

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

集集地震引發地下水系統異常變化之分析

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2119-M-002-026-

執行期間：91 年 08 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學地質科學系暨研究所

計畫主持人：賈儀平

計畫參與人員：江藝萱、王原賢、何哲豪、李在平、黃靜怡

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 31 日

集集地震引發地下水系統異常變化之分析
Analysis of Changes in the Groundwater System
Induced by the Chi-Chi Earthquake

計畫編號：NSC 91-2119-M-002-026

執行期限：91 年 08 月 01 日至 92 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、何哲豪、李在平、黃靜怡

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，導致台灣西南部平原地下水觀測井之地下水位產生異常變化。分析濁水溪沖積扇與嘉南平原觀測井之水位資料，有 184 口觀測井出現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。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，在同一地區有 105 口觀測井記錄到可資分辨的地下水位變化，最大的同震水位變化達 1.4 公尺。

分析集集地震與嘉義地震之異常水位變化的分布，發現大多數井站大都出現同震水位上升，水位下降則較為局部，推測可能是西南平原在逆衝斷層活動時主要是受到擠壓作用。同一井站在兩次地震所產生階狀水位變化量的比值，與震央距的平方倒數比值大致成線性相關。斜率大致相當於兩次地震規模的比值，說明地下水位異常變化與地震釋放的應變能量密切相關。

而從嘉義地震及其餘震發生期間，21 個沿海地區的井站的地下水位記錄發現， M_L 6.0 地震造成之同震水位變化量大於或等於 M_L 6.4 所造成之水位變化。由於沿海井站與兩次地震之震央距極為接近，推論是斷層活動機制不同對某些地區產生不同的應變量而造成。

以應力應變模式模擬震後水位變化時，由於阻水層受限垂向水力傳導係數較

低，對受壓含水層短期的水位回復變化影響較小。若以震後長期水位歷線計算地層之水文地質參數時，阻水層之水壓消散過程則是必要的考量。

關鍵字：地下水、地震、水文地質

Abstract

Changes of groundwater levels induced by the M_L 7.3 Chi-Chi earthquake on September 21, 1999 were recorded at 184 monitoring wells in the Southwest coastal plain of Taiwan. Of those, 67 observed large groundwater level changes, ranging from 1.0 to 11.1m. On October 22, an aftershock of M_L 6.4 epicentered near the Chia-Yi city induced groundwater level to change up to 1.4m in the same area.

The distribution of water levels induced by Chi-Chi and Chia-Yi earthquakes indicated the coseismic rises are prevailed in the area. It implied that the coastal plain under compression during thrust faulting. The ratio of coseismic changes of Chi-Chi earthquake and Chia-Yi earthquake is approximately proportional to the ratio of inverse square of epicentral distances. That implied coseismic water level changes are related to strain energy released by earthquakes.

There are 21 coastal well stations where coseismic water level changes induced by M_L 6.4 Chia-Yi earthquake are

smaller than those induced by its M_L 6.0 aftershock. The epicentral distances to those coastal well stations for two earthquakes are about the same. This abnormal phenomenon might be caused by different local strain fields generated by two earthquakes with different mechanism.

The simulation of post-seismic water level variation by the stress-strain model showed that the influx from confining layers has little short-term impact, but plays an important role in long-term recovery rate of water level.

Key Words: groundwater, earthquake, 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，處理分析位於車籠埔斷層附近西南平原地區水利機構建置的觀測井地下水位資料，結果有 184 口井的地下水位出現明顯之變化，最大上升量達 8.5 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. 分析集集地震與嘉義地震之異常水位變化，大多數井站出現同震水位上升，僅在局部地區出現同震水位下降。推論為台灣西部的沈積盆地受到麓山帶的逆斷層活動時，沈積物主要受到擠壓作用而產生水位變化。
2. 統計各井站在集集地震與嘉義地震之同震水位變化量，同一井站在兩次地震的水位變化量的比值，與兩個震央距倒數平方的比值大致呈現線性相關，斜率約等於兩次地震的規模比值。說明地下水位異常變化與地震產生的應變能密切相關。
3. 嘉義地震期間地下水位變化在沿海的東石、明德、平溪、海園、北港共 21 個井站， M_L 6.0 地震之同震水位變化大於 M_L 6.4 主震在這些井站所產生的水位變化。由於這兩個地震的震央位置距離僅 2 公里，對各井站的震央距影響極小。推論是由於地震之活動機制不同而對各地產生的應變量差異所造成。
4. 觀測井監測的含水層多為礫石與砂層。井水位對於地潮與氣壓變化的反應並不明顯，僅在沿海井站可見海潮的影響。推估同震水位變化 1 公分代表的地層應變量約在 10^{-7} 等級。以此估計井站反應集集地震產生的應變量多在 10^{-4} 至 10^{-6} 之間，嘉義地震則多在 10^{-6} 以下。
5. 分析集集地震之水位變化，同震水位變化在震後會傾向於回復原有的水位趨勢。回復時間之長短可據以輔助區分自由含水層與受壓含水層

等水文地質特性；所需回復時間之長短與含水層本身之水力傳導係數並無一定關係，而是與含水層所受的侷限程度相關。

6. 以應力應變模式模擬震後水位變化時，由於阻水層同樣受到地層應變影響，超額孔隙水壓受到垂向水力傳導係數較小的限制，無法立即經由排水至含水層而消散，因此不致影響短期的震後水位變化。但以震後長期水位歷線推算地層水文地質參數時，阻水層的超額水壓消散過程則扮演重要的補注角色。
7. 在地震期間以數位式水位計於台大農場監測井取得數位水位記錄。井水位變化的頻率相對於可能造成孔隙水壓變化的剪力波頻率為小。說明地層孔隙水壓變化轉為井水位略有延遲，減低水位起落的頻率與幅度，因此觀測井記錄之動態同震水位變化並不代表地層實際出現之孔隙水壓變化。

四、計畫成果自評

本研究計畫進行順利，本年度分析九二一集集地震與嘉義地震期間，濁水溪沖積扇與嘉南平原之水位異常變化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解釋同震水位變化之可行性。

本項研究計畫承蒙水利署、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加強相關研究。本研究整合各相關資料分析比對，篩選出可信之地下水位記錄，並針對集集地震與嘉義地震造成之水位異常變化進行重點研究，預期將對地震相關之水文地質科技整合研究有所助益。

五、參考文獻

- 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, 1062-1068.
- Ge, S. and S. C. Stover (2000) Hydrodynamic Response to Strike- and Dip-slip Faulting in a Half-space, *J. Geophys. Res.* 105, 25513-25524.
- 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.
- Johansson, I., H. C. Huang, and G. B. Ou (2000) Seismic distribution of Chiayi earthquake (991022) and aftershocks, 8th Geophysics Conference of Taiwan, 216-223.
- 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, 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.
- Wang, C. Y., L. H. Cheng, C. V. Chin, and S. B. Yu (2001) Coseismic Hydrologic Response of an Alluvial Fan to the 1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan, *Geology* 29, 831-834.
- 王原賢、賈儀平 (2003) 集集地震與嘉義地震前後地下水位變化機制，*中國地質學會九十二年年會暨學術研討會論文集*，頁次 40。
- 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。