

# 地下水位的同震擾動與地震紀錄之關聯性研究

## Study of the Groundwater Level Co-seismic Fluctuations Correlated to Seismic Records

張健財<sup>1</sup> 余貴坤<sup>1</sup> 江準熙<sup>2</sup>

1 萬能科技大學營建科技系

2 中央氣象局地震測報中心

### 摘 要

由於地下水位的同震擾動是因地震波經過水井附近時引發地下水層的孔隙水壓變化所產生，本研究因此進行兩個問題的探討：第一個問題是地下水位的同震擾動初動極性（上動或下動）是否與由地震紀錄求得之震源機制解一致？經分析 7 個發生在台灣附近規模 6.0 以上的地下水位的同震擾動初動極性（上動或下動）與由地震紀錄求得之震源機制解比對後發現，除了 2006 年 12 月 26 日發生在台灣南部外海的 2 個恆春地震外其他 5 個地震都幾乎一致，且就這 2 個恆春地震而言，雖然結果並不一致，但各水井的投影位置都很接近震源機制解的壓縮與拉張象限邊界，若將其震源機制解稍微調整，在比對上也都可大致符合。第二個問題是地震波經過時引發的地下水層孔隙水壓變化型態是上下的垂直振動還是前後左右的水平振動？為探討此問題，本研究分析 2011 年 3 月 11 日發生在日本東北外海的大地震（規模 8.9）引發東和地下水觀測站（DON）的水位同震擾動資料與水井附近的寬頻地震測站（SSLB）紀錄進行頻譜分析，並比對地下水位的同震擾動波形及群速頻散曲線與雷利波的垂直分量（Z-component）及洛夫波的水平分量（SH-component）分析結果，以波形比對而言，兩者差異不大，但由群速頻散曲線的比對，則可發現地下水層的孔隙彈性應變模式似乎較類似雷利波的垂直振動型態，不過此結論尚須更多的資料比對才能確認。

關鍵詞：水位同震擾動，震源機制，群速頻散曲線，孔隙彈性應變

### 前言

由於地下水位的同震擾動是因地震波經過水井附近時引發地下水層的孔隙水壓變化所產生，余貴坤和羅應標（1988）及余貴坤等（1993）曾利用位於宜蘭清水溪畔的一口深達 500 公尺的水井測得的地下水位變化連續紀錄，分析紀錄中一些因地震波經過水井附近時，隨著產生的水位同震變化初動極性（上升或下降），比對一群發生在花蓮附近的地震相對於水井方位角的震源型態後，發現雖不是完全一致，但卻具有相當程度的系統性關連，後來 Liu et al. (2006) 又利用一些由台灣附近和遠處發生的地震波經過位於花蓮附近

兩口深度較淺（約 50~60 米深）的水井時引發的同震水位變化波形與水井附近的強震測站紀錄的垂直與水平分量比對後，認為地下水位的同震變化是因地震波經過時引發地下水層的水平振動所產生。在國外也有一些研究探討井內水位的同震變化幅度與地下水層的孔隙彈性體積應變的關連程度（Quilty and Roeloffs, 1997; Gahalaut et al., 2010; Zhang and Huang, 2011），可惜這些研究都沒有探討水位的同震擾動初動上升或下降與地震的震源機制關連如何？以及地下水層的孔隙水壓的應變型態，為了解這些問題，本研究乃利用中央氣象局地震測報中心收錄之地下水位的同震擾動初

動極性與由地震紀錄分析所得的震源機制解進行比對，同時也選取位於雲林縣的東和地下水觀測站收錄的 2011 年 3 月 11 日發生在日本東北外海的大地震(規模 8.9)引發的水位同震擾動為例，比對水井附近的寬頻地震測站紀錄的表面波波形與群速頻散特徵，期能探究出當地震波經過水井附近時所引發的地下水層孔隙水壓振動模式。

## 資料選取與分析

因本研究探討的問題有兩個，故在資料的選取與分析方法也有所不同。首先在水位的同震擾動初動極性(上或下)與地震的震源機制解比對方面，由於中央氣象局在台灣本島建置的地下水水位觀測站相當分散(見圖 1 及表一)，若要同時取得較多不同測站的水位同震擾動紀錄，必須選取規模較大且水位同震擾動初動也明顯的地震(如圖 2)，才能符合本研究的需求，經仔細挑選後選取規模大於 6.0 且震央位於台灣附近的 7 個地震(見圖 1 及表二)作為初步比對的資料。比對的方法是將每一個地震對各地下水井引發的水位同震擾動初動上下極性，依水井相對於地震的方位與震央距離投影在地震的震源球(focal sphere)上，分析結果見圖 3。

其次在探討地下水層的孔隙水壓振動模式問題上，則須選取發生在遠處的大地震(震央距離至少 1000 公里以上)且能引發有明顯頻散現象的水位同震擾動，經過多次檢視與分析後，初步選取 2011 年 3 月 11 日發生在日本東北海域的超大地震(震央：142.37E, 38.32N，規模：8.9)引發位於雲林縣的東和測站(位置：120.56E, 23.67N，震央距離 2629.5 公里)的水位同震擾動紀錄(可惜其他測站的水位擾動紀錄大都很小且頻散特性不明顯)進行頻譜分析，同時也選取水井附近的寬頻地震測站 SSLB(位置：120.95E, 23.79N，震央距離 2588.5 公里)紀錄(見圖 4)，比對該測站的 SH 分量(洛夫波)與 Z 分量(雷利波)的紀錄波形及群速頻散特徵和水位的同震擾動之關聯程度，嘗試找出地下水層的孔隙水壓應變模式，比對結果見圖 5 和圖 6。

## 結果討論

由本研究的比對結果，在地下水位的同震擾動初動極性與地震的震源機制解之關聯性方面，發現除了 2006 年 12 月 26 日發生在台灣南部恆春外海的 2 個地震外，其他 5 個地震的地下水位的同震擾動初動上下極性都與震源的壓縮與拉張機制解相當一致，且就這 2 個恆春地震而言，雖然結果並不一致，但各水井的投影位置都很接近震源機制解的壓縮與拉張象限邊界，若將其震源機制解稍微調整，在比對上也都可大致符合(圖 3)，顯示地下水位的同震擾動可視為一種長週期的地震紀錄。惟因水的流動性較高且又有粘滯性，故在波形的比對上，地震引發的水位擾動將比地表振動的振幅稍大且相位也落後些，若把水井與寬頻站的震央距離差造成的時間差修正相位(波速採 3.0 km/s)，再進行波形比對(圖 5)，仍是難以分辨在 Z 與 SH 兩分量中，哪一個分量的波形較近似水位的同震擾動系列？若進一步作各種資料的頻譜分析及濾波處理(Dziewonski et al., 1969, 處理程式取自 Herrmann, 1978)求得各群速頻散曲線後再比較時(圖 6)，則可發現 Z 分量(雷利波)的群速頻散曲線與水位的同震擾動分析結果較相近，此現象與 Liu et al. (2006)的結論大不相同，不過此現象僅是一筆水位同震擾動資料的比對而已，尚不能就此認定，更多資料的分析比對仍須進行。

## 結論

由本研究的分析比對結果，初步可歸納下列結論：

- (1) 地下水位的同震擾動初動上下極性與震源的壓縮與拉張機制解大都符合，顯示地下水位的同震擾動可視為一種長週期的地震紀錄。
- (2) 由群速頻散曲線的比對，初步發現引發井內水位的同震擾動的地下水層的孔隙水壓應變模式似乎較類似雷利波的垂直振動型態，不過此結論尚須更多的資料比對才能確認。

## 致謝

本研究的經費是由中央氣象局委託計畫支助，計畫編號為 MOTC-CWB-99-E-13 及

MOTC-CWB-100-E-13，同時地震測報中心相關同仁快速提供各項資料並大力協助，作者特別感謝。

## 參考文獻

- 余貴坤、羅應標（1988）水位變動紀錄呈現的一些地震訊息，第二屆台灣地區地球物理研討會，220-229。
- 余貴坤、黃瑞德、羅應標、郭鎧紋、劉坤松（1993）深井水位變化與大地震的關連性研究，中央氣象局技術報告彙編，第 4-1 卷，193-213。
- Dziewonski, A., S. Bloch, and M. Landisman (1969) A technique for the analysis of transient seismic signals, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, 427-444.
- Gahalaut, K., V. K. Gahalaut, and R. K. Chadha (2010) Analysis of coseismic water-level changes in the wells in the Koyna-Warna region, western India, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 100, 1389-1394.
- Herrmann, R. B. (1978). *Computer Programs in Earthquake Seismology, Volume 2: Surface Wave Programs*, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Saint Louis University, November 1978 (NTIS PB\ 292\ 463).
- Liu, C., M.-W. Huang, and Y.-B. Tsai (2006) Water level fluctuations induced by ground motions of local and teleseismic earthquakes at two wells in Hualien, eastern Taiwan, *TAO*, 17, 371-389.
- Quilty, E. G., and E. A. Roeloffs (1997) Water-level changes in response to the 20 December 1994 earthquake near Parkfield, California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 87, 310-317.
- Zhang, Y., and F. Huang (2011) Mechanism of different coseismic water-level changes in wells with similar epicentral distances of intermediate field, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 101, 1531-1541.

圖表

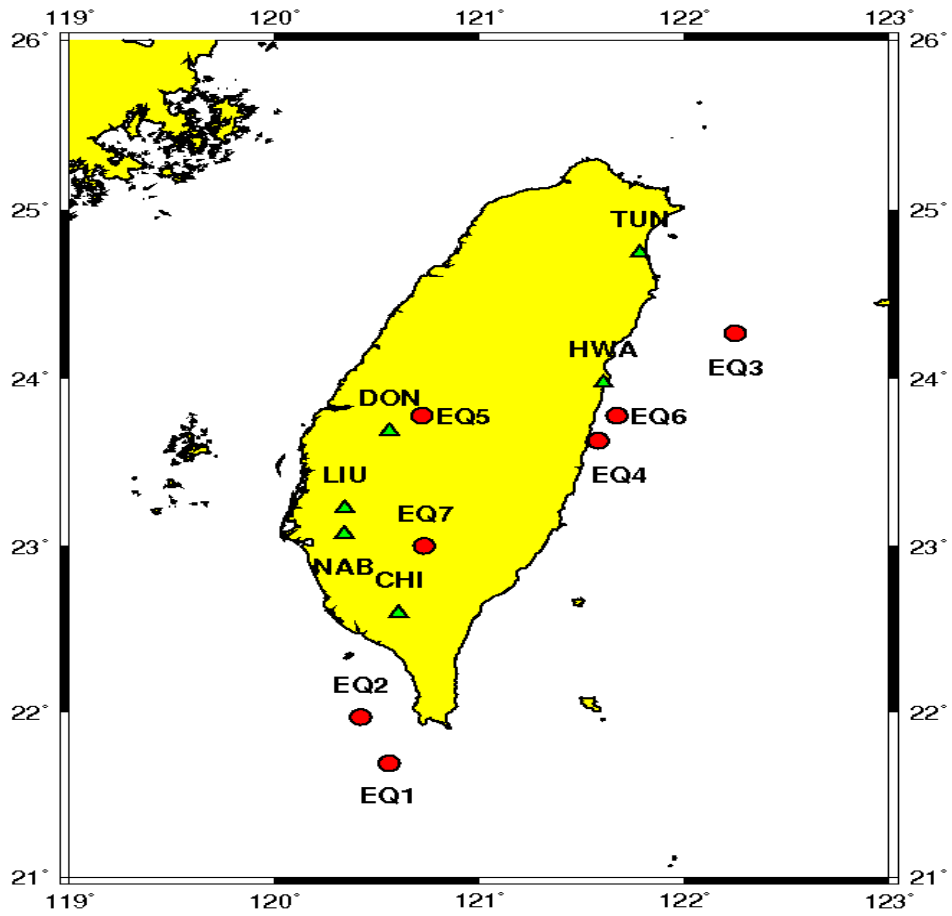


圖 1. 本研究選用的 7 個地震震央與中央氣象局建置的 6 個地下水觀測井位置分布圖，紅色圓圈為地震震央位置，綠色三角型為水井位置。

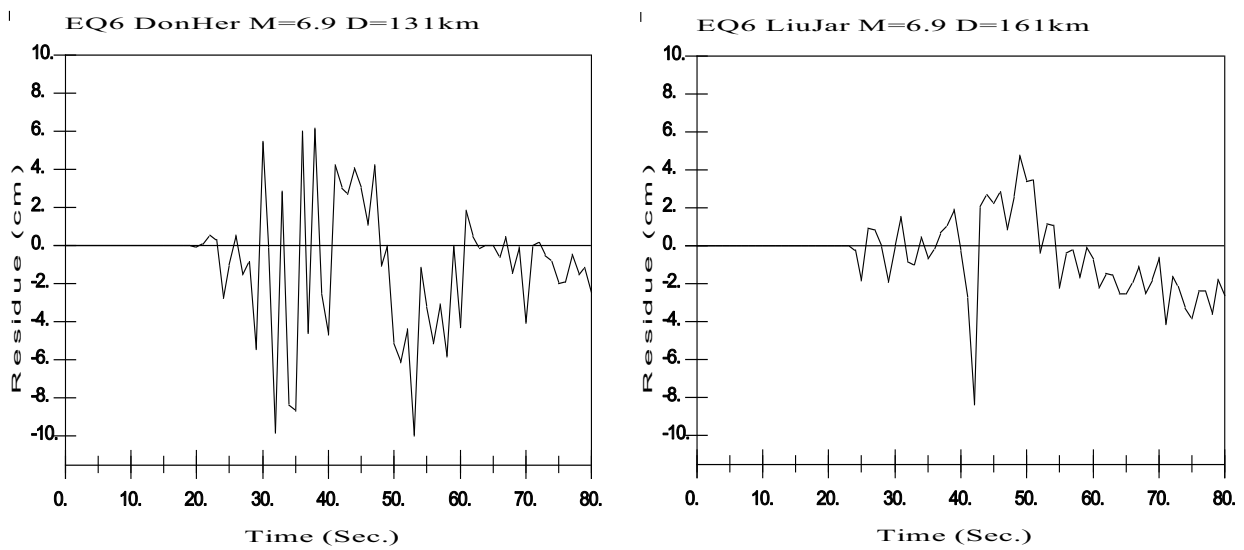


圖 2. 2009 年 12 月 29 日發生在花蓮外海的地震所引發的地下水同震水位擾動圖例，左圖為東和測站（水位變化初動向上），右圖為六甲測站（水位變化初動向下）。

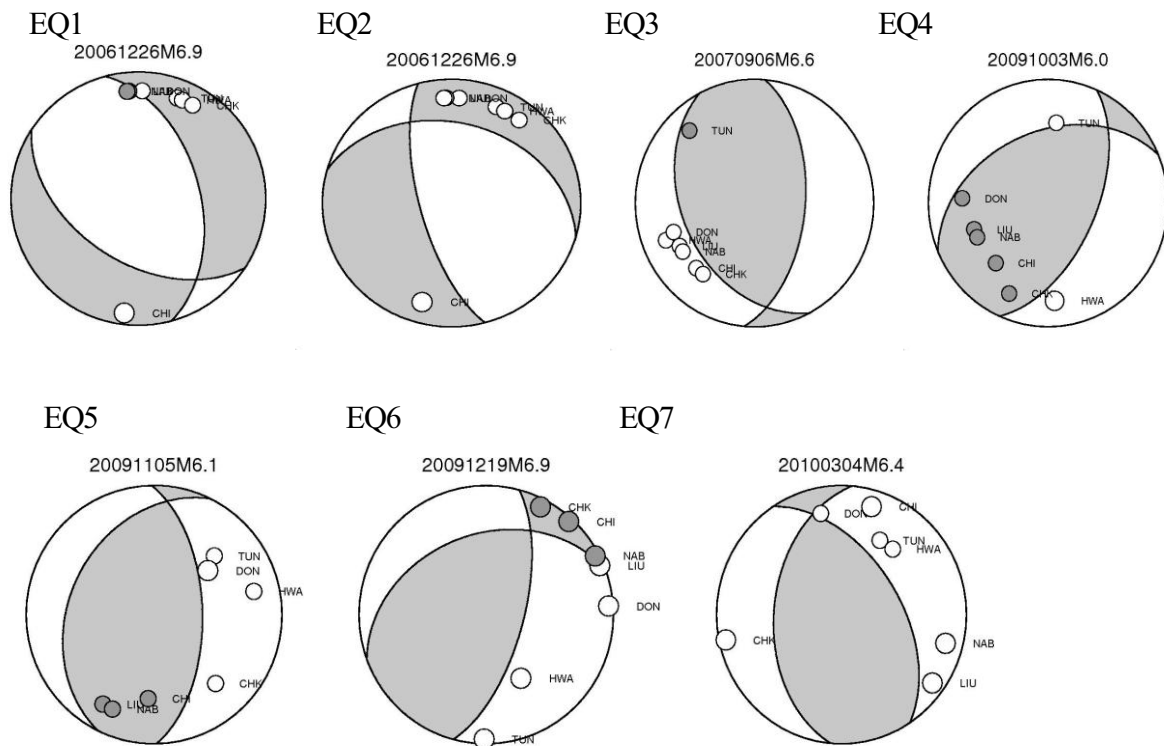


圖 3. 本研究分析 7 個地震之震源機制解與同震水位擾動初動極性關係圖。

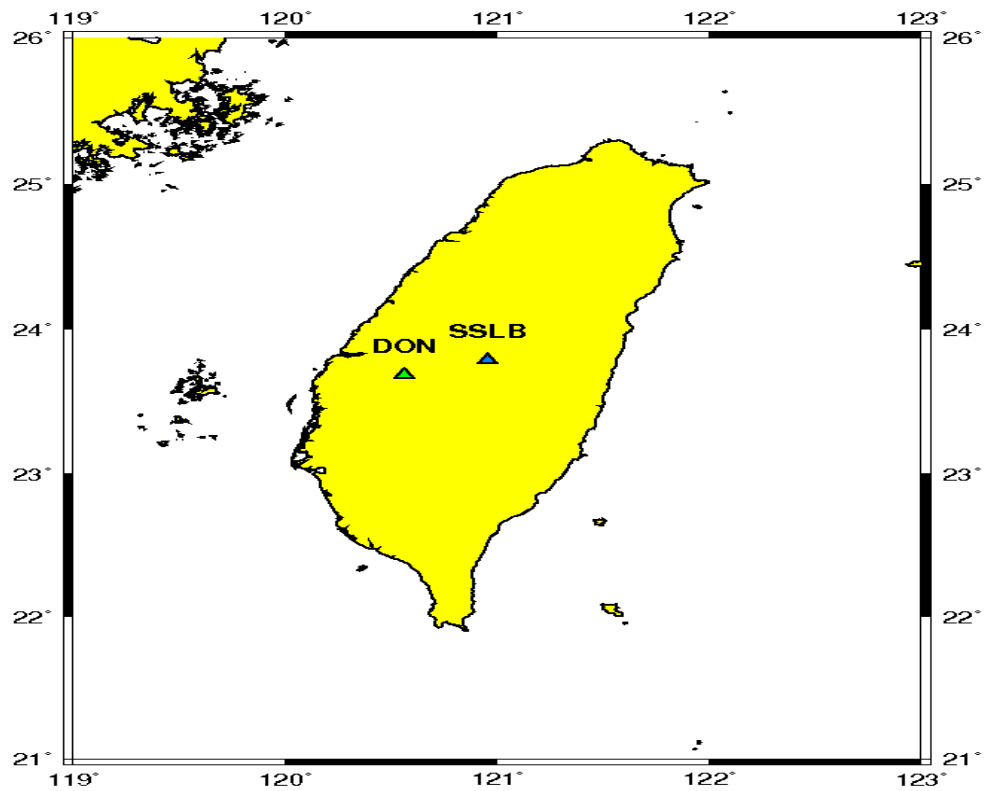


圖 4. 本研究初步以 2011 年 3 月 11 日發生在日本東北外海大地震引發東和觀測井 (DON) 的水位同震擾動為例與附近的寬頻地震測站 (SSLB) 的紀錄作分析比對。

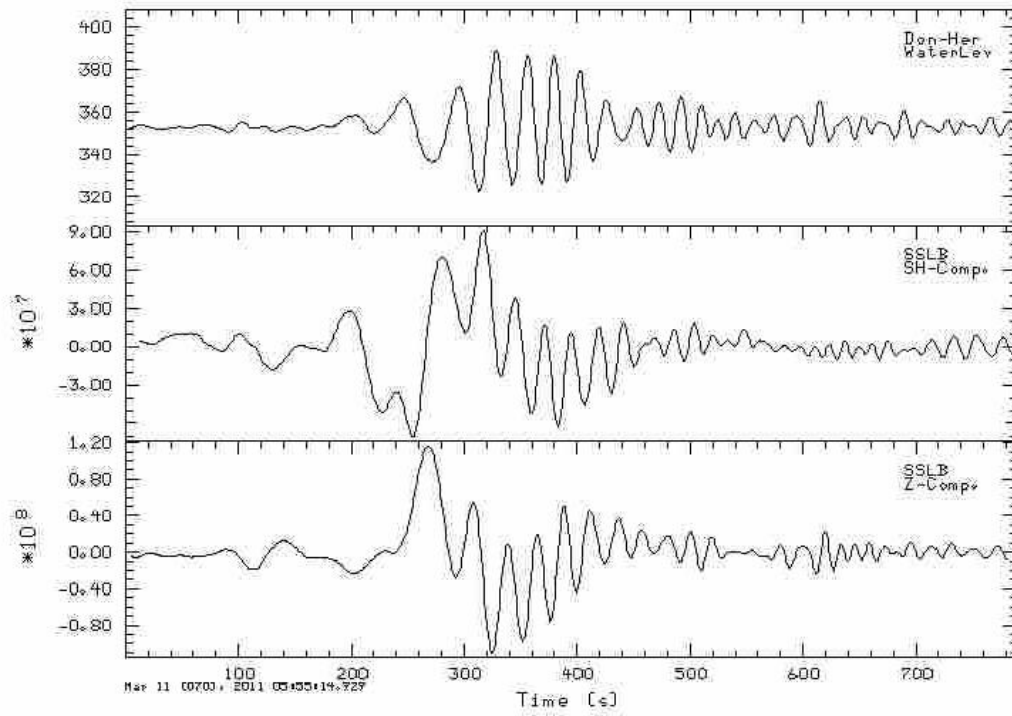


圖 5. DON 井的水位同震擾動波形與 SSLB 寬頻紀錄的 Z 和 SH 兩個分量的表面波波形比對圖。

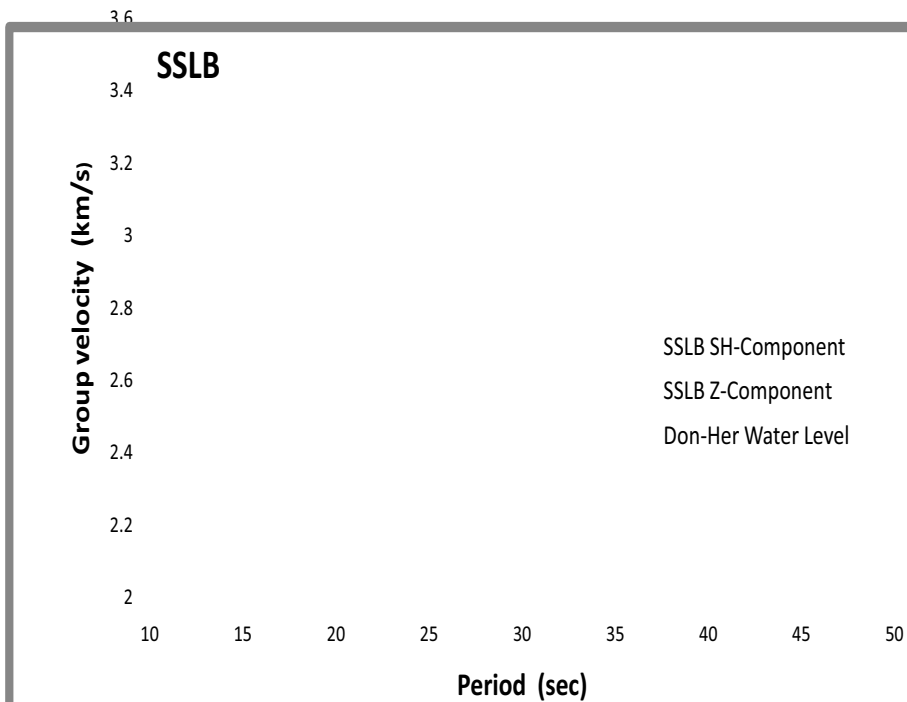


圖 6. 水位同震擾動與地震表面波的 Z 和 SH 兩分量之群速頻散曲線比對圖。

表一、中央氣象局建置之六口地下水觀測井相關資料表。

| 觀測井名稱            | 位置<br>(經度°E, 緯度°N) | 含水層深度<br>(公尺)      | 所採用水位紀錄時間<br>(西元年) | 說明             |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| 六甲<br>(Liu Jar)  | 120.342, 23.227    | 204-222            | 2006-2010          | 台南縣<br>六甲國小    |
| 那菝<br>(Na Ba)    | 120.340, 23.071    | 135-147            | 2006-2010          | 台南縣<br>那菝國小    |
| 東和<br>(Don Her)  | 120.561, 23.668    | 222-252            | 2006-2010          | 雲林縣<br>東和國小    |
| 赤山<br>(Chi Shan) | 120.608, 22.593    | 158-170<br>182-197 | 2006-2010          | 屏東縣<br>赤山國小    |
| 花蓮<br>(HuaLien)  | 121.605, 23.977    | 140-160            | 2006-2010          | 中央氣象局<br>花蓮氣象站 |
| 壯圍<br>(TunWei)   | 121.781, 24.746    | 130-150            | 2006-2010          | 宜蘭縣<br>壯圍國小    |

表二 本研究選用發生在台灣附近有引發明顯地下水同震水位擾動的地震參數表。

| Earthquake No. | Date             | Location       |               | M <sub>L</sub> | D <sub>s</sub> (km) |
|----------------|------------------|----------------|---------------|----------------|---------------------|
|                |                  | Longitude (°E) | Latitude (°N) |                |                     |
| EQ1            | 2006/12/26 12:26 | 120°33'        | 21°42'        | 7.0            | 44                  |
| EQ2            | 2006/12/26 12:34 | 120°25'        | 21°58'        | 7.0            | 50                  |
| EQ3            | 2007/09/06 17:36 | 122°15'        | 24°16'        | 6.6            | 55                  |
| EQ4            | 2009/10/03 17:36 | 121°35'        | 23°38'        | 6.1            | 57                  |
| EQ5            | 2009/11/06 08:59 | 120°43'        | 23°47'        | 6.2            | 34                  |
| EQ6            | 2009/12/19 13:02 | 121°40'        | 23°47'        | 6.9            | 66                  |
| EQ7            | 2010/03/04 08:18 | 120°44'        | 23°00'        | 6.4            | 05                  |