

# 集集大地震發生前後地下水系統異常變化分析

## Analysis of Changes in the Ground Water System before and after the Occurrence Chi-Chi Earthquake

計畫編號：NSC89-2116-M-002-050

執行期限：89年08月01日至90年07月31日

主持人：賈儀平 台灣大學地質科學系

研究人員：江藝萱、王原賢、陳佳杏、陳棋炫、李雅文

### 一、中文摘要

1999年9月21日集集附近發生規模7.3( $M_L$ )的強震，導致西南部平原地下水觀測網之地下水位產生異常變化。其中以鄰近車籠埔斷層的濁水溪沖積扇最為顯著，有157口觀測井產生明顯的地下水位變化，其中67口觀測井的水位變化超過1公尺，最大變化達11.1公尺。其次是嘉南平原，有52口觀測井產生明顯的地下水位變化，有27口觀測井的水位變化超過0.1公尺，最大變化達0.9公尺。

以數位記錄與類比記錄綜合分析比對九二一地震前後濁水溪沖積扇之水位異常變化，在地震發生時，每小時一筆的數位記錄顯示地下水位呈階梯式升降；而連續性的類比記錄則可觀測到水位振盪與階梯式升降。同震的水位變化並不限於受壓含水層，部份受壓和自由含水層也有明顯反應。地下水位的回復需時數分鐘到數月以上不等，視水文地質條件而定。濁水溪沖積扇之觀測井距離車籠埔斷層2至50公里不等，同震水位變化與距離斷層遠近相關，推測與車籠埔斷層錯動產生的應變場使絕大部份下盤地區受到壓縮，但在鄰近斷層的地區則出現伸張的現象。

集集大地震之後，緊接著在10月22日於嘉義市西北方發生規模6.4( $M_L$ )的地震。嘉義地震並未在地表產生明顯之錯動，鄰近震央的濁水溪沖積扇與嘉南平原部份觀測井亦產生地下水位異常變化，變化幅度可達0.4公尺。此次地震造成之水

位升降，在部份井站與集集地震產生的水位異常變化反向，推測是不同的斷層活動之大地應變機制不同造成。

關鍵字：地震、地下水、水文地質

### Abstract

Changes of ground water levels induced by the  $M_L$ 7.3 Chi-Chi earthquake on September 21, 1999 were recorded at 157 monitoring wells in the Choshui River alluvial fan. Of those, 67 observed large ground water level changes, ranging from 1.0 to 11.1m. These Wells are clustered at 64 stations located approximately 2 to 50 km from the north-south trending Chelungpu fault. Generally step-like changes of water level were observed at the time of earthquake on the hourly digital records, while both oscillatory and step-like changes were observed on the analog records. Co-seismic changes of ground water level were recorded not only in the confined aquifer but also in the partially confined aquifer and the unconfined aquifer. The recovery of water level changes in an aquifer took minutes to months, depending primarily on hydrogeologic conditions of the confining layers. The sign of co-seismic water level change at a well varied with its distance from the fault. The strain field inferred from the co-seismic water-level changes due to the Chi-Chi earthquake suggests that volumetric contraction

predominated in most of the footwall area; whereas volumetric expansion prevailed in a belted area adjacent to the fault zone.

On 22 October, another earthquake of  $M_L 6.4$  occurred near Chi-yi city. It induced the groundwater level changes at some monitoring wells in the Choshui River alluvial fan and Chinan plain, up to 0.4m. The scattering of groundwater level changes, revealed the complexity of geologic structures of Chi-yi region.

Key Words: earthquake, groundwater, hydrogeology

## 二、計畫緣由與目的

九二一集集大地震導致車籠埔斷層發生嚴重的錯動，斷層沿線建物幾乎全毀，人員死傷慘重，在此次地震中留下最深刻的教訓。然而集集大地震也留下許多寶貴的地下水及地質資料，若能善加探討分析，由此次地震經驗中學習因應之道，未來或能對台灣地區的地震防治工作有所助益。

由於各種跡象顯示地下水位變化與地震之間的關係密切，因此九二一集集大地震發生之後，嘗試處理分析位於車籠埔斷層附近地區水利機構建置的觀測井地下水位資料，初步分析結果有 157 口井的地下水位出現變化，最大上升量達 8.3 公尺，最大下降量達 11.1 公尺，而且地下水位變化的分佈趨勢似可隱示地震發生的方向。這項明確且有鼓勵性的訊息啟發了我們重新認真思考將地下水位變化作為台灣地區的地震研究發展重點之一。

台灣西南部地區監測井密佈，因此值得針對九二一集集地震前後地下水位異常變化時間與地點作進一步的探討分析及現地試驗。除了應用理論依據、資料處理、數值模擬及分析軟體，以持續在理論、技術及現地試驗方面逐步探討及驗證利用整合性的即時地下水位變化作為強震發生前

兆之可行性。

## 三、結果與討論

1. 從每小時一筆的數位記錄，在地震發生前後出現階梯狀升降的異常水位變化記錄。而從連續性的地下水位類比記錄觀察到地震波造成的水位振盪，以此作為同震水位變化之時間校正根據，比對每小時一筆的數位記錄，推斷最大幅度之異常水位變化似應為同震之水位變化。
2. 九二一集集地震在濁水溪沖積扇造成 157 口觀測井產生明顯的地下水位變化，其中 67 口觀測井的水位變化超過 1 公尺，最大變化達 11.1 公尺。在嘉南平原有 52 口觀測井產生明顯的地下水位變化，有 27 口觀測井的水位變化超過 0.1 公尺，最大變化達 0.9 公尺。
3. 同震之水位變化不限於受壓含水層，在自由含水層與部份受壓含水層也有明顯反應。同震水位變化之回復視水文地質條件而定。自由含水層之回復僅需數分鐘或數小時，受壓含水層則需數天至數月不等。部份井站之地下水位產生不可恢復之永久改變，推測是地震改變附近地區水文地質條件，或對井體條件有所影響所致。
4. 濁水溪沖積扇於九二一集集地震之同震水位變化，似與距離斷層遠近相關，推測與車籠埔斷層相關。斷層活動使絕大部份下盤地區受到壓縮，但在鄰近斷層的地區則出現伸張的現象。
5. 嘉義地震未在地表產生明顯之錯動，地下水位仍能反應大地應變之改變。證明地下水位極為敏感，可考慮作為地震研究發展的重點。
6. 嘉義地震造成鄰近之濁水溪沖積扇

和嘉南平原兩個觀測網部份井站產生異常水位變化，幅度高達 0.4 公尺，而且水位變化升降分布錯綜複雜。

7. 嘉義地震造成之水位異常變化，在部份井站與集集地震的水位升降變化反向，推測是嘉義地震之斷層與車籠埔斷層之應變機制不同造成。
8. 以不同時間尺度，綜合氣象、地表水文等資料對震前進行分析，截至目前為止，尚未發現明顯可資鑑別之地下水前兆。
9. 以數值模式模擬地層受壓導致有效應力與孔隙水壓變化，在受壓局部地區，由於不均勻變形造成的應力調整現象，會出現局部孔隙水壓上升及下降的分布。
10. 初步評估目前較為可行之即時傳輸方式。一般有線電話可及地區考慮採用 ADSL 取代有線電話，隨時保持連線並降低通話費用，降低傳輸成本。偏遠地區考慮台灣地區密佈之行動電話基地台，採用 GSM 數據機，以太陽能供應電源，不受限於有線電信之服務範圍。

#### 四、計畫成果自評

本研究計畫進行順利，本年度初步評估九二一集集地震與嘉義地震，濁水溪沖積扇與嘉南平原之水位異常變化時間校正、幅度與分布狀況之分析。並嘗試以數值模式探討岩體變形及水壓變化耦合理論之可行性。

本項研究計畫承蒙水資源局、水利處、地質調查所協助，對於地震引發地下水位異常變化之記錄獲致合理的評估，上述單位亦採納本研究之建議升級現有井站，或規劃設置即時觀測試驗井站，或加強相關研究。研究並結合各相關資料分析比對，篩選出有效可靠之水位記錄，並針

對九二一地震造成之水位異常變化做重點研究，不論對於地震或水文地質研究皆能有所助益。

#### 五、參考文獻

- Bredehoeft, J. D. (1967). Response of well-aquifer systems to earth tides, *J. Geophys. Res.* **72**, 3075-3087.
- Chadha, R. K., H. K. Gupta, H. J. Kumpel, P. Mandal, A. N. Rao, N. Kumar, I. Radhakrishna, B. K. Rastogi, I. P. Raju, C.S.P. Sarma, C. Satyamurthy, and H.V.S. Satyanarayana (1997). Delineation of active faults, nucleation process and pore pressure measurements at Koyna (India), *Pure and Appl. Geophys.* **150**, 551-562.
- Chia, Y., Y. S. Wang, J. J. Chiu, and C. W. Liu (2001) Changes of Groundwater Level due to the 1999 Chi-Chi Earthquake in the Choshui River Alluvial Fan in Taiwan, *Bull. Seis. Soc. Am.* **91**. (on print)
- Grecksch G., F. Roth and H. J. Kumpel (1999). Co-seismic well-level changes due to the 1992 Roermond earthquake compared to static deformation of half-space solutions, *Geophys. J. Int.* **138**, 470-478.
- Igarashi, G. and H. Wakita (1991). Tidal responses and earthquake-related changes in the water level of deep wells, *J. Geophys. Res.* **96**, 4269-4278.
- King, C.-Y., S. Azuma, G. Igarashi, M. Ohno, H. Saito, and H. Wakita (1999). Earthquake related water-level changes at 16 closely clustered wells in Tono, Central Japan, *J. Geophys. Res.* **104**, 13,073-13,082.
- Liu, C.W., Y. Chia, C.G. Liu, L.C. Chang, C. Guon, C. S. Ting, W.F. Chen (1999). Compilation "groundwater in Taiwan – Choshui River alluvial fan" (in Chinese), *Taiwan Bureau Water Resour. Rep.* 88EC2B370072.

- Liu, L. B., E. A. Roeloffs, and X. Y. Zheng (1989). Seismically induced water level fluctuations in the Wali Well, Beijing, China. *J. Geophys. Res.* **94**, 9453-9462.
- Ohno, M. and H. Wakita (1997). A water well sensitive to seismic waves. *Geophys. Res. Lett.* **24**, 691-694.
- Quilty, E.G., W. Danskin, C. D. Farrar, D. L. Galloway, S. N. Hamlin, E.A. Roeloffs, M.L. Sorey, and D.E. Woodcock (1995). Hydrologic effects associated with the January 17, 1994 Northridge, California, earthquake, *U.S. Geol. Surv. Open file Rep.* *95-813*.
- Quilty E.G. and E. A. Roeloffs, (1997). Water-level changes in response to the 20 December 1994 earthquake near Parkfield, California. *Bull. Seis. Soc. Am.* **87**, 310-317.
- Roeloffs, E. A. (1998). Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquake, *J. Geophys. Res.* **103**, 869-889.
- Roeloffs, E.A., S. S. Burford, F.S. Riley, and A.W. Records, (1989). Hydrologic effects on water level changes associated with episodic fault creep near Parkfield, California, *J. Geophys. Res.* **94**, 12387-12402.
- Roeloffs, E.A., W. R. Danskin, C. D. Farrar, D.L. Galloway, S.N. Hamlin, E. G. Quilty, H. M. Quinn, D. H. Schaefer, M. L. Sorey, and D. E. Woodcock (1995). Hydrologic effects associated with the June 28, 1992 landers, California, earthquake sequence, , *U.S. Geol. Surv. Open file Rep.* *95-42*.
- Wakita, H. (1975). Water wells as possible indicators of tectonic strain, *Science* **189**, 553-555.
- 吳雪蘋 (2000) 濁水溪沖積扇地區地下水位變化之研究, 台灣大學地質學研究所碩士論文, 共116頁。
- 陳棋炫 (2001) 地層受壓導致有效應力與孔隙水壓變化之耦合分析, 台灣大學地質科學研究所碩士論文, 共51頁。
- 經濟部水利處 (2000) 九二一地震水位地表地下水位變動分析報告, 共37頁。
- 經濟部中央地質調查所 (1999) 九二一地震車籠埔斷層測量成果, 共156頁。
- 賈儀平、王原賢、陳佳杏、吳雪蘋 (2001) 集集大地震前後濁水溪沖積扇之地下水位變化, 第四屆地下水資源及水質保護研討會論文集, 第359-363頁。