

# SHANSEP 方法的试验研究

王淑云 顾小芸  
(中国科学院力学研究所)

## 摘要

SHANSEP 方法是一种评价粘土固结不排水抗剪强度的有效、可行的室内试验方法,但国内尚未普及。作者通过用 SHANSEP 方法进行的连云港海洋粘土的等向固结不排水剪切试验结果与世界上其他地区的几种粘土具有很好的可比性,说明该方法在我国的适用性。由此,呼吁我国工程界,尤其是海洋工程界,将此方法应用到实际中去。

**关键词:** 土样扰动, 抗剪强度, 应力历史, 等向固结

## (一) 前言

SHANSEP 是“Stress History and Normalized Soil Engineering Properties”的简称,由 Ladd 和 Fott<sup>[1]</sup>(1974 年)提出,是克服土样扰动性的一种正确评价粘土固结不排水抗剪强度的方法。Ladd 和 Fott 认为: 只有在固结压力等于 1.5 到 2.5 倍现场土最大先期固结压力条件下, 土样的固结不排水抗剪强度才更真实地反映现场土原有的强度特性。而通常的室内固结不排水三轴试验一直普遍采用 Bjerrum<sup>[2]</sup>方法, 即将土样固结到现场土的有效上覆应力状态再进行不排水剪切的方法。两种方法相比, SHANSEP 方法的优势在于: 能以较少的土样(一般 5~6 个)得到土的归一化不排水抗剪强度与超固结比之间的关系曲线。如果场地土质条件均匀, 应力历史情况明确, 则可由此推算不同的钻孔、不同深度处场地土的强度剖面<sup>[3]</sup>, 从而大大降低了钻孔取样费用和室内实验工作量。

自 SHANSEP 方法提出至今已近 30 年。在最早的几年存在过一些争论, 争论的焦点主要在于适用土类和实验复杂性方面。SHANSEP 方法更适用于低灵敏性、非自然胶结和结构性不太强的粘土; 而复杂性主要是指同 UU(不固结不排水剪切)试验相比, SHANSEP 方法对固结过程的要求较高和费时。1981 年, 在美国土工试验标准方面的权威杂志 ASTM STP 上报导了将该方法用于海洋粘土的文章<sup>[3]</sup>。之后, 在较为重要的海洋工程地质调查中也应用了该方法<sup>[4]</sup>。随着此方法不断地被世界各地土工专家和学者采用、证实, 近十年来, 成功应用 SHANSEP 方法的工程实例报导<sup>[5][6]</sup>也越来越多。

作者在八五期间对海底管线进行研究时, 考虑到管线地区的浅层土多用重力式取样器获得, 土样的扰动性比较大, 故用 SHANSEP 方法进行了试验和探讨, 得到了满意的结果<sup>[7][8]</sup>。但在国内并未见到另外有关 SHANSEP 方法应用方面的报导, 工程单位也从不要求做这种试验。

目前, 我国正在大力开发海洋油气资源, 海洋平台和管线场地土工调查和评价项目的增多, 使工程师更加关注一个问题, 即如何以更低的钻孔取样费和试验费来得到更可靠的土性参数。因此, 我们呼吁海洋工程界, 更多地注意 SHANSEP 方法, 并把它应用到实际中去。

为此, 本文将<sup>[7][8]</sup>的试验再简单介绍一下, 提出自己的看法, 提请大家讨论。

## (二) 试验内容介绍

试验土样取自于连云港地区滩海, 深度范围为 2~6m。取样方法为重力式取样。  
土的基本物性指标为: 容重  $\gamma=16.8 \text{ kN/m}^3$ , 比重  $G=2.75$ , 含水量  $\omega=56\sim63\%$ , 液限  $\omega_L=62\%$ , 塑限  $\omega_p=28\%$ 。2~6m 内的土为深灰色、均匀的饱和软粘土。土的灵敏度  $S_t=1\sim1.5$ 。

针对国内普遍应用常规三轴仪的实际, 以等压固结剪切试验(简称 CIU)代替不等向固结剪切试验(简称 CK<sub>0</sub>U), 再对 CIU 试验结果进行修正, 并将 SHANSEP 方法与 Bjerrum 方法的试验结果予以比较。

试验内容包括:

(1) 一维固结压缩试验确定不同深度处现场土的最大先期固结压力  $\sigma_{vm}$  和应力历史。

(2) 2 组共计 5 个土样的 SHANSEP 方法试验:

2 个土样在不同固结压力条件下的正常固结 CIU 试验, 确定此粘土不排水抗剪强度是否具有归一化特性;

3 个土样在相同固结压力、不同超固结比条件下的 CIU 试验, 确定归一化不排水抗剪强度与超固结比的关系;

(3) 1 组共计 2 个土样的 Bjerrum 方法 CIU 试验。

### (三) 试验结果及分析

从 4 个土样的一维固结压缩试验  $e-lgp$  关系, 得到土样在 2.85m、5.6m 深度处的平均最大先期固结压力  $\sigma_{vm}$  分别为 30KP<sub>a</sub> 和 40KP<sub>a</sub>, 与其对应的原位有效上覆压力  $\sigma_v$  相等, 并考虑到土样在 2~6m 范围内的均匀性, 因此判定此范围内土基本处于正常固结状态。

按 SHANSEP 方法, 土样 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 分别在固结压力  $\sigma_{vc} = 1.4\sigma_{vm}$ ,  $2.2\sigma_{vm}$  条件下的正常固结(NC)的 CIU 试验结果见图 1 实线。可以看到: 此种粘土主要呈现塑性破坏形式, 在应变 6% 时, 剪应力达到最大值, 稍后又呈应变软化趋势。此种粘土的不排水抗剪强度具有很好的归一化特性, 其归一化不排水抗剪强度的平均值  $(S_u/\sigma_{vc})_{nc}=0.472$ 。

按 Bjerrum 方法, 土样 Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub> 分别在固结压力  $\sigma_{vc} = \sigma_v$  条件下的正常固结 CIU 试验结果见图 1 虚线, 两个土样的归一化不排水抗剪强度的平均值  $(S_u/\sigma_{vc})_{nc}=0.714$ 。

从图 1 来看, 两种方法的平行试验结果均很好, 其归一化应力~应变关系趋势基本相同, 但后者的  $S_u/\sigma_{vc}$  值明显高于前者。从这一点说明了 SHANSEP 方法基于土的初始压缩曲线的解释是合理的。也就是说, 如果将土样重新固结到其初始压缩曲线上, 此时需要的固结压力值应在 1.5~2.5  $\sigma_{vm}$  范围, 如果固结压力值等于  $\sigma_v$  (此处即  $\sigma_{vm}$ ), 那么土样尚未达到初始压缩曲线上, 由此得到的  $S_u/\sigma_{vc}$  值则是反映了具有一定超固结比的土的强度特性, 因此, 按 Bjerrum 方法得到的  $S_u/\sigma_{vc}$  结果必然偏高。对于试验粘土, 用 Bjerrum 法确定的土的不排水抗剪强度值比用 SHANSEP 方法高约 30%, 这与一些文献的评价也是一致的<sup>[3]</sup>。

图 2 是 3 个土样 X<sub>22</sub>、X<sub>24</sub>、X<sub>26</sub> 分别在初始固结压力  $\sigma_{vo} = 2\sigma_{vm}$  条件下固结, 然后卸载到具有不同超固结比  $OCR=2、4、6$  时再进行剪切的 CIU 试验结果。可以看到, 随  $OCR$  的增大, 土样的  $S_u/\sigma_{vc}$  值增大。

考虑到现场土是在  $K_0$  应力状态下的, 国外文献报道的试验结果也是基于 CK<sub>0</sub>U 试验基础上的, 为了便于实际应用以及与不同土的比较, 需将上述 CIU 转换成 CK<sub>0</sub>U 试验结果。

Mayne<sup>[9]</sup> (1985 年) 通过对 42 种不同粘土在 CIU 和 CK<sub>0</sub>U 条件下的试验结果总结, 发现两种试验得到的归一化不排水抗剪强度对每种土都存在一定的关系, 并提出了两种试验结果的换算关系:

$$\left(\frac{S_u}{\sigma_{vc}}\right)_{CK_0U} = 0.87 \left(\frac{S_u}{\sigma_{vc}}\right)_{CIU}$$

根据此换算关系, 将从图 1 和图 2 得到的  $OCR=1、2、4、6$  条件下的  $S_u/\sigma_{vc}$  和  $OCR$  值绘于图 3 中, 并与世界上其他一些地区粘土的 CK<sub>0</sub>U 结果进行比较。从中可以看到: 连云港海洋粘土与其它几种粘土的  $S_u/\sigma_{vc} \sim OCR$  关系曲线具有相同的发展趋势, 吻合较好。该粘土的归一化不排水抗剪强度与超固结比之间的关系表示为:

$$\left( \frac{s_u}{\sigma_{vc}} \right)_{OCR} = 0.41 \cdot OCR^{0.62}$$

由于场地土质条件均匀, 应力历史条件已知, 据此关系, 可推算现场土沿深度方向的强度剖面。

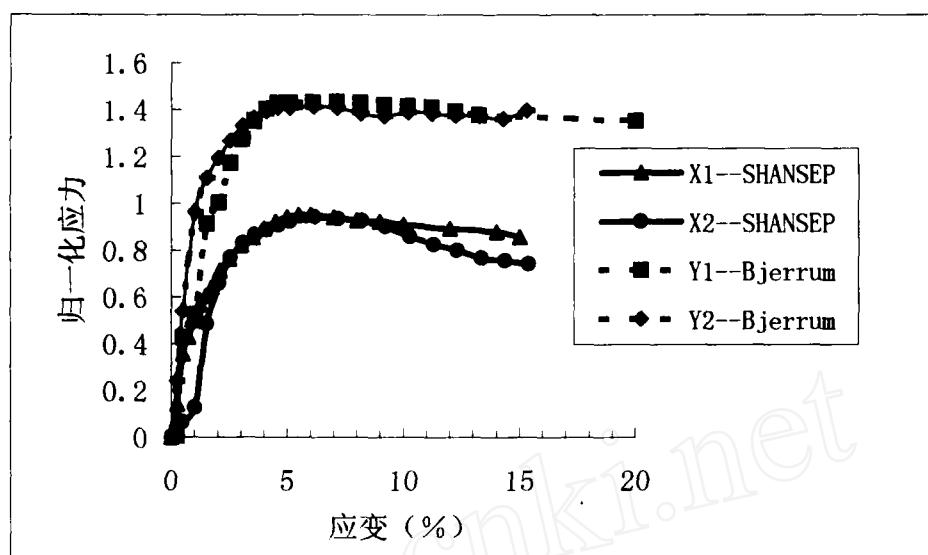


图1 两种方法的CIU试验结果比较  
(正常固结土样的归一化应力~应变关系)

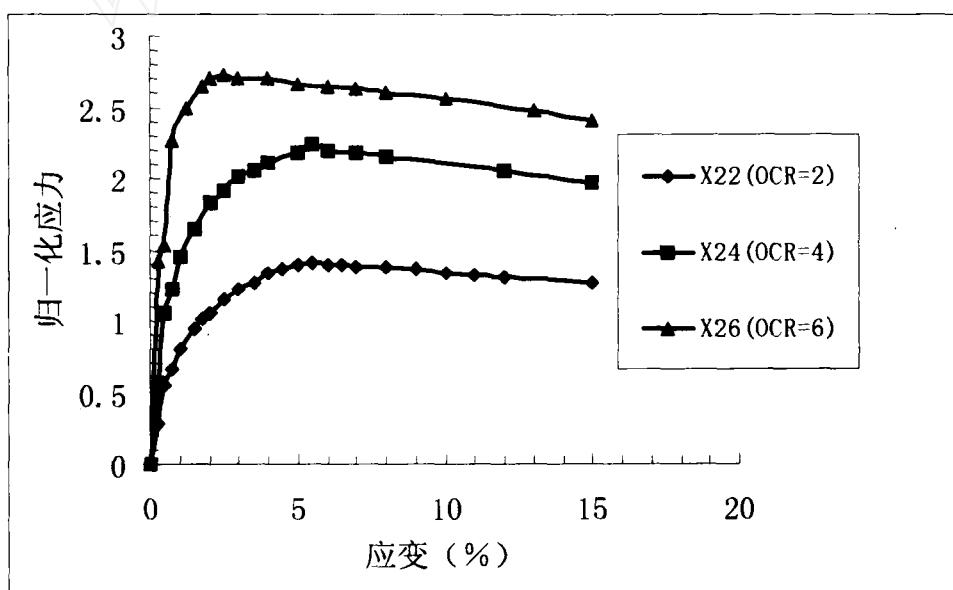


图2 SHANSEP法的CIU试验结果  
(超固结土样的归一化应力~应变关系)

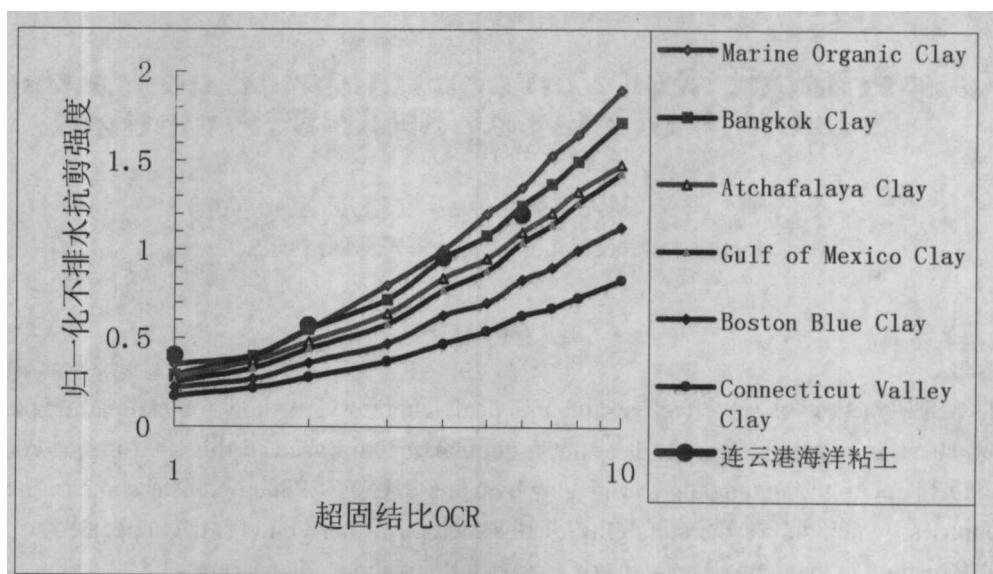


图3 土样的  $s_u / \sigma_v \sim \text{OCR}$  关系及与其它粘土的比较

#### (四) 结论

(1) SHANSEP 方法已是国际上通用的一种试验方法, 是克服土样扰动性的一种正确评价粘土固结不排水抗剪强度的方法, 能以较少的土样得到更可靠结果的方法。它适合于低灵敏度和结构性不太强的粘土, 适用于许多海洋土的情况。

(2) 对由重力式取样器得到的连云港海洋粘土用 SHANSEP 方法的 CIU 试验和分析表明, 与 Bjerrum 方法相比, SHANSEP 方法比 Bjerrum 方法能更有效地减少土样扰动性和正确评价粘土的不排水抗剪强度; 并能得到在  $CK_0U$  条件下的归一化不排水抗剪强度与超固结比的关系式。连云港粘土的试验结果与世界上其它地区粘土的试验结果具有很好的可比性。

(3) 希望国内其它地区的一些粘土也能尽快采用 SHANSEP 方法进行评价, 尤以海洋工程更为迫切。

#### 参考文献

- [1] Ladd, C. C. and Fott, R. New design procedure for stability of soft soil. ASCE J. Geotech. Eng. Div. 1974, Vol.100, No.GT7:736~786
- [2] Bjerrum, L. Problems of soil mechanics and construction on soft clays. Proceedings 8th ICSMFE, 1973, Vol.3:111~160
- [3] Koutsoftas,D.C. Undrained shear behavior of a marine clay. ASTM STP 740, 1981, 254~276
- [4] Young,A.G, Quiros,G.W and Ehlers,C.J. Effects of offshore sampling and testing on undrained soil shear strength. OTC 4465, 1983, 193~201
- [5] Yoichi Watabe, Takashi Tsuchida and kakuichiro Adachi, Undrained shear strength of Pleistocene clay in Osaka Bay, ASCE J. Geotech. and Geoenvir. Eng. 2002, Vol. 128, No.1: 216~226
- [6] Thiam-Soo Tan, Fook-Hou Lee, et al. Effect of sampling disturbance on properties of Singapore clay. ASCE J. Geotech. and Geoenvir. Eng. 2002, Vol.128, No.11:898~906
- [7] 王淑云, 顾小芸, 海底管线地区粘土不排水抗剪强度参数的室内试验研究. 岩土工程师, 1996 (3): 6~12
- [8] Wang Shuyun, Gu Xiaoyun, Tang Xingeng. Laboratory study on the undrained shear strength of marine clay. Proc.of Second International Conference on Soft Soil Eng. Nanjing, 1996:163~168

[9] Mayne.P.W. Stress anisotropy effects on clay strength. ASCE J. Geotech. Eng. 1985, vol.111, No.GT3:356~366

## The experiment study on consolidated undrained shear strength of clay by SHANSEP method

WANG Shu-yun GU Xiao-yun

(Institute of mechanics , Chinese Academy of Sciences)

### Abstract

SHANSEP method is an effective and practical laboratory method for estimating the consolidated undrained shear strength of clay, but it is not a popular method used in this area in our country. The test results in this paper on Lianyungang marine clay by using SHANSEP method bear comparative with those in other countries, which shows the suitability of this method in our country. It is appealed to popularize the SHANSEP method in the domestic engineering, especially offshore engineering.

**Key Words:** sample disturbance, shear strength, stress history, isotropic consolidation

### 作 者 简 介

王淑云 女, 1965 年出生, 中国科学院力学研究所高级实验师, 主要从事海洋土力学方面的实验工作。