段)

#### 四、套疊圖資分析

(一)沖積層等深線圖(Z0.6/Z1.0)：

1. 頻譜的主頻結果與 Z0.6 在台南地區有相近的分布，但在雲嘉地區的相關較低，僅霧台地震有稍微相似的分布。
2. 頻譜的主頻結果與 Z1.0 都有由內陸往海遞減/遞增的趨勢，但兩者仍有差距，從散布圖與等值線圖都看到許多相異處。
3. 表面波持續時間結果與 Z0.6 僅少部分相關。
4. 美濃與甲仙地震的表面波持續時間與 Z1.0 在濱海地區有類似的趨勢，但細部差距還是很大。
5. 因扣除表面波不完整測站後的持續時間資料較不齊全，所以持續時間與圖資的相關性仍待進一步探討。

(二)土壤液化潛勢圖：

1. 地質調查所公布的土壤液化潛勢圖，分成低(綠色)、中(黃色)、高(紅色)潛勢三類，其中中高潛勢的分布與表面波生成測站已有一些差距。
2. 而我們將甲仙地震的表面波主頻和持續時間與土壤液化潛勢圖比較時，發現兩資料與潛勢圖的相關性皆不高，有許多不吻合的地方，使用等值線圖比較時亦然。

(三)套疊討論：

針對套疊的分析結果，我們討論並查詢文獻後，發現牽涉地震波的地層深度範圍可以用一公式表示(見下式)。代入量化分析得到的表面波主頻範圍 0.2~0.8Hz 及「強震測站場址工程地質資料庫」提供的研究範圍地層速度 100~400m/s，就可以得到地層深度範圍落在 31~500 公尺間，亦即研究範圍內 31~500 公尺中的地層，大致影響著表面波的生成。

而我們用來套疊的圖資，牽涉範圍如下：

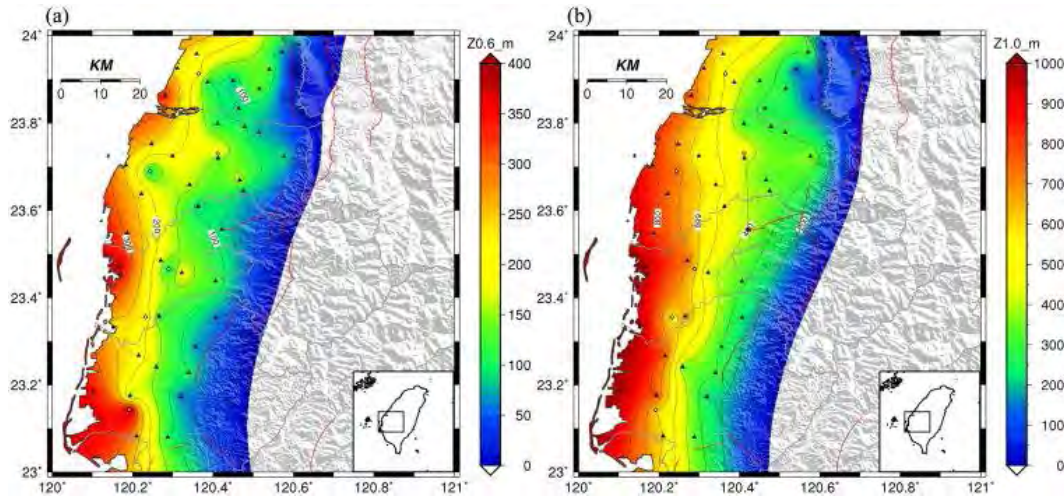
1. 沖積層厚度—Z0.6：200~400 公尺
2. 沖積層厚度—Z1.0：400~1000 公尺
3. 土壤液化：20 公尺以內

可以發現，Z0.6 與 Z1.0 都有部分包含到牽涉地震波的地層深度範圍，土壤液化則無。這也部分印證了我們觀察到的現象。

$$f = V_s / 4H$$

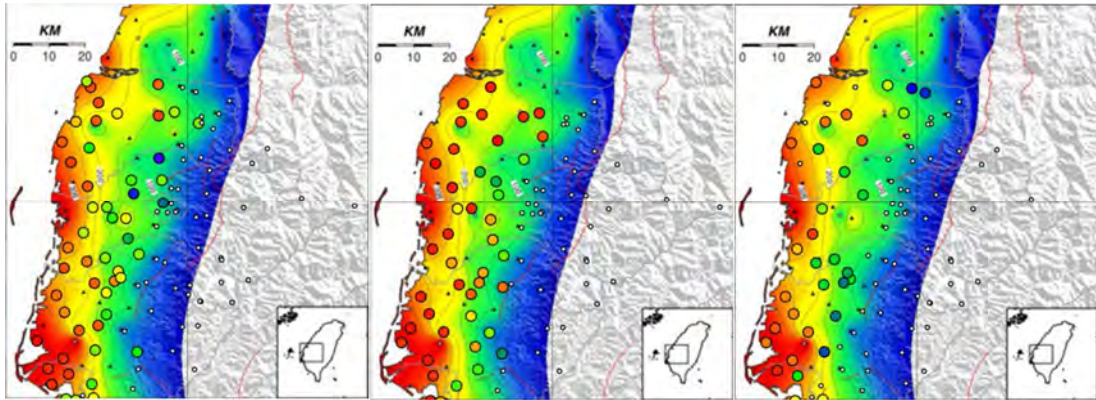
式三、牽涉地震波的地層深度公式

(f 為震波頻率、Vs 為地層 S 波波速、H 為影響深度)



圖四十、Z0.6、Z1.0 圖資

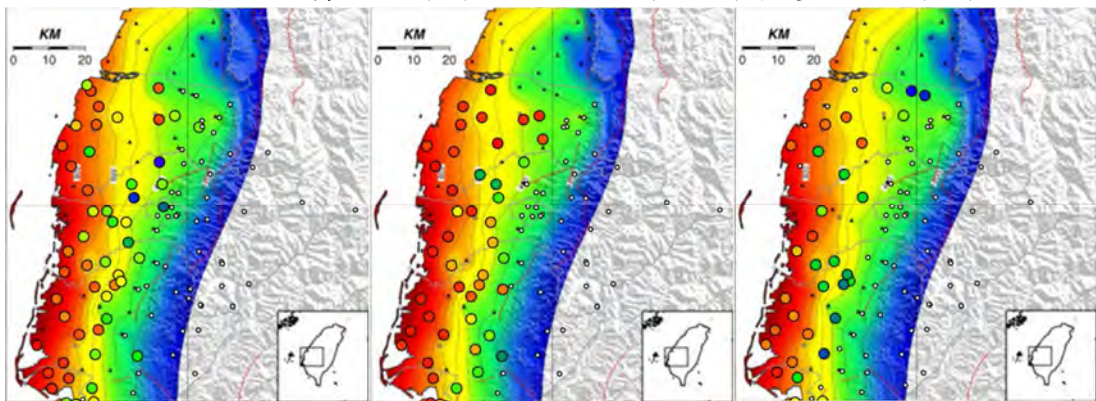
(來源：S-wave velocity structure and site effect parameters derived from microtremor arrays in the Western Plain of Taiwan.)



圖四十一、美濃地震表面波主頻(頻譜)套疊 Z0.6(左)

圖四十二、甲仙地震表面波主頻(頻譜)套疊 Z0.6(中)

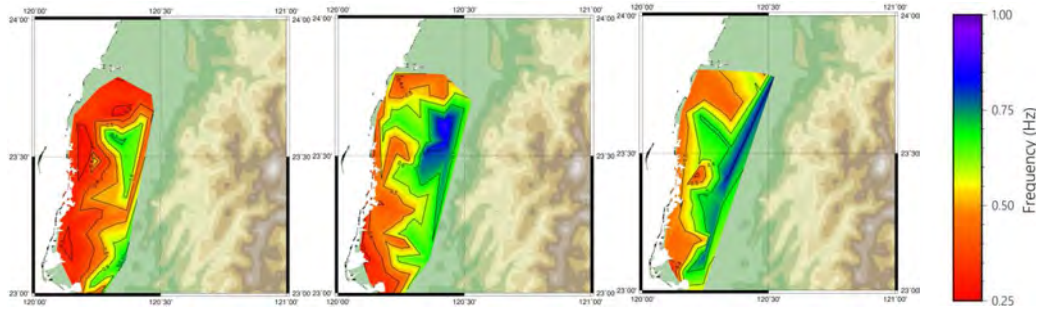
圖四十三、霧台地震表面波主頻(頻譜)套疊 Z0.6(右)



圖四十四、美濃地震表面波主頻(頻譜)套疊 Z1.0(左)

圖四十五、甲仙地震表面波主頻(頻譜)套疊 Z1.0(中)

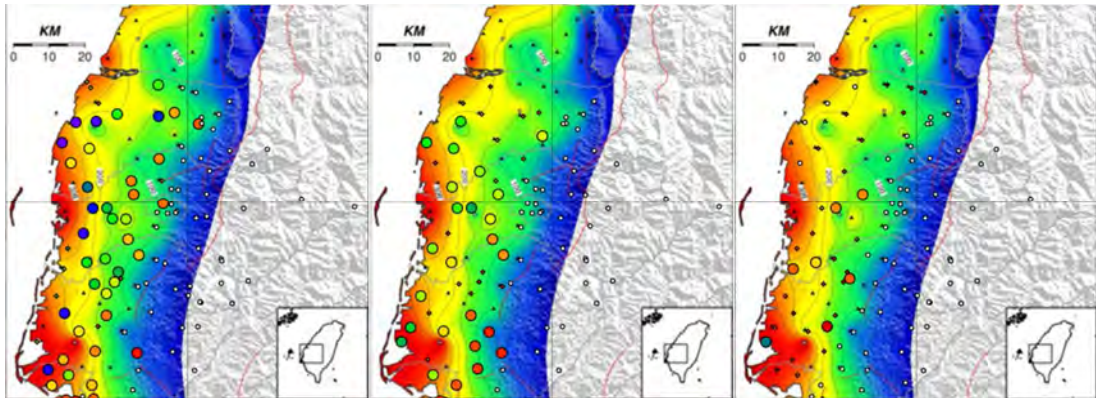
圖四十六、霧台地震表面波主頻(頻譜)套疊 Z1.0(右)



圖四十七、美濃地震表面波主頻(頻譜)等值線圖(左)

圖四十八、甲仙地震表面波主頻(頻譜)等值線圖(中)

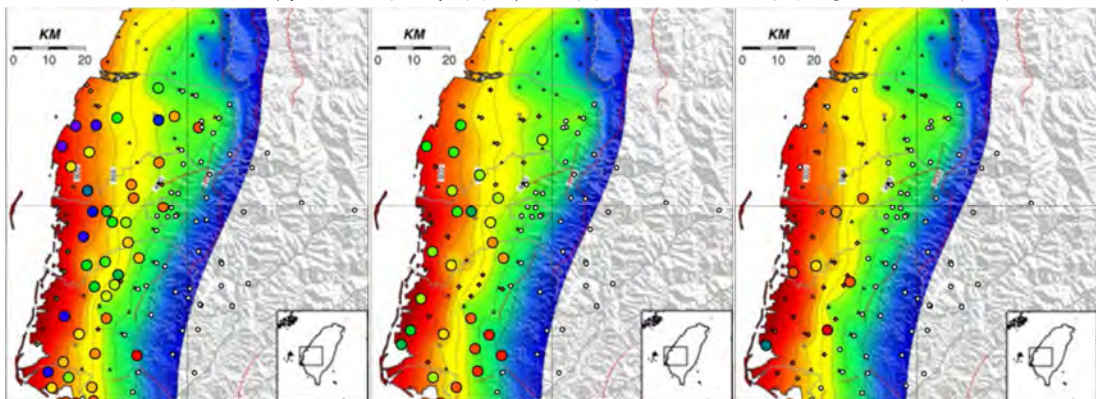
圖四十九、霧台地震表面波主頻(頻譜)等值線圖(右)



圖五十、美濃地震持續時間(表面波波段)套疊 Z0.6(左)

圖五十一、甲仙地震持續時間(表面波波段)套疊 Z0.6(中)

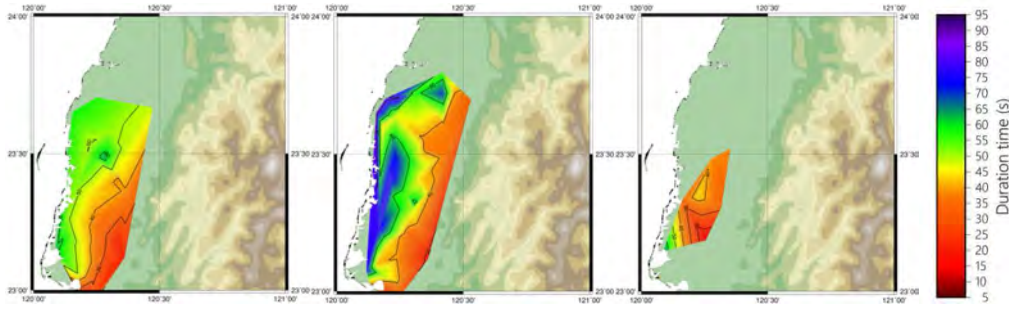
圖五十二、霧台地震持續時間(表面波波段)套疊 Z0.6(右)



圖五十三、美濃地震持續時間(表面波波段)套疊 Z1.0(左)

圖五十四、甲仙地震持續時間(表面波波段)套疊 Z1.0(中)

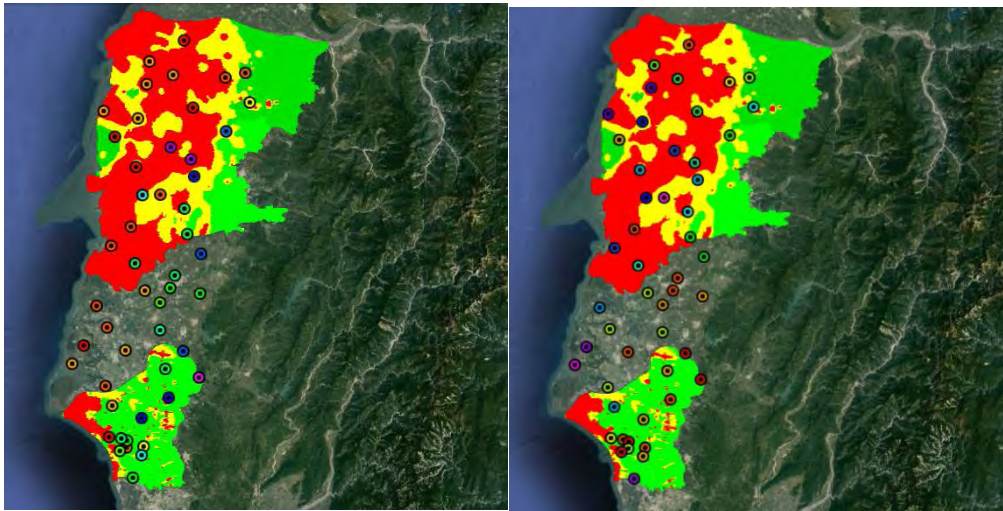
圖五十五、霧台地震持續時間(表面波波段)套疊 Z1.0(右)



圖五十六、美濃地震持續時間(表面波波段)等值線圖(左)

圖五十七、甲仙地震持續時間(表面波波段)等值線圖(中)

圖五十八、霧台地震持續時間(表面波波段)等值線圖(右)



圖五十九、甲仙地震表面波主頻(頻譜)套疊土壤液化潛勢圖(左)

圖六十、甲仙地震持續時間(表面波波段)套疊土壤液化潛勢圖(右)

## 陸、結論與應用

- 一、本研究中，美濃、甲仙、霧台三地震的平原地區皆觀察到表面波的發育，其中又以台南七股地區最明顯。時頻圖排列與走時曲線圖中也可以看到表面波的頻散特性，且台南發育的表面波速度較雲林快。根據沖積層等深線圖及前人的研究，我們推測與此地的沖積層較厚，以及台南較特別的地層構造有關。
- 二、時頻圖與頻譜的表面波主頻數據分布都如預期與表面波發育情況分布近似，主要集中平原地區，並且與表面波出現有無的分布相同，大致由東向西遞減；僅頻譜結果中有少部分表面波測站較高頻，總結後本研究表面波主頻範圍約落在 0.2~0.8Hz 間。
- 三、全波段的持續時間結果與表面波分布不一致，僅台南地區有較長的持續時間，檢討後發現是震幅門檻值太高。取表面波時窗時，靠海測站有稍微長的數據，但還是與表面波分布有差距。總結後本研究表面波持續時間範圍約落在 20~95 秒間，但因為部分表面波資料不完整，這部分還要做更進一步的探討。
- 四、將前面的結果套疊 Z0.6/Z1.0 時有部分關聯，套疊土壤液化潛勢圖則看不出明顯關聯。經由公式計算，牽涉本研究表面波形成的地層範圍約略落在 31~500 公尺間，根據此深度，我們推論分析的相關性是由於我們使用的沖積層等深線圖有涵蓋到此地層範圍，而土壤液化的作用範圍則無。
- 五、我們認為，本研究利用平原地區發育的短週期表面波，分析進而探討與地層或天然災害的關聯，而台灣關於這部分的研究並不多。而目前已看到與沖積層厚度有部分關聯，未來期望能以地震的快速掃描進行初步地質探勘，提供單站鑽探外的新選擇。而雖然結果與土壤液化的關聯不大，但是我們也得到牽涉表面波的地層深度為 31~500 公尺，未來期望能以短週期表面波特質探討，針對此範圍地層做更進一步的探討。

## 柒、未來展望

- 一、利用初步分析中的表面波走時曲線，推估沒有生成表面波的測站的表面波理論到時，即可進行頻譜及持續時間分析。
- 二、尋找更多與表面波牽涉地層範圍相關的圖資。
- 三、研究不同方向來的地震對同一區域測站生成表面波的影響。

## 捌、參考文獻

1. Chun-Hsiang Kuo, Chun-Te Chen, Che-Min Lin, Kuo-Liang Wen, Jyun-Yan Huang, Shun-Chiang Chang(2016). S-wave velocity structure and site effect parameters derived from microtremor arrays in the Western Plain of Taiwan.
2. Daniel C. Bowden, Victor C. Tsai(2017). Earthquake ground motion amplification for surface waves.
3. Nakamura, Y. (1996). Real Time information Systems for Seismic Hazard mitigation.
4. Ya-Ting Lee、Kuo-Fong Ma、Yu-Ju Wang、Kuo-Liang Wen(2015). An empirical equation of effective shaking duration for moderate to large earthquakes.
5. 林正洪、李憲忠、呂佩玲、蕭文啟(2012)。台灣中大型地震震源資訊之快速彙整與提供—地震震源資訊成果彙整與孕震成因研判及震源破裂時空模擬。
6. 林哲民、張道明、張毓文、簡文郁、溫國樑(2010)。2010年3月4日高雄甲仙地震 地震震源特性與發生機制。
7. 李憲忠(2016)。2016年2月6日高雄美濃地震 M6.4 震源破裂過程分析。
8. 陳文山等(2016)。台灣地質概論。台北市：中華民國地質學會。
9. 陳俊德(2013)。台北盆地與嘉南平原之震波模擬與地動特性。
10. 葉永田、李靜、姚秀寬、辛在勤(1992)。短週期表面波的生成與傳遞研究。
11. 溫國樑、江賢仁、張芝苓、張道明(2002)。臺灣地區之強地動觀測與地動特性。
12. 中央氣象局。<http://www.cwb.gov.tw>。
13. 土壤液化潛勢查詢系統。  
<http://www.liquid.net.tw/CGSSL/Public/process/Mainpage.aspx>。
14. 台灣大百科全書—表面波。  
<http://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=3390>。
15. 強震測站場址工程地質資料庫。<http://egdt.ncree.org.tw/>。



## 【評語】 180004

1. 選題有趣，針對台灣地區的特殊地震現象進行科學探索，頗有創意，科學意義之了解與說明可以加強。
2. 對表面波的論述無誤，分析方法大致正確，採用的資料(TSMIP)也完整。
3. 震波圖中宜明確標示表面波的波包，並指出如何設定最大值及到時。
4. 不用忌諱詳細解釋頻散曲線(能有圖配合說明更佳)，表面波最佳的定義是：為近地表地層因陷波導至共振而產生，具頻散特性。時頻圖中，宜指出那一條頻散曲線才是。(頻散圖不容易看，宜多加標示，加強說明)。
5. 4H 地層厚度估算過於簡略，可以嘗試應用頻散分析程式，估計可能的地層速度及厚度，此有助於討論。
6. 表面波對側向構造很敏感，若層狀構造變化太大，會破壞表面波的發育，這點也要列入考慮。最好有測區的淺部地層構造分布圖，配合解釋。
7. 需加強海報呈現之重點，並做有條理且深入之說明。