

集集地震土壤液化總評估研究 - 總計畫

Evaluation of Soil Liquefaction during Chi-Chi Earthquake

計畫編號：89-2218-E-009-101

執行期限：89 年 08 月至 90 年 07 月

主持人：黃安斌 國立交通大學土木工程系 教授

一、中文摘要（砂土液化、現地試驗、冰凍取樣、動態試驗、殘餘強度）

台灣中西部地區之部分砂土在集集地震期間有明顯液化之跡象，並導致附近結構物之破壞。本研究計畫將整合國內六所大學，七個相關系所之學者，分成十個子題，對台灣地區顆粒性土壤液化之行為與潛能做一綜合評估研究，並對現有分析之方法提出必要改進之建議。為建立長期觀察與研究所需之資料庫，計畫中將選定三處試驗站並進行一系列之現地試驗、取樣及室內試驗，透過這些試驗來確立試驗站址之大地工程性質。在其中之一試驗站也將安裝強震儀以及孔隙水壓監測系統以便未來土壤液化之觀察。

本計畫之工作內容共分成：集集地震大地工程探勘資料彙整與分析、試驗站現地試驗、試驗站取樣及室內試驗、試驗站監測系統之安裝與地質背景調查、液化潛能分析方法之改進等五大項，十三個子計畫。這些子計畫之名稱如下：

1. 地震土壤液化區之地質背景特徵調查研究
2. 機率式液化潛能分析
3. 礫石性土壤液化潛能分析
4. 礫石性土壤之冰凍取樣與大型現地試驗
5. CPT 應用於地層調查與液化潛能評估之研究
6. 液化地區孔隙水壓監測與量測
7. 液化地區標準貫入試驗打擊能量檢測

8. 台灣地區剪力波速公式與液化潛能分析方法之研究

9. DMT、PMT、與剪力波速在液化潛能分析上之應用

10. 粉土細砂之動態行為研究

11. 集集地震液化地區土壤動態行為之探討

12. 台灣西部粉土質砂液化行為及評估準則之研究

13. TDR 在液化潛能分析上之應用

英文摘要（sand liquefaction, in situ test, frozen sampling, dynamic test, residual strength）

Soil deposits in the central western regions of Taiwan showed evidence of liquefaction during the Chi-Chi earthquake. Scholars assembled for this endeavor came from seven universities, will conduct research under thirteen sub-projects. The objectives of this research are to perform an overall evaluation on the liquefaction behavior of granular materials in Taiwan and to make necessary modifications in our current practice in assessing the potential of sand liquefaction. In order to facilitate long-term observation and accumulate a database for future studies, a number of test sites will be established. A series of in situ testing, field sampling and laboratory testing will be conducted to determine the geotechnical characterization of the test sites. An array of strong motion and pore water pressure measuring

systems will be installed at a test site to monitor any future events of sand liquefaction.

The thirteen sub-projects are grouped into five tasks: compilation and analysis of records associated with the Chi-Chi earthquake, in situ tests at the test sites, sampling at the test sites and laboratory experiments, geological background investigation for the test sites and installation of the strong motion monitoring system, and modification of the analytical procedures in assessing the potential of sand liquefaction. Titles of the sub-projects are:

1. Geological background investigation for sand liquefaction sites.
2. A probabilistic approach in assessing the liquefaction potential.
3. Liquefaction of gravelly soils.
4. Frozen sampling and large scale in situ testing in gravel deposit.
5. Use of CPT in ground exploration and assessing the liquefaction potential.
6. Pore water pressure monitoring at a liquefaction site.
7. Calibration of hammer energy for SPT at liquefaction sites.
8. A research on shear wave velocity regression equations and liquefaction potential analysis methods for Taiwan areas.
9. Use of DMT, PMT and shear wave velocity in assessing the liquefaction potential.
10. Dynamic behavior of silty fine sand.
11. A study on the dynamic behavior of soils in liquefied areas during Chi-Chi earthquake.
12. A study on the liquefaction behavior of the

silty sand in western Taiwan and principles in assessing the liquefaction potential.

13. Use of TDR in assessing the liquefaction potential.

二、計畫緣由與目的

台灣中西部地區之部分砂土，包括礫石與粉土細砂，在集集地震期間有明顯液化之跡象，並導致附近結構物之破壞。美國與日本於60年代即對砂土液化相關之議題從地質與大地工程之角度進行密集之研究。大地工程方面之研究基本上可以分成兩個方向。其一是採用取樣與室內動態剪力試驗來決定砂土在液化潛能與行為分析中所需之參數。重要之動態參數包括抗液化強度、阻泥係數、彈性模數遞減特性、以及殘餘強度等。研究指出這些砂土之參數受砂土顆粒之結構、粒徑分佈、礦物含量與年歲等因素之影響非常明顯 (Ishihara, 1993)。因此若要使用室內試驗之方法對現地砂土液化之行為做評估，必須採用非擾動性之試體才有意義。傳統使用冰凍法在地下水位以下為砂土做非擾動性取樣非常昂貴，所以至今非擾動砂土試樣之試驗數據非常有限。因為砂土礦物含量之差異與沈積環境之不同，國外所報導之試驗數據對國內砂土之適用性必須加以確認。

大地工程中對砂土液化行為之另一種研究方法是採用現地試驗，如此可以避免使用昂貴之冰凍取樣。最常用的現地試驗方法包括標準貫入試驗 (SPT) 圓錐貫入試驗 (CPT) 等 (Seed and De Alba, 1986; Olsen, 1994)。採用經驗的法則根據SPT之貫入打擊數 N 值或CPT之貫入阻抗 q_c 來決定砂土抗液化強度或殘餘強度

(Marcuson et al., 1990)。其他之現地試驗方法如剪力波速 平板膨脹儀 (DMT) 傍壓儀 (PMT) 也有被嘗試使用於砂土液化行為之研究

(Jamolkowski et al., 1995) 這些經驗法則之建立大多是根據現有試驗結果與液化行為資料庫

做標定與歸納之後提出，因此其適用性常受限於試驗設備、程序與土壤行為之區域性。現有國外所報導之試驗數據大部份是在低細料含量或乾淨之石英砂內所得之結果。Huang et al. (1999) 針對台灣西海岸非常具有代表性之雲林麥寮粉土細砂所做一系列之試驗指出，麥寮細砂含有雲母與黏土性礦物，其壓縮性遠高於乾淨之石英砂，因此在砂土行為與現地試驗結果分析上必須考慮這些差異性之存在才能得到適當之結果。SPT可能是國際間最常用之現地試驗方法，但是國內SPT所使用之夯錘屬於甜甜圈式，效率低且不穩定，因此在歐美與日本已不再使用。國內機具試驗所得SPT之N值是否能直接適用於國際文獻中所提之經驗法則也需要評估。

關於礫石性砂土之動態行為，在國際學術界之報導比較有限。礫石性砂土之液化行為也大多採用室內動態剪力試驗 (Evans and Zhou, 1995) 以及現地大型之 Becker Penetration Test (BPT) (Harder and Seed, 1986) 來評估。受到顆粒尺寸的影響，礫石性砂土試驗必須使用大型試體。同時因為礫石顆粒間孔隙很大，試驗時包在試體外之橡皮膜容易鉗入孔隙內而影響試驗結果。台灣中部常見之礫石比較接近卵石，其粒徑比前述所報導之礫石為大。國內關於礫石性砂土之動態剪力試驗數據非常有限，尤其是使用非擾動性試體所做之試驗。BPT 則尚未有在國內使用之經驗。

本研究之目的包括：

1. 集集地震大地工程探勘資料彙整與分析
2. 建立適用於台灣西部砂土，使用 SPT 與 CPT 試驗結果評估其液化潛能之方法
3. 評估使用其他現地試驗，包括 DMT、PMT、TDR 與剪力波速評估其液化潛能之方法
4. 嘗試使用不同之方法於地下水位以下取得

非擾動性之砂土試體

5. 對非擾動性試體進行一系列之室內試驗以決定其動態參數
6. 經由室內試驗與現地試驗結果之比較，建立台灣西部砂土動態參數與現地試驗間之經驗關係。
7. 於地下水位以下以冰凍法取得非擾動性之礫石試體
8. 對非擾動性礫石試體進行一系列之室內試驗以決定其動態參數
9. 在礫石層內進行一系列之 BPT，建立使用 BPT 評估其液化潛能之方法

三、計畫執行狀況

按照計畫書之規劃，所有參與本整合型計畫之主持人分別於九十年一月五日與六月一日舉辦研討會發表各子計畫之研究成果，並發行論文集。一月五日所發表之論文題目如下：

- A. CPT 應用於地層調查與液化潛能評估之研究 (陳景文)
- B. 標準貫入試驗打擊能量檢測儀器製作 (蔡辦公).....
- C. 地震土壤液化區之地質背景特徵調查研究 (溫紹丙)...
- D. 台灣地區剪力波速公式與液化潛能分析方法之研究 (李咸亨)...
- E. TDR 在液化潛能分析上之應用 (林志平)
- F. 礫石性砂土液化潛能分析之研究 (林丙森)...
- G. 礫石性土壤之冰凍取樣與大型現場試驗 (黃俊鴻)...
- H. 液化機率評估方法之初步研究 (紀雲曜)...
- I. 員林液化地區土壤動態特性之探討 (翁作新).....
- J. 現場土層內液化監測儀之安裝與監測 (倪勝火).....
- K. 台灣西部粉土質砂液化行為及評估準則之研究 (陳堯中)
- L. CPT 在決定麥寮粉土細砂靜態行為之應用 (黃安

斌)。

六月一日所發表之論文題目如下：

- A. CPT 應用於地層調查與液化潛能評估之研究 (陳景文)
- B. 液化地區標準貫入試驗打擊能量檢測 (蔡錦松)
- C. 地震土壤液化區之地質背景特徵調查研究 (溫紹炳)
- D. 台灣地區剪力波速公式與液化潛能分析方法之研究 (李咸亨)
- E. TDR 在液化潛能分析上之應用 (林志平)
- F. 礫石性土壤液化潛能分析 (林炳森)
- G. 液化地區孔隙水壓監測與量測 (倪勝火)
- H. 機率式液化潛能分析 (紀雲曜)
- I. 台灣西部粉土質砂液化行為及評估準則之研究 (陳堯中)
- J. 飽和砂土之動態試驗 (黃安斌)

各子計畫已完成其既定之目標，總計畫已完成三個試驗站之選定與地主之授權作為未來兩年現地試驗以及取樣之用，此三個試驗站分別為：

- 1. 彰化縣員林鎮崙雅里崙雅巷 2 號，民安宮前空地 (GPS TWD67 座標：縱向 208326 橫向 2649353)
- 2. 彰化縣員林鎮崙雅里明崙路，稻田及空地 (GPS TWD67 座標：縱向 20965 橫向 2650055)
- 3. 南投國民小學，南投市彰南路一段 1059 號，明德樓前方 (東方)，原坍塌教學大樓地下室拆除後之北端。

本總計畫所規劃之礫石層貝克貫入試驗也已於 2001 年 9 月底完成。圖一顯示貝克貫入試驗進行時之情況。圖二顯示五組貫入試驗中之一組 (P1, 外徑 232mm, 厚度 40mm, 長度 18m) 每貫入 30cm 之打擊數 (N) 與深度之關係。

四、參考文獻

Evans, M.D., and Zhou, S., 1995, "Liquefaction Behavior of Sand-Gravel Composites," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,

Vol.121, No.3.

Harder, L.F., Jr., and Seed, H.B., 1986, "Determination of Penetration Resistance for Coarse-Grained Soils Using the Becker Hammer Drill," Earthquake Research Center, University of California, Berkeley, Report UCB/EERC-86/06.

Huang, A.B., Hsu, H.H., Chang, J.W., 1999 "The Behavior of a Compressible Silty Fine Sand," Canadian Geotechnical Journal, Vol.36, No.1, pp.88-101.

Ishihara, K., 1993, "Liquefaction and Flow Failure during Earthquakes," Geotechnique, Vol.43, No.3, pp.351-415.

Jamiolkowski, M., Lo Presti, D.C.F., and Pallara, O., 1995, "Role of In Situ Testing in Geotechnical Earthquake Engineering," Proceedings, Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Missouri, April 2-7.

Marcuson, W.F., Hynes, M.E., and Franklin, A.G., 1990, "Evaluation and Use of Residual Strength in Seismic Safety Analysis of Embankments," Earthquake Spectra, Vol.6, No.3, pp.529-572.

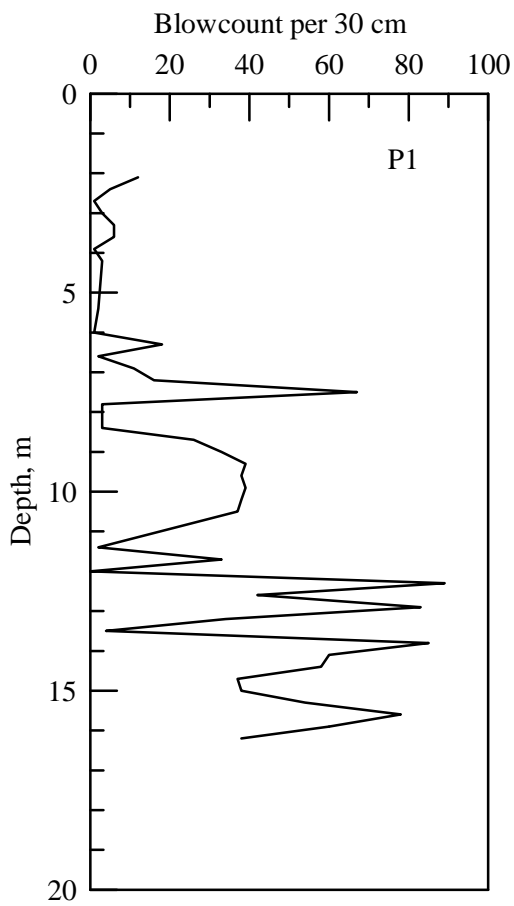
Olsen, R.S., 1994, "Normalization and Prediction of Geotechnical Properties Using the Cone Penetration Test," Technical Report GL-94-29, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, 322pp.

Seed, H.B., and De Alba, P., 1986, "Use of SPT and CPT Tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Sands," Proceedings, In Situ '86, ASCE, pp.281-302.

五、圖表



圖一 貝克貫入試驗現場



圖二 P1 之貫入阻抗與深度之關係