

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

粉土細砂非擾動取樣技術之研發與室內力學性質之量測 (1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-009-043-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：黃安斌

計畫參與人員：洪若安、黃俞桀

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 5 月 28 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☐ 成果報告
☒ 期中進度報告

粉土細砂非擾動取樣技術之研發與室內力學性質之量測(1/3)

計畫類別：☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2211-E-009-043

執行期間：2005 年 08 月 01 日至 2006 年 07 月 31

計畫主持人：黃安斌

共同主持人：

計畫參與人員：洪若安、黃俞桀

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☒ 精簡報告 ☐ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

☐ 赴國外出差或研習心得報告一份

☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份

☒ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年☐ 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學土木工程系

中 華 民 國 95 年 5 月 27 日

粉土細砂非擾動取樣技術之研發與室內力學性質之量測(1/3)

Development of Undisturbed Sampling Technique and Laboratory Determination of Mechanical Properties of Silty Sand (1/3)

計畫編號：NSC 93-2211-E-009-005

執行期限：93 年 08 月 01 日 至 94 年 07 月 31 日

主持人：黃安斌 國立交通大學土木工程系 教授

一、中文摘要（關鍵詞：粉土質砂土、非擾動取樣、室內試驗、勁度、極限強度）

台灣西部平原在台中以南、台北盆地、東部之宜蘭及花蓮，皆有厚層含粉土之砂性土壤，在此等土壤上進行的土木工程已不計其數，包括重大之公共工程建設例如捷運系統、高速公路以及高速鐵路等。國內外大地工程界對於粉土質砂土之研究都屬有限。根據主持人近期國科會所贊助之研究指出，如果使用現有簡易法對台灣粉土細砂做土液化潛能分析其結果將隨不同之現地試驗方法而有明顯之差異。主持人使用Laval sampler可以在不需要事先冰凍的情況下於粉土或粉土細砂中取得高品質之非擾動性試體，其成本遠低於傳統砂土冰凍取樣。而部分公共工程結構已受此地層移動之影響發生明顯之下陷而威脅其安全。這些現象之發生其主要原因大約可以歸納為：台灣粉土細砂受地質背景以及礦物含量之影響其壓縮性(compressibility)遠高於課本或研究論文中常見均勻級配而乾淨之石英砂(uniformly graded clean quartz sand)，同時台灣粉土細砂顆粒大多成扁平狀而且脆弱，其易碎性(crushability)也很高。因此如果要有效的解釋台灣粉土細砂之現地或室內試驗結果必須首先能夠掌握這些地質背景乃至於顆粒特性對於其工程性質之影響。本計畫之目的在於研發適用於國內之粉土細砂在常溫下非擾動性試體取樣技術以及進行一系列之室內試驗。

英文摘要（keywords：silty sand, undisturbed sampling, laboratory testing, stiffness, peak strength）

Thick layers of silty sand can often be found in the

Western coastal plains from south of Taichung, Taipei basin, Yilang and Hualien on the east coast of Taiwan. There have been countless civil engineering projects conducted in or on this type of soil deposit. The projects include infrastructures such as the rapid transit systems, highways and the high speed rail system. Knowledge on the mechanical behavior of silty sand has been limited. Previous NSC funded research performed by the investigator has indicated serious inconsistencies can occur when applying the simplified method in liquefaction potential assessment for the silty sand typically found in Central Western Taiwan. The investigator has used the Laval sampler to retrieve high quality silty sand samples under ambient temperature. The cost of Laval sampling is substantially lower than that of conventional freeze sampling. Some of the important infrastructures have either been affected or can potentially be affected by this ground subsidence. The main reason for these phenomena may well be due to the geological background and mineral contents of the silty sand in this region. The silty sand is significantly more compressible in comparison with the uniformly graded clean sand typically reported in textbooks or research papers. The sand grains are platy and contain relatively weak minerals. As a result, the silty sand in this region is also significantly more crushable. In order to properly interpret the field or laboratory test results, it is imperative to capture these characteristics of the silty sand. The objective of this project is to develop undisturbed sampling

techniques under ambient temperature that are compatible with the local industry, and to perform a series of laboratory tests.

二、計畫緣由與目的

台灣西部平原在台中以南、台北盆地、東部之宜蘭及花蓮，皆有厚層含粉土質之砂性土壤，在此等土壤上進行的土木工程已不計其數，包括重大之公共工程建設例如捷運系統、高速公路以及高速鐵路等。國內外大地工程界對於粉土質砂土之研究都屬有限。過去的研究對於乾淨砂（clean sands）之力學行為已有相當的認知，而且其力學行為與影響因子的建立，都能夠有一致的看法。然而，關於具有細粒料（通過#200 篩之材料）砂土行為的研究，並不完整也沒有一致的結論。此一現象之重要原因在於受非擾動取樣困難與昂貴之影響，現有關於含有細粒料砂土行為之研究幾乎都僅限於重模試體之室內試驗研究。重模試體的製做方法又有 dry deposition (DD)、water sedimentation (WS)、slurry consolidation (SC) 與 moist tamping (MT) 等許多種。以不同的試體製作方法受土壤組構之影響，所量得之不排水剪力強度即使在相同的 e 與圍壓下也不一致（蔡明道，2002）。Høeg et al. (2000) 曾經試圖在常溫下使用 SGI 活塞取樣器鑽取非擾動粉土質砂土試體，發現取樣管直徑必須小於 50mm，或從地表用手將薄管取樣器壓入的方式才能成功。由現地取得之粉土質砂土試體（不擾動試體）與實驗室內的重模試體比較，在靜態不排水試驗的行為上有相當大的差異。在相近的 e 值下，不擾動試體比較具延展與受剪膨脹性，而重模試體，卻比較呈現脆性與壓縮性，其尖峰強度也相對的低許多。根據 Høeg et al. (2000) 之研究，必須使用非擾動試體才能確實掌握含有細粒料砂土之力學行為。

作者在國科會所贊助之研究中使用 Laval sampler 成功的於員林鎮民安宮試驗站在常溫下取得高品質，直徑 20cm 高度 50cm 粉土細砂之非擾動性試體（Huang et al., 2004）。試體取至地表後再根據 Konrad et al. (1995) 所建議之程序使用乾冰從頂部以約 24 小時的時間將試體逐漸冰凍，在此過程中讓受溫度降低產生膨脹之水從

試體底部排出。以員林砂為例，其不擾動試體之含水量高於液性限度，重模試體無法複製現地砂土之緊密度。即使在較低的 e 值（比較緊密）的情況下，重模試體仍然展現更明顯之壓縮性與較低之動態強度（Huang and Huang, 2006）。因此若要取得有效這些之粉土細砂之力學行為，必須使用非擾動試體才有代表性。

本計畫之工作目標包括：

- 發展可以在國內廣為推展，經濟而實用之粉土細砂非擾動取樣技術、試體保存與室內試驗試體準備方法。
- 使用高品質試體進行一系列之室內試驗以決定台灣西部平原粉土細砂勁度、強度與透水性以及這些性質之異向性。
- 建立適用於台灣常見之粉土細砂之現地試驗結果解釋與基礎設計參數制訂之方法。

本年度之工作內容包括：粉土細砂非擾動取樣技術之研發、室內試驗儀器之修改與架設、以及初步試驗站現地試驗。

三、計畫執行狀況

主持人已在嘉義太保建立試驗站，完成第一系列之非擾動取樣然後進行一系列之三軸與壓密試驗。本計畫嘗試使用 Denison Sampler 鑽取 71mm 直徑之試體，然後以自行研發之裝置在地表將試體冰凍。

Denison Sampler 取樣與現場冰凍

Denison sampler 取樣是在使用皂土穩定液的情況下進行，試體取出地表後一直保持其垂直之狀態，並儘快將取樣管底部套入一特製之底座（如圖 1 所示）。此底座內部配有 O-ring 可防止試管內之孔隙水流出，底座下方安裝電子式溫度計以及 6.5mm 直徑之 PVC 管線做為排水之用。在土壤試管尚未插入前，先在底座內加入約 20mm 之水，同時將 PVC 管線內充滿水。土壤試管插入底座後立刻將 PVC 管線拉高，使得 PVC 管線內之水頭略高於土壤試體之頂部，如此可以防止試體內孔隙水受重力影響而流出。土壤試管外以隔熱泡棉包裹（圖 2），然後放入

保力龍製作之容器內，試體之冰凍是在土壤試管頂部放置-80°C 之乾冰，從頂部逐漸將試體冰凍，在冰凍的過程中逐步的將包裹在外之泡棉由上而下剝除。

孔隙水在冰凍的過程中，由於體積膨脹的關係會產生水壓，此膨脹之孔隙水從底部之 PVC 管線排出。在冰凍過程中，紀錄 PVC 管線排出之水量與在試管底部所量得之溫度。當試體完全冰凍時，底部溫度降至 0°C 以下，同時排出之水量不再增加。圖 3 展示一典型溫度與水量之紀錄。所有冰凍試體在保力龍容器內，使用乾冰保持冰凍的情況下運送至交通大學實驗室，直到試驗時才解凍。

試體之切割與解凍

所得試體在冰櫃中於溫度-20°C 的情況下保存，做試驗時先將試管取出放入一保力龍容器內，在試管周圍堆放-80°C 之乾冰以使試管及其內部土壤溫度降至-50°C 以下，然後在此低溫下使用高速金屬切割機將試體連同不銹鋼試管切割。切割完成後再將冰凍土壤用螺旋頂土器頂出試管，頂出過程中仍然使用乾冰將試體溫度保持在-50°C 以下。頂出之土壤試體直徑約為 71mm，三軸試驗直接將切割完成之試體放入一改裝完成可做之 K_0 壓密之三軸室（圖 4）。

壓密試驗所用之壓密環內徑 63.3mm，使用硬化之不銹鋼製作。為使試體放入壓密環內首先將冰凍試體豎立放置於一 20mm 厚之鋁板前方然後使用前頂土器將壓密環壓入冰凍試體內。壓入完成後以切刀將壓密環上下多餘之土壤刮除，然後將試體連同壓密環放入壓密儀之底座，然後將整個壓密儀組合，連通一鋁盤一起放入壓力架（圖 5）。

安置完成之試體在 5°C 的低溫情況下，從試體底部施加回水壓 20kPa，慢速解凍試體。此步驟根據 Hoffmann (1997) 對冰凍三軸試體解凍程序所提之程序。試體解凍完成時，受底部回水壓之影響從試體頂部會有滲水流出，此時再同時從試體上下透過排水管將回水壓增高至 300kPa，做試體飽和。在飽和過程中一直保持對試體施加軸向力 0.5kg（扣除水壓之影響）。解凍與飽和完成總共約需 12 小時，完成時試體已在室溫狀態。

圖 6 展示典型之定速率（constant rate of strain）壓密試驗結果，以孔隙比對有效壓密壓力

（ $e-\log\sigma'$ ）來展示。圖 7 至 9 分別展示一組 K_0 壓密不排水試驗之有效應力路徑、應力應變以及超額孔隙水壓與應變之關係圖。

四、參考文獻

蔡明道，2002，”細料含量對粉土細砂不排水強度的影響”，國立交通大學土木工程系碩士論文。

Høeg, K., and Dyvik, R., and Sandbækken, G., 2000, “Strength of undisturbed versus reconstituted silt and silty sand specimens.” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.126, No. 7, 606-617.

Hofmann, B.A., 1997, “In situ ground freezing to obtain undisturbed samples of loose sand for liquefaction assessment,” Ph.D. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

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.

Huang, A.B., Liao, J.J., Pan, Y.W., Cheng, M.H., Hsieh, S.Y., and Peng, J.K., 2000, “Characterization of Soft Rocks in Taiwan,” Proceedings, 4th North American Rock Mechanics Symposium, Seattle, Washington, pp.83-90.

Huang, A.B., Liao, J.J., Pan, Y.W., and Cheng, M.H., 2001, “Developments in the Characterization of Soft Rocks in Taiwan,” Theme Lecture, Post-Conference Proceedings, 14th South East Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, Vol.3, pp.165-176.

Huang, A.B., Lee, D.H., Lin, P.S., Tsai, J.S., Lin, C.P., Chi, Y.Y., Ku, C.S., Chen, J.W., Juang C.H. and Liou, Y.J., 2003, “Lessons Learned from the Post Chi Chi EQ Geotechnical

Explorations in Central Western Taiwan,” Proceedings, 12th Pan American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Cambridge, Massachusetts, edited by Culligan et al., Vol.1, pp.245-252.

Huang, Y.T, Huang, A.B., Kuo, Y.C., and Tsai, M.D., 2004, “A laboratory study on the undrained strength of a silty sand from Central Western Taiwan,” Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.24, No.9-10, pp.733-743.

Huang, A.B., Huang, Y.T. and Ho, F.J., 2004a, “Assessment of Liquefaction Potential for a Silty Sand in Central Western Taiwan,” submitted to the 16th International Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, Japan.

Huang, A.B. and Huang, Y.T., 2006, “Undisturbed Sampling and Laboratory Shearing Tests on a Sand with Various Fines Contents,” submitted to Soils and Foundations.

Konrad ,J. M., St-Laurent, S. Gilbert, F., and Leroueil, S. (1995) “Sand sampling below the water table using the 200 mm diameter Laval sampler.” Canadian Geotechnical Journal, Vol. 32, pp.1079-1086.

五、圖表



圖 1 冰凍試管用之底座



圖 2 土壤試管外隔熱泡棉與乾冰冰凍

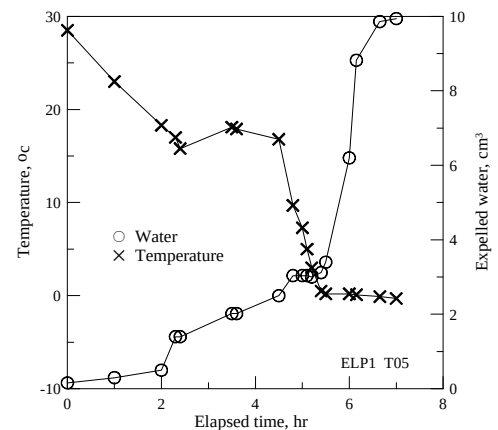


圖 3 典型溫度與水量之紀錄



圖 4 可做 K_0 壓密之三軸室



圖 5 組合架設完成之壓密儀

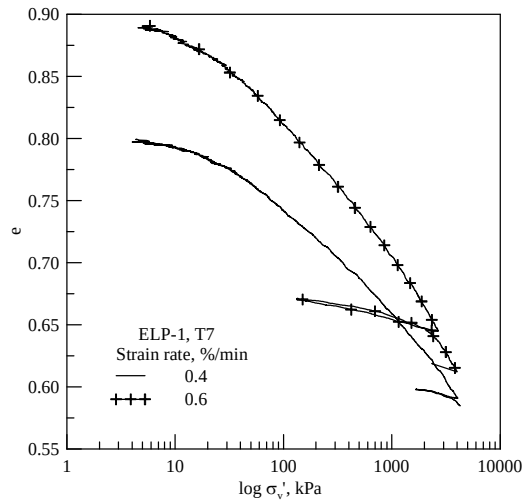


圖 6 CRS 壓密試驗結果

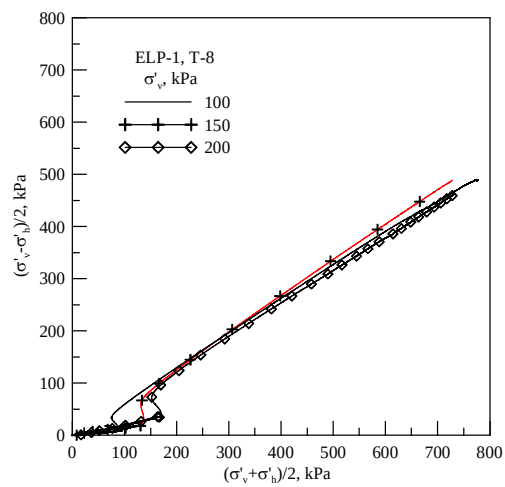


圖 7 有效應力路徑

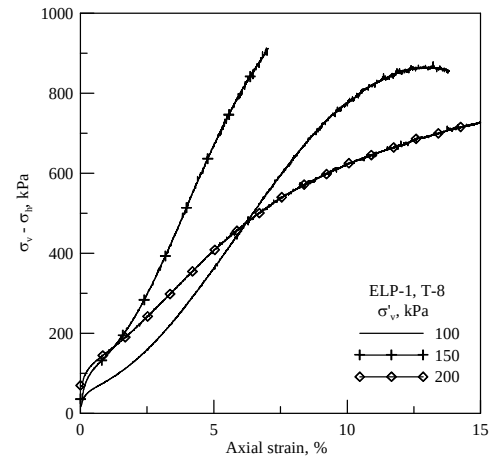


圖 8 應力與應變關係

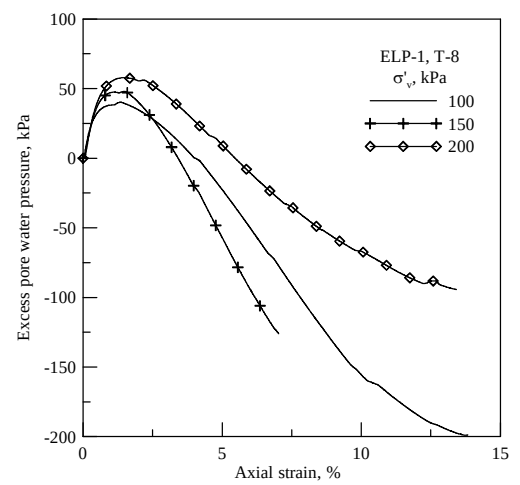


圖 9 超額孔隙水壓與應變關係