

粉土細砂之動態行為研究

Dynamic behavior of silty fine sand

計畫編號：90-2611-E-009-005

執行期限：90年08月至91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、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。本研究計畫屬於『集集地震土壤液化總評估研究 - 總計畫』其中十三個子計畫之一。此一整合型計畫之目的是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。本子計畫之主要任務是在位於台灣中西部之粉土細砂層中進行一系列之非擾動性取樣，並對這些試樣進行相關之試驗以決定其土壤液化行為之參數。非擾動性取樣使用 Laval Sampler 方法。室內試驗之目的是決定粉土細砂之抗液化強度、阻泥係數、彈性模數遞減特性、以及殘餘強度等。將使用應力控制之往復式三軸試驗以決定砂土試體之抗液化強度。彈性模數以及阻泥係數與應變間之關係將使用局部應變量測，應變控制之往復式三軸試驗來決定而不採用傳統共振柱試驗之方法。殘餘強度之決定將使用不排水單壓三軸試驗來量測。本報告簡述計畫執行現況。

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

Soil deposits in the central western regions of Taiwan showed evidence of liquefaction during the Chi-Chi earthquake. This proposed project is part of a coordinated group research effort on "Evaluation of Soil Liquefaction during Chi-Chi Earthquake" that includes 13 sub-projects. The objectives of this group 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. Tasks assigned to this sub-project are to obtain undisturbed soil samples from the silty fine sand

deposit in central western Taiwan and to perform laboratory tests on the undisturbed samples. Laval sampler was used to take undisturbed silty sand samples from below the ground water table. Cyclic strength, damping characteristics, modulus degradation and residual strength of the undisturbed samples will be measured. Pneumatic cyclic triaxial tests will be performed to determine the cyclic strength. Dynamic characteristics that include damping ratio and modulus degradation will be determined using a strain controlled cyclic triaxial device. The triaxial cell is capable of measuring local strains with extremely fine resolution during the test. The conventional resonant column test method will not be used in this project. Residual strength will be determined from undrained triaxial compression tests on the undisturbed samples. This report briefly describes the status of the research.

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，另一種研究方法則是採用現地試驗。本研究將專注於室內動態剪力試驗。

砂土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）。

本研究之主要目的是嘗試使用 Laval Sampler 之

方法在指定之試驗站取樣，然後進行一系列之室內應力與應變控制之三軸試驗。這些試驗之目的在確定天然砂土勁度（剪力模數）及阻尼係數與應變之關係、飽和情況下往復受力抗液化之強度、穩定狀態曲線、以及其殘餘強度之特性。結果之分析將注重粉土含量、試體擾動、顆粒結構、粉/黏土與細砂微小互層

（microlayering）對粉土細砂行為之影響，為台灣西部粉土細砂建立一套完整之數據做為未來分析之用。室內試驗之結果與現地試驗剪力波速試驗、SPT 與 CPT 之結果對應，建立 V_s 、 N 或 q_c 與抗液化強度間之關係。

本計畫進行之步驟與總計畫配合，將分三階段執行。第一階段（89 年 8 月至 90 年 7 月）以彙整集集地震期間土壤液化之紀錄以及相關探勘、調查結果資料為主，選擇試驗站場址並規劃鑽探取樣之數量與位置。第二階段是進行現場之取樣以及粉土細砂之室內試驗。

三、計畫執行狀況

在本研究之總計畫中已選定三所試驗站以及每一試驗站所需進行之研究工作，這些試驗站之細節在總計畫報告中敘述。本報告敘述在員林試驗站進行粉土細砂 Laval 取樣之成果與現有麥寮粉土細砂室內試驗之成果。

3.1 粉土細砂之低擾動取樣

使用冰凍法在地下水位以下為砂土做非擾動性取樣之報導因為試驗費用高昂，非常有限。Yoshimi et al. (1989) 使用溫度介於 -26 至 -28°C 間之液態氯化鈣做為冰凍液，使用金屬管將冰凍液導入砂土內。冰凍時間約三星期，然後才能以岩心取樣器，使用溫度介於 -4.5 至 -8.5°C 間之穩定液，將砂土試體取出。此一冰凍取樣方法非常昂貴而且費時。加拿大的學者在過去二十年間發展出一些比較實用之砂土非擾動或接近非擾動性取樣方法。Laval Sampler 原本是加拿大 Laval 大學為靈敏性黏土取樣而研發（La Rochelle et al., 1981），是一種大型之薄殼取樣器，其試樣直徑 20 cm。圖一顯示 Laval Sampler 之設計概念圖。大尺寸最主要之優點是在試體中心部位之擾動非常低。Laval Sampler 在地下水位以下具有相當程度凝聚力粉土細砂之取樣也有成功的經驗（Konrad et al., 1995）。Laval

Sampler 在常溫下取樣，試樣長度約 400 mm。圖二顯示作者在員林民安宮試驗基地進行 Laval Sampler 取樣之情形。試樣取出後在地表使用乾冰（如圖三所示）從試樣頂部逐漸冰凍，然後輸送至試驗室。使用低擾動砂土試體進行動態三軸試驗來決定其抗液化強度可以避免許多 SPT 與 CPT 經驗法則所必須面對之問題，如細料含量之修正與砂土壓縮性之考量。

3.2 麥寮砂壓縮性對動靜態行為之影響

因為麥寮砂（MLS）之壓縮性，在某些細料含量（Fines Content, FC）與初始相對密度 D_{ro} 範圍內同一孔隙比之砂土試體可以在 $OCR = 1$ 之情況下以較高之 D_{ro} 製作，或以較低之 D_{ro} 製作試體然後施加更高之壓密壓力然後解壓使其 $OCR > 1$ ，兩者最終之 e 與 f'_c 都相同或類似。但過壓密之砂土試體其行為則可能與正常壓密之試體不同。圖四與五分別比較 $FC = 15$ 與 50% 其試體最終之 e 與 f'_c 類似但 OCR 則有 1 與 4 之差異情況下 CIU 單向壓縮試驗之結果。這些結果顯示 $OCR = 4$ 之試體在受剪過程中所產生之超額孔隙水壓明顯高於 $OCR = 1$ 之試體。圖六至九展示 $FC < 5$ 、 $= 15$ 、 $= 30$ 以及 $= 50\%$ 試體最終之 e 與 f'_c 類似情況下 $OCR 4$ 與 1 對抗液化強度之影響，其結果以超額孔隙水壓與時間之關係來表示。結果顯示在所有 FC 情況下 OCR 由 1 增加為 4 都會使其抗液化強度增加，但其差別會隨著 e 之降低而減少。

四、參考文獻

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

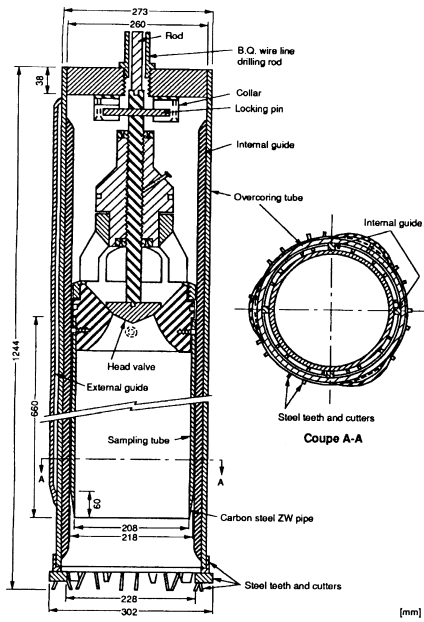
Konrad, J.-M., St-Laurent, S., Gilbert, F., and Leroueil, S., 1995, "Sand Sampling below the Water Table Using the 200mm Diameter Laval Sampler," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.32, pp.1079-1086.

La Rochelle, P., Sarrailh, J., Tavenas, F., Roy, and Laroueil, S., 1981, "Causes of Sampling Disturbance and Design of a New Sampler for Sensitive Soils," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.18, No.1, pp.52-66.

Yoshimi, Y., Tokimatsu, K., and Hosaka, Y., 1989, "Evaluation of Liquefaction Resistance of Clean

Sands Based on High Quality Undisturbed Samples,” Soils and Foundations, Vol.29, N0.1, pp.93-104.

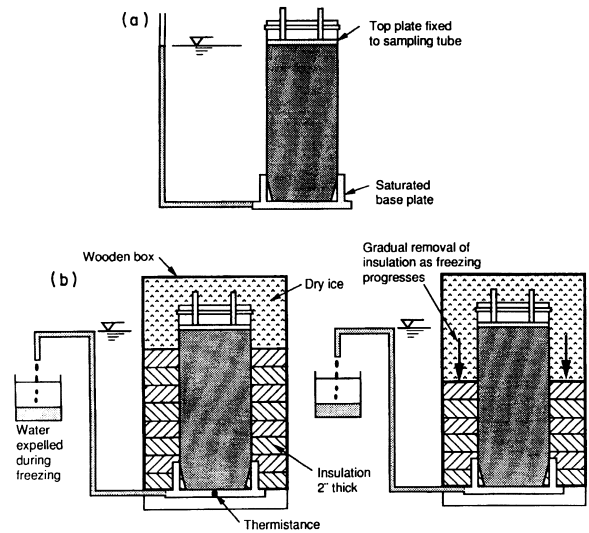
五、圖表



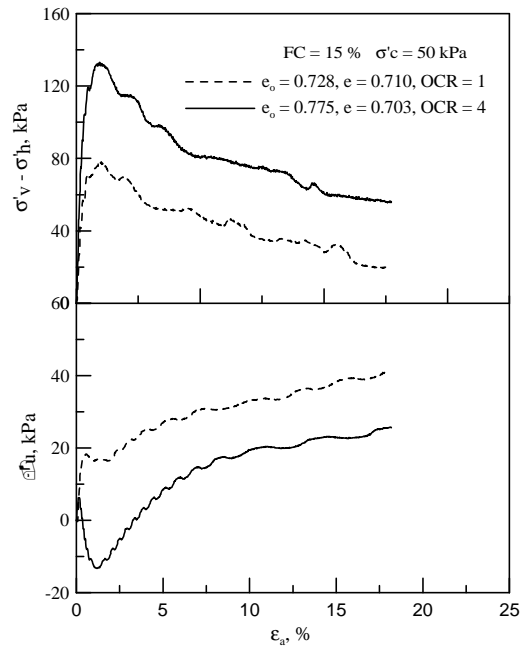
圖一 Laval Sampler 設計概念圖
(摘自 La Rochelle et al., 1981)



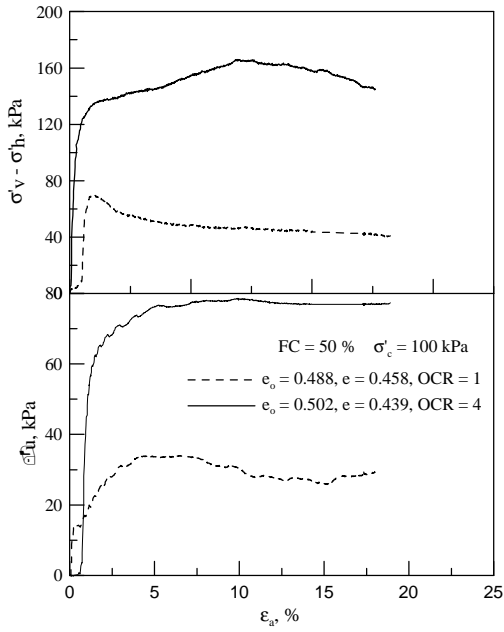
圖二 Laval Sampler 工作情形



圖三 Laval Sampler 試樣之地表冰凍程序
(摘自 Konrad et al., 1995)

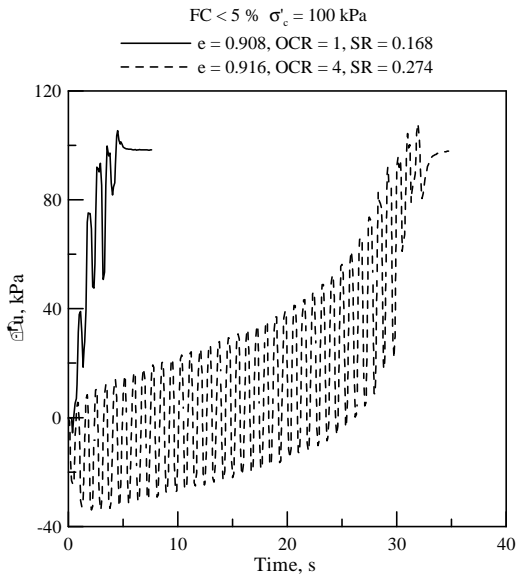


圖四 OCR 對 CIU 單向壓縮試驗結果之影響
(FC = 15%)



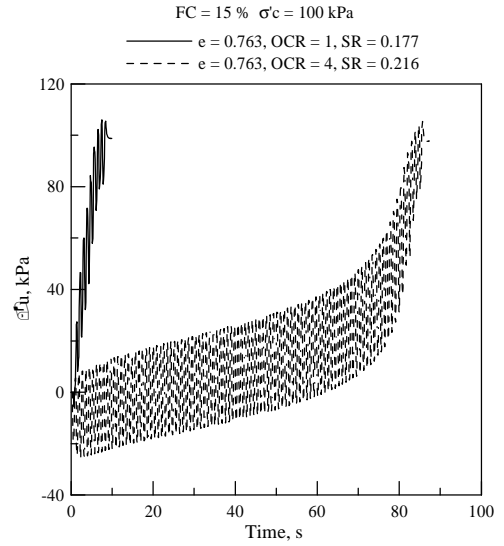
圖五 OCR 對 CIU 單向壓縮試驗結果之影響

(FC = 50%)



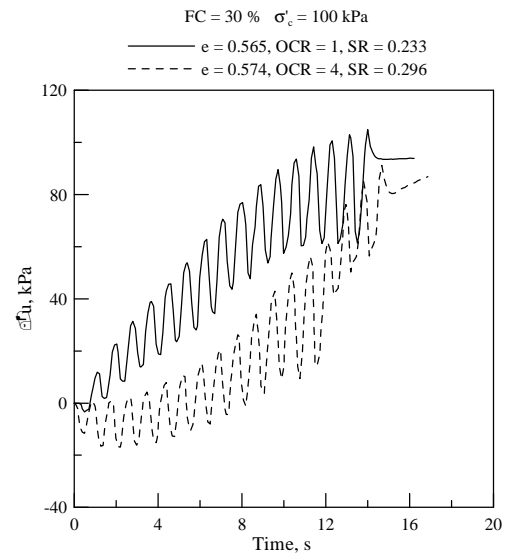
圖六 OCR 對動態三軸試驗結果之影響

(FC < 5%)



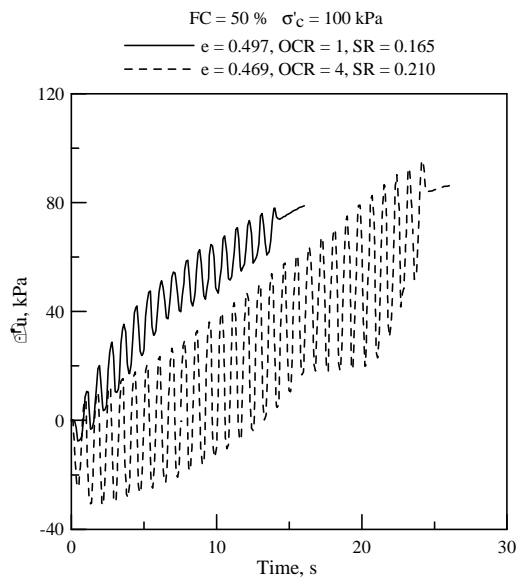
圖七 OCR 對動態三軸試驗結果之影響

(FC = 15%)



圖八 OCR 對動態三軸試驗結果之影響

(FC = 30%)



圖九 OCR 對動態三軸試驗結果之影響
(FC = 50%)