

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

集集地震液化地區土壤動態特性之探討

Dynamic Characteristics of Soils in the Liquefaction Area During Chi-Chi Earthquake

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-151

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：翁作新 國立台灣大學土木工程學系

計畫參與人員：李怡穎、林家賢 國立台灣大學土木工程學系

一、中文摘要

集集地震為台灣百年來引致災害最大之地震。台灣中部地區震度甚大，許多地區，尤其是濱水砂質土壤，發生廣泛的土壤液化現象。彰化縣員林鎮及其相鄰之大村鄉與社頭鄉的土壤液化災害相當嚴重。國科會委託亞新工程顧問公司在此地區進行鑽探調查，並進行現地試驗與量測。在鑽探時亦取"不擾動"薄管土樣，以進行室內土壤動態特性之試驗與分析。液化土壤屬於細砂及粉土，細料含量相當高。而現地鑽探所取得薄管土樣之室內動力三軸試驗結果顯示在集集地震所引致之剪力作用下，可能發生液化土層所取出的土樣的確都會液化。由應力控制與應變控制之動力三軸試驗結果，配合共振柱試驗結果，可得在不同應變振幅時員林地區土壤之動態剪力模數與阻尼比。反復作用力下土壤勁度之折減，在本研究中亦加以探討。

關鍵詞：地震、土壤液化、動態特性

Abstract

The Chi-Chi earthquake induced extensive soil liquefaction in many areas in central Taiwan, and caused substantial damages to buildings, roadways, bridges, and water front structures. Field investigation and explorations were performed in Yuan-Lin and its neighboring towns, Da-Chun and Sheh-Tou. Thin-walled tube "undisturbed" soil samples were taken during the subsurface explorations. Laboratory dynamic tests were conducted on these samples. The

liquefaction test results show that the samples of the probably liquefied soils during the Chi-Chi earthquake failed under the dynamic loading in the cyclic triaxial tests equivalent to the shear stresses induced by the Chi-Chi earthquake in this area. Combining the stress-strain relations during the stress-controlled and strain-controlled cyclic triaxial tests, and the resonant column test results, the characteristics of shear modulus and damping of these soils at various strain amplitudes were obtained. The stiffness reduction of these soils under cyclic loading was also studied for the evaluation of the soil-structure interaction and the design of foundations under earthquake loading.

Keywords: Earthquake, Soil liquefaction, Dynamic characteristics

二、前言

集集大地震台灣中部地區震度甚大，多處發生土壤液化現象，尤其在彰化縣員林鎮及其相鄰之大村鄉與社頭鄉之液化情形相當嚴重，引起重大災害 [1]。因此國科會委託亞新工程顧問公司在此地區進行鑽探調查，並進行現地試驗與量測，以了解員林地區土層分佈狀況與特性以及其液化潛能，以為重建及新建工程參考之用。亞新工程顧問公司已提出該案之成果報告 [2]。在地層鑽探中除現地試驗外，亦取得 54 支薄管土壤試樣以供有關土壤液化研究之用。其中 44 支送至國立台灣大學土木工程學系及國家地震工程研究中心之土壤力學實驗室。大部分的砂土試體在滴水後再

加以冰凍，以免運送過程中土樣受擾動，但其中有 16 支試體包括砂土或黏土土樣，取樣後並未受冰凍處理，而直接運送至實驗室。

本研究針對員林、大村及社頭液化區中鑽探取得之薄管土壤試樣，以 CKC 動力三軸儀進行應力控制與應變控制動力三軸試驗，求取土壤液化強度及動態特性。同時亦進行土壤物性試驗及粒徑分佈分析。並對反復作用力下土壤勁度之折減，加以探討。所得結果將作為液化潛能評估，地盤反應分析，以及基礎耐震設計之基本資料。

三、員林地區地層特性

本次地下調查共佈設 50 個鑽孔位。員林鎮有 41 個鑽孔，大村鄉有 5 個鑽孔，社頭鄉有 4 個鑽孔，其平面位置分別如圖 1 所示。

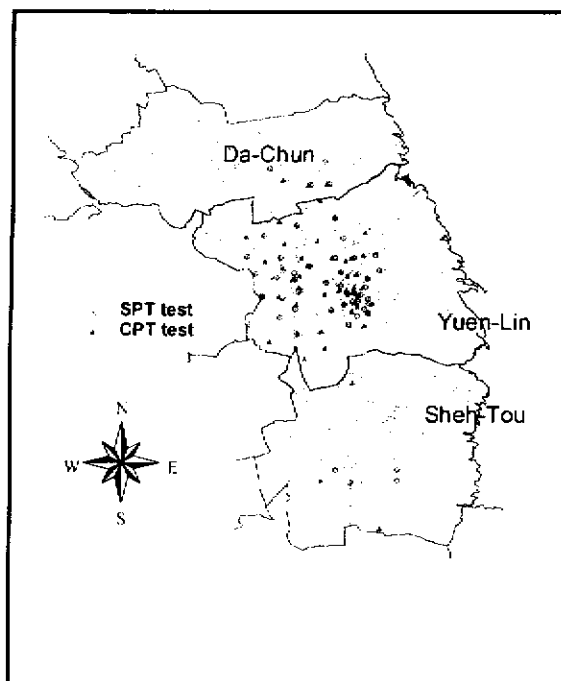


圖 1 員林地區鑽孔及試驗孔位配置圖

本計畫之研究區域屬西部平原地質區，東側緊鄰八卦山台地，屬於濁水扇洲之一部份。由觀測井及水壓計量測結果顯示地下水位深度約位於地表下 0.5 m 至 4 m 之間。調查資料顯示，員林鎮、大村鄉和社頭鄉的土層分布變化都很大，不少地區

在地表淺層即出現相當疏鬆之粉質砂土層，其標準貫入試驗(SPT)打擊數， N 值，可低至 2。土壤的剪力波速則由接近地表的 100 m/s 隨深度之增加漸增，到地表下 30 m 處大約為 250 m/s，而地表下 100 m 處則接近 600 m/s。地震時發生嚴重地層下陷及噴砂的區域大都為具有深度較淺而厚度大之砂土層以及較高之地下水位。

四、液化試驗結果

液化強度試驗中所得反復剪應力比(Cyclic shear stress ratio, CSR)與其引致初始液化所需荷重次數的關係示於圖 2。依照 Seed 等人(1971) [3] 所提計算地震引起的現地土壤之反復剪應力比，以及 De Alba 等人(1976) [4] 提出室內試驗結果與現地狀況的關係。可估計三軸試驗中相當集集地震引致之反復剪應力比。而地表最大加速度值(PGA)採用集集地震時員林國小測站所測得的 $PGA = 0.19g$ 。然後根據 Seed 等人(1985) [5] 所提關係，得集集地震之地震規模 $M_w = 7.6$ 時，其相對應的等值反復剪應力作用次數大約為 $N_{eq} = 15$ 。

試驗結果顯示，現地有可能發生液化之砂性土樣在相當於地震作用之反復剪應力比下，皆少於 15 次作用力時即液化，亦即在集集地震中皆可能產生液化。這些砂土試樣都是其鑽孔附近有液化表徵，如噴砂、房屋下陷傾斜，而且土層深度較淺(< 10 m)，SPT- N 值低(< 10)。而粘土質(CL)試體則在超過 200 次荷重作用時，仍不會液化，但其孔隙水壓亦有相當程度的增加。

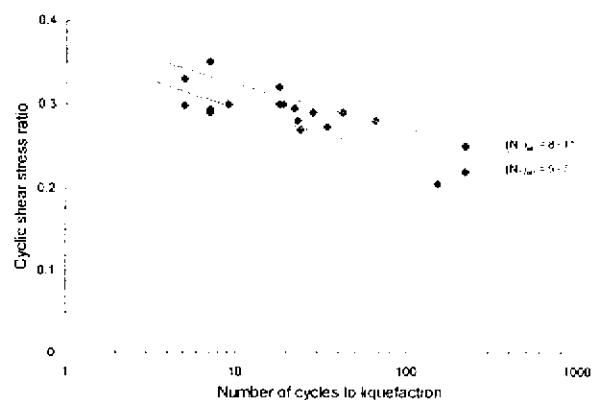


圖 2 員林地區砂土反復剪應力比與引致初始液化所需荷重次數的關係

五、動態剪力模數與阻尼比

從應力控制動力三軸試驗中，除可得土壤之液化強度外，尚可由其應力應變關係求得在不同應變(> 0.1%)下之動態剪力模數與阻尼比。而由應變控制三軸試驗中，則可得較小至 0.01% 應變之剪力模數與阻尼比。再加共振柱試驗所得應變範圍為 $10^{-2} \sim 10^{-4}\%$ 之結果[6]，員林地區砂土及粘土在不同應變振幅之動態剪力模數與阻尼比可得如圖 3 與圖 4 所示。圖中亦顯示與他人結果[7]之比較。本研所得土壤動態剪力模數與阻尼比尚屬合理。可用於員林地區受震地盤反應之分析。

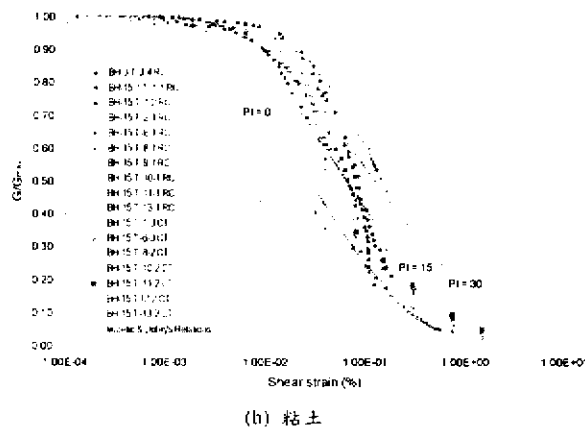
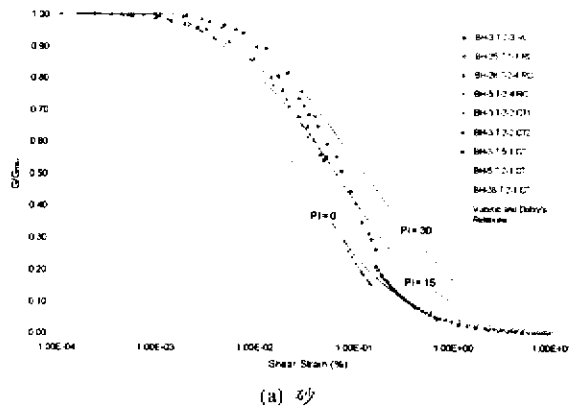


圖 3 員林地區土壤之正規化剪力模數與應變之關係

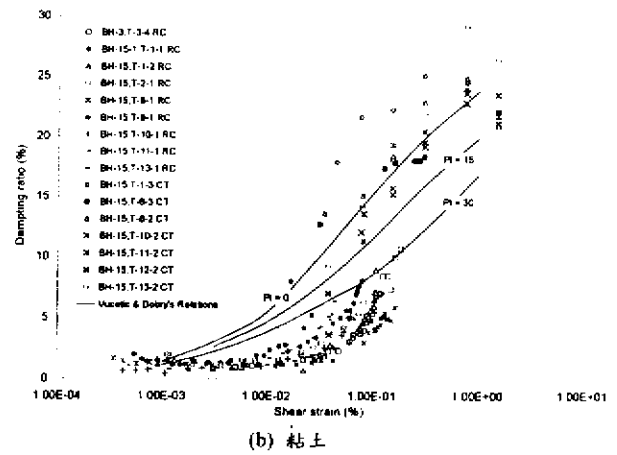
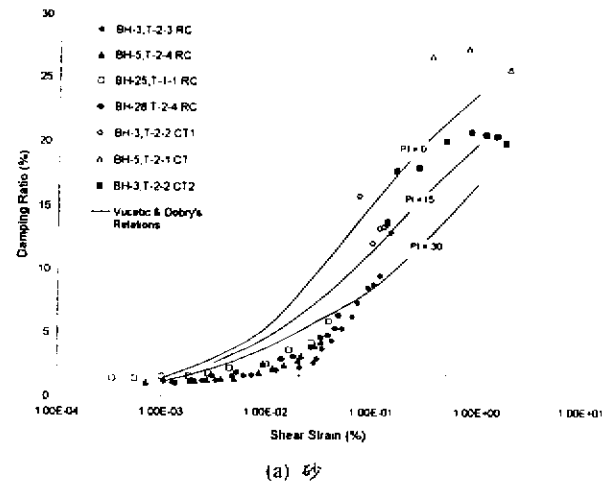


圖 4 員林地區土壤之阻尼比與應變之關係

六、反復作用力下土壤勁度折減

由動力三軸試驗中試體孔隙水壓之量測，可探討不同孔隙水壓激發下，剪力模數之變化。本研究以孔隙水壓比， $r_u = \Delta u / \sigma'_c$ ，與剪力模數比， G/G_0 ，之關係來探討反復作用力下土壤勁度折減的行為。其中 Δu 為孔隙水壓變化、 σ'_c 為試體初始有效圍壓、 G 為在孔隙水壓變化下之剪力模數、而 G_0 為無孔隙水壓變化時之剪力模數。圖 5 為員林地區土壤受反復作用力，其勁度折減與孔隙水壓變化之關係。試驗結果顯示砂土與粘土受反復作用力之勁度折減的行為，有相當的差異。與 Iwasaki 等人[8]之研究相比，員林地區砂土之受震勁度折減量比較大。

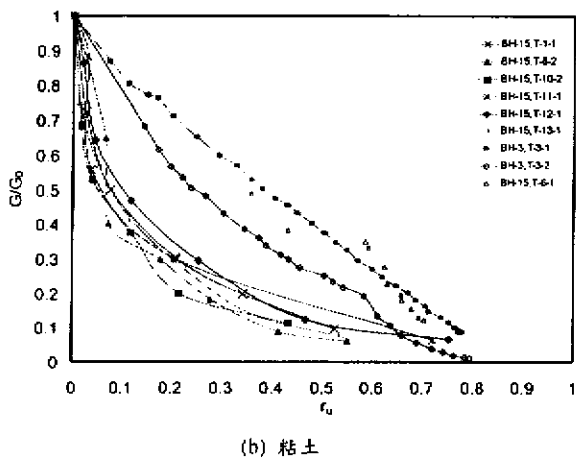
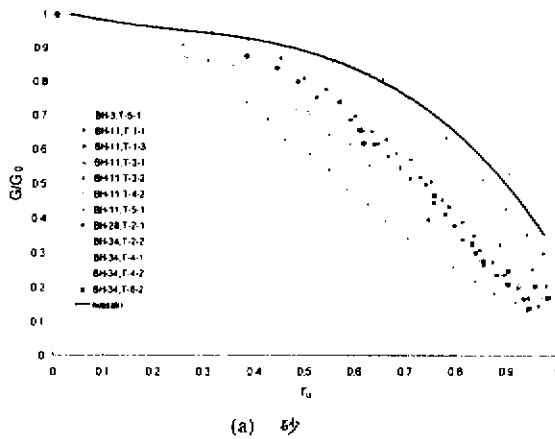


圖 5 員林地區土壤勁度折減關係

七、結論

集集地震之震度甚大，引起許多地區的土壤液化災害。尤其在彰化縣員林鎮及其相鄰之大村鄉與社頭鄉之液化情形相當嚴重。液化地區之土壤屬於細砂及粉土，其顆粒均勻，細料含量相當高。現地鑽探所取得薄管土樣之室內動力三軸試驗之初步結果顯示在集集地震所引致之剪力波作用下，可能發生液化土層所取出的土樣的確都會液化。由應力控制與應變控制之動力三軸試驗結果，配合共振柱試驗結果，得不同應變振幅時員林地區土壤之動態剪力模數與阻尼比，可為地盤反應分析之用。反復作用力下土壤勁度之折減，在本研究中亦加以探討，以為基礎耐震設計之參考。希望由調查及研究結果對台灣土壤動態特性，可有充分的了解，以建立本土液化潛能評估準則，並能修訂有關基礎設計規範。

八、參考文獻

- [1] 國家地震工程研究中心 (1999), 「921 集集大地震大地工程震災調查報告」, 台北。
- [2] 亞新工程顧問公司 (2000), 「土壤液化評估與處理對策研擬, 第一期計畫」, (彰化縣員林鎮、大村鄉及社頭鄉), 89 年 4 月。
- [3] Seed, H. B. and Idriss, I.M. (1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential," *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol. 97, No. SM9, pp. 1249-1274.
- [4] De Alba, P., Seed, H.B. and Chan, C.K. (1976). "Sand Liquefaction in Large-Scale Simple Shear Tests", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 102, No. GT9, pp. 909-927.
- [5] Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., and Chung, R.M. (1985), "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 111, No. 12, pp. 1425-1445.
- [6] 邱建銘 (2001), 「以剪力波速評估員林地區液化及其地層動態反應研究」, 國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- [7] Vucetic, M. and Dobry, R. (1991), "Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response," *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 1, pp. 88-107.
- [8] Iwasaki, T., Aralawa, T. and Tokida, K. (1982), "Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction During Earthquakes," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Conference*, Southampton, pp. 925-939.