

上海第②层粉质黏土非饱和强度与变形模量的三轴试验研究

尹 骥^{1, 2}, 陈 宝^{1, 2}, 李 煜^{1, 2}, 杨林德^{1, 2}

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘 要: 对上海第②层粉质黏土重塑土进行了控制吸力、净围压的加卸载剪切试验。结果表明: 该层土的非饱和强度特性符合 Fredlund 非饱和土强度理论; 随着吸力的增加, 土体的刚度和强度也随之增加, 但较净围压对土体刚度、强度的影响要小很多; E_{50} 模量和 E_{ur} 模量与吸力和围压具有较好的线性关系。同时, 给出了该层土的强度参数、 E_{50} 模量和 E_{ur} 模量表达式及其参数取值。

关键词: 非饱和土; 三轴剪切试验; 应力应变关系; 非饱和土强度; E_{50} 模量; E_{ur} 模量

中图分类号: TU442

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2009)10-1619-07

作者简介: 尹 骥(1980-), 男, 上海人, 博士, 注册岩土工程师, 从事软土工程方面的设计、研究。E-mail: geofem@126.com。

Triaxial tests on strength and deformation modulus of No. 2 layer silty clay of Shanghai

YIN Ji^{1, 2}, CHEN Bao^{1, 2}, LI Yu^{1, 2}, YANG Lin-de^{1, 2}

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Geotechnical and Underground Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The remodelled soil samples of Shanghai No. 2 silty clay are studied by loading-unloading tri-axial shear tests with controlled suction and confining pressure. The results reveal that the characteristics of the unsaturated soil strength can match the Fredlund's unsaturated soil strength theory. The increase of suction has a positive effect on the soil stiffness and strength. This effect is much weaker than that of the net confining pressure on the soil stiffness and strength. The E_{50} and E_{ur} moduli have a good linear relationship with the suction and confining pressure. The expressions of such relationship are given. The strength parameters and E_{50} and E_{ur} moduli are also recommended.

Key words: unsaturated soil; triaxial shear test; stress-strain relationship; unsaturated soil strength; E_{50} modulus; E_{ur} modulus

0 引 言

上海地区分布有广泛的软土地层, 至地表以下 20 m 左右范围内, 除了硬壳层(第②层粉质黏土)呈软一可塑外, 其余土层均为流塑状的淤泥质土, 工程力学性质较差。故一般岩土工程设计均设法对该硬壳层加以利用, 例如多层建筑多选择第②层粉质黏土作为基础的持力层; 采用灌注桩支护的基坑, 为减短桩长, 桩顶标高也落低至该层土; 该层土也多用于路基的填土、基坑回填等。而各种原因引起的地下水位变化, 均会对该层土的强度、变形特性造成影响。故有必要引入非饱和土力学的概念, 定量研究吸力(饱和度、含水率)对该层土的工程力学性质的影响。

国内三轴非饱和土试验方面, 陈正汉等(1999)、缪林昌等(1999)、龚壁卫等(2000)、卢再华等(2002)、卞祚庥(2005)、叶为民等(2006)、詹良通等(2006)分别对非饱和黄土、膨胀土、淤泥质黏土等不同土层进行了非饱和和三轴剪切试验, 得出了所研究土层的应力-应变-强度关系, 并提出了不同的理论加以解释。但非饱和土的加卸载应力路径的强度、变形模量研究较少, 且该应力路径在开挖工程中较为重要, 故本文着重研究了上海第②层粉质黏土加卸载应力路径下的强度、变形模量。

基金项目: 国家“863 计划”项目(2006A11Z102); 上海市地质工程重点学科项目(B308)

收稿日期: 2008-06-10

1 试样制备及试验方案

1.1 土样制备

试验采用静力压实方法制备三轴试样（直径 38 mm，高度 76 mm）。试样的初始含水率为 24.1%，静压力略大于土体原位竖向有效应力，为 30 kPa。为保证该三轴试样的均匀性，在制备过程中应尽量减少黏土结团、结块，土膏搅拌时应尽量均匀，76 mm 高的试样分 6 层进行压实。

1.2 试验方案

共做了不同吸力、不同净围压下 16 个应力路径试验。各个试样的吸力、净围压控制如表 1 所示，特别地，吸力 50 kPa 的试样进行 4 次加卸载。

2 试验仪器设备

本次试验采用的是英国 GDS 仪器设备有限公司生产的标准非饱和土三轴试验系统 STDTS_UNSAT。设备主要由 3 部分组成：压力室、加压系统和量测与采集系统，如图 1 所示。

本套系统的主要特点有：采用轴平移技术控制吸力，使试样顶端与可用以提供气压 u_a 的压力生成装置相连，底端与孔隙水压力生成装置相接，用以通过高透气值陶瓷板提供水压 u_w 。电子荷载传感器直接放在压力室内，直接测量土样上的荷载，这样可避免由于顶盖与加荷轴之间的摩擦引起的力测量误差。孔隙水压力的测量是在三轴仪底座安装高进气值陶瓷板（进气值为 1500 kPa，直径 29 mm），液压传感器通过陶

瓷板测量试样中的孔隙水压力。所有水的体积变化可由 GDS 水压生成与控制器测量，所有测量数据（体积，垂直荷载，土样垂直变形和水压力）都由计算机采集。该设备采用单压力室结构，对土体体积变化的测量误差较大，特别是受温度和围压的影响。笔者虽尝试采用标准试样大小的铜柱进行标定，但效果不理想，故认为采集的体积变化量不准确，文中不予引用。



图 1 非饱和土三轴试验系统 STDTS_UNSAT

Fig. 1 Unsaturated soil triaxial test system STDTS_UNSAT

3 试验方法

饱和陶土板：将非饱和土 GDS 陶瓷板连同基座放入抽真空设备内抽真空，直至陶瓷板不再有气泡出现，整个过程历时约 300 min。

试验过程包括反压饱和、固结、控制净平均应力与吸力平衡、三轴剪切，如图 2 所示。

反压饱和试样（应力路径 A—O）：试验之前，先把土样置于饱和器内浸水饱和和超过 24 h，然后在 GDS

表 1 非饱和土三轴剪切（加卸载）试验方案

Table 1 Schemes for triaxial loading-unloading shear tests

试样编号	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	含水率 w/%	孔隙比 e	试验类型	反压 u_w / kPa	孔隙气压 u_a / kPa	吸力 s / kPa	净围压 σ'_3 / kPa
Sh1	19.52	0.2407	0.7004	控制吸力、净围压，排水、排气非饱和剪切（加卸载）试验	0	50	50	25
Sh2	19.34	0.2454	0.7225			50	50	50
Sh3	19.63	0.2578	0.7138			50	50	100
Sh4	19.72	0.2462	0.6907			100	100	100
Sh5	19.56	0.2415	0.6979			200	200	100
Sh6	19.48	0.2395	0.7019			300	300	100
Sh7	19.40	0.2409	0.7114			400	400	100
Sh8	19.44	0.2303	0.6925			50	50	200
Sh9	19.50	0.2387	0.6997			100	100	200
Sh10	19.60	0.2398	0.6922			200	200	200
Sh11	19.47	0.2436	0.7090			300	300	200
Sh12	19.69	0.2504	0.6988			400	400	200
Sh13	19.55	0.2476	0.7073			100	100	400
Sh14	19.51	0.2497	0.7138			200	200	400
Sh15	19.47	0.2316	0.6921			300	300	400
Sh16	19.40	0.2344	0.7021			400	400	400

中施加 25 kPa 围压, 20 kPa 反压 (孔隙水压力) 并维持压力不少于 15 h, 且上排水连续不断排水后方可认为试样饱和。实际试验过程中, 文中试验土样饱和和一般约需 17~24 h。

固结 (应力路径 $O-B$): 饱和过程结束后, 打开压力室的上下排水阀门, 维持试样中孔隙水压力为零, 施加围压, 排水固结试约为 24 h。

控制净平均应力, 吸力平衡阶段 (应力路径 $B-C$): 保持孔隙水压力不变, 施加气压, 同时增加围压以达到设计净平均应力。在加载过程中, 气压加载速率较围压加载速率慢很多, 为避免土样经受超过设计的净平均应力, 围压和气压应分阶段加载, 并控制每阶段气压滞后围压不超过 20 kPa。待围压、气压加载至目标压力后, 维持压力, 直至土样的体积变化或排水量满足吸力平衡条件才开始剪切。

三轴剪切 (加卸载, 应力路径 $C-D-E-D-G-H-G-J$): 吸力平衡后, 控制吸力和 σ_3 大小保持不变。调整施加轴向压力 σ_1 (偏应力 q) 并开始剪切, 直至轴向应变 15%~20%, 停止试验, 退去围压和吸力。

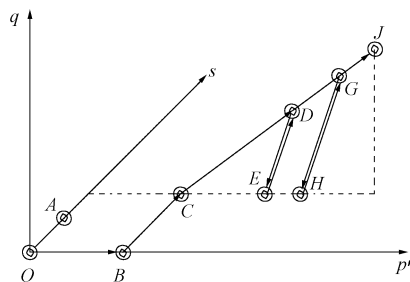


图 2 $p'-q-s$ 空间内应力路径

Fig. 2 Stress path in $p'-q-s$ coordinate system

剪切速率的选择: 卞祚庠 (2005) 和叶为民等 (2006) 进行的上海地区第④层淤泥质黏土非饱和和三轴剪切试验时采用的剪切速率为 0.009~0.01 mm/min。文中土 (原状土) 渗透系数略大于第④层土, 故可参考其剪切速率。本试验采用剪切 (应变) 速率 0.0125%/min, 如以土样标准高度 76 mm 计算, 相应的剪切速率为 0.0095 mm/min。卸载速率同加载速率。

吸力平衡条件: 本文参考陈可君等 (2005), 李永乐等 (2005) 采用的吸力平衡条件, 采用“体变连续 2 h 不超过 0.01 cm³, 并且, 排水量连续 2 h 不超过 0.01 cm³, 且历时不少于 48 h”的标准。吸力平衡所需时间依据施加围压和吸力的不同, 整个固结时间需要 54~72 h 方满足固结稳定条件。

4 试验结果

ε_a-q 试验曲线类似于饱和土, 基本呈双曲线型,

虽然几根试验曲线出现了“驼峰”, 但峰值应力对应的轴向应变均大于 8%, 故可将试验曲线归为“硬化型”土。试验曲线的回弹部分为弹性回弹, 且其斜率较大, 远大于主加载过程中的斜率。

4.1 不同净围压下的 ε_a-q 关系

不同净围压下的 ε_a-q 关系如图 3~5 所示。对于相同的净围压, 吸力大的土样强度较高, 随着净围压的增加, 这种强度上的差别逐渐缩小, 表现为吸力 400 kPa 和 50 kPa 曲线之间的区域越来越小。在净围压为 200 kPa 和 400 kPa 时, 除了吸力 400 kPa 和 50 kPa 土样的强度差别较为明显之外, 其他 3 组吸力的土样在加载阶段出现了不同程度的重合或相交的现象, 该现象在詹良通等 (2006) 发表的文章中也有报道。对于相同的净围压, 吸力大的土样在轴向应变较小阶段 (小于 2%), 具有较大剪切模量, 且随着净围压的增加, 这种差别也逐渐减小。对于相同的净围压, 吸力大的土样破坏型式呈硬化型, 应变接近 15% 时才呈现“驼峰”, 有的甚至是强硬化型 (例如净围压 100 kPa, 吸力 300 kPa 的土样), 而吸力较小的土样呈现出较为“软化”的现象, 吸力 50 kPa 的土样尤为明显。总体来说, 相同的净围压下, 吸力越大, 其峰值应力出现对应的轴向应变越大。

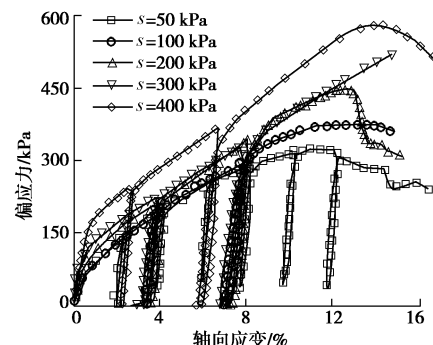


图 3 净围压为 100 kPa 时轴向应变和偏应力的关系曲线

Fig. 3 ε_a-q curves at $\sigma'_3=100$ kPa and various controlled suctions

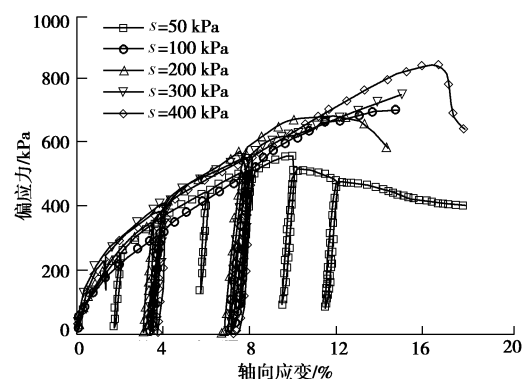


图 4 净围压为 200 kPa 时轴向应变和偏应力的关系曲线

Fig. 4 ε_a-q curves at $\sigma'_3=200$ kPa and various controlled suctions

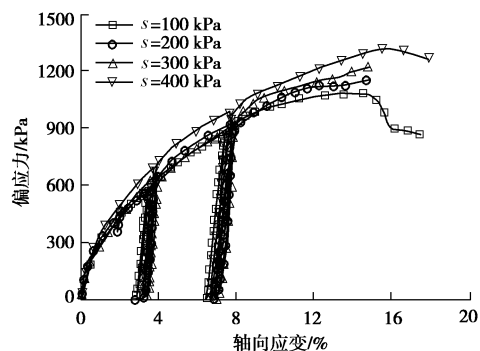


图 5 净围压为 400 kPa 时轴向应变和偏应力的关系曲线

Fig. 5 $\varepsilon_a - q$ curves at $\sigma'_3 = 400$ kPa and various controlled suctions4.2 不同吸力下的 $\varepsilon_a - q$ 关系

不同吸力下的 $\varepsilon_a - q$ 关系如图 6~10 所示。对于相同的吸力，净围压较大的土样具有较大的强度和刚度，这一点较相同净围压下不同吸力的曲线要明显。可见，净围压对土体强度、刚度的影响程度较吸力要大得多。同样地，净围压较大的土样峰值强度出现对应的轴向应变较大，当吸力为 300 kPa 和 400 kPa 时，峰值应力出现时对应的应变均大于 15%；而吸力 50 kPa 的曲线，峰值应力出现对应的轴向应变为 10% 左右。

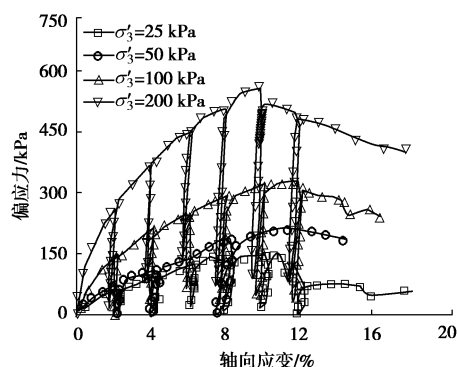


图 6 吸力为 50 kPa 时轴向应变和偏应力的关系曲线

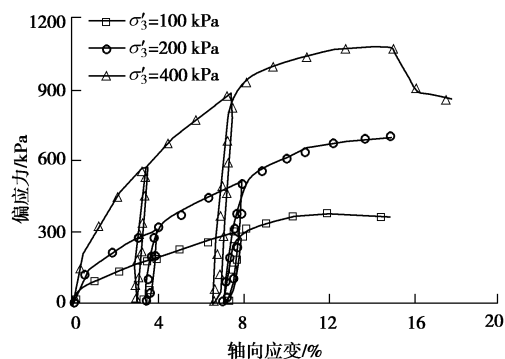
Fig. 6 $\varepsilon_a - q$ curves at $s = 50$ kPa and various controlled σ'_3 

图 7 吸力为 100 kPa 时轴向应变和偏应力的关系曲线

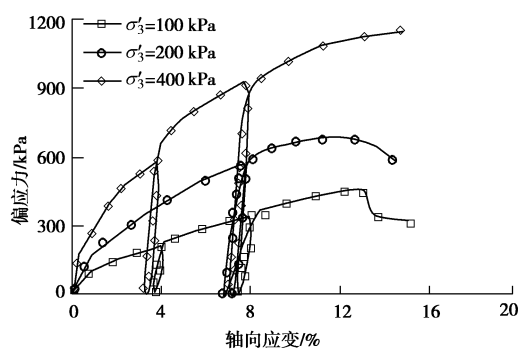
Fig. 7 $\varepsilon_a - q$ curves at $s = 100$ kPa and various controlled σ'_3 

图 8 吸力为 200 kPa 时轴向应变和偏应力的关系曲线

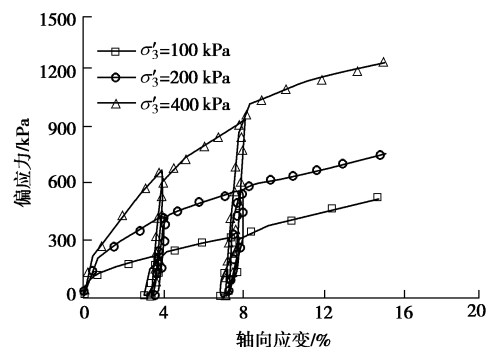
Fig. 8 $\varepsilon_a - q$ curves at $s = 200$ kPa and various controlled σ'_3 

图 9 吸力为 300 kPa 时轴向应变和偏应力的关系曲线

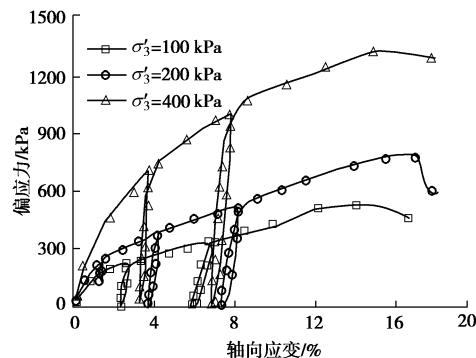
Fig. 9 $\varepsilon_a - q$ curves at $s = 300$ kPa and various controlled σ'_3 

图 10 吸力为 400 kPa 时轴向应变和偏应力的关系曲线

Fig. 10 $\varepsilon_a - q$ curves at $s = 400$ kPa and various controlled σ'_3

4.3 非饱和土强度

Fredlund(1978)建立了双应力状态变量的非饱和土抗剪强度表达式。他认为非饱和土的抗剪强度由 3 部分组成：有效黏聚力 c' 、净法向应力 $(\sigma - u_a)$ 引起的强度和基质吸力 $(u_a - u_w)$ 引起的强度。净法向应力引起的强度与有效内摩擦角 ϕ' 有关，而基质吸力引起的强度与另一角度 ϕ^b 有关，即

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (1)$$

也有学者将 $\tau_s = (u_a - u_w) \tan \phi^b$ 称为吸力强度， $c_{\text{total}} = c' + (u_a - u_w) \tan \phi^b$ 称为总黏聚力。本文采用该强

度理论确定公式中的强度参数（见表 2）。

表 2 各个试样的强度和强度指标

Table 2 Strengths and strength parameters of samples				
s /kPa	σ_3' /kPa	q_f /kPa	c_{total} /kPa	ϕ' /($^{\circ}$)
50	25	149.9	25.63	32.2
	50	208.4		
	100	325.9		
	200	560.9		
100	100	379.3	38.03	33
	200	614.4		
	400	1084.4		
200	100	450.5	58.23	32.8
	200	685.5		
	400	1155.5		
300	100	521.7	75.96	33.1
	200	756.7		
	400	1226.7		
400	100	587.6	97.89	32.4
	200	817.3		
	400	1297.9		

图 11 为不同吸力对应的总黏聚力,并用直线拟合（相关系数 0.99767），其斜率即为 $\tan \phi^b$ ，截距即为 c' 。本试验中土样强度参数为： $\phi' = 32.7^{\circ}$ ， $\phi^b = 11.4^{\circ}$ $c' = 16.7$ kPa。

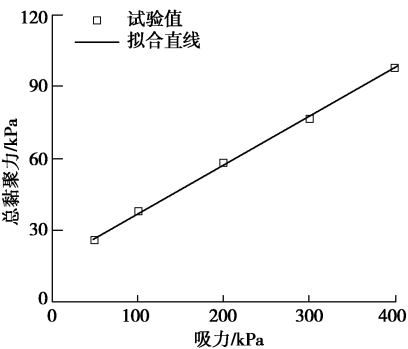


图 11 总黏聚力与吸力关系

Fig. 11 Diagram of total cohesion vs. suction

4.4 E_{50} 模量与 E_{ur} 模量

E_{50} 模量为对应50%强度值的割线模量， E_{ur} 模量为卸载一再加载模量，二者在弹塑性计算中具有非常重要的意义。影响其值的因素极其复杂，例如土颗粒的密实度及排列方式、含水率、胶结情况、（平均）应力水平、应变水平、应力历史、加载速率等等因素。Janbu(1963)，Schanz等（1999）发表的Hardening soil model以及Benz(2007)发表的Small-strain hardening soil model中，建议 E_{50} 和 E_{ur} 与应力水平的关系采用如下表达式：

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{\sigma_3' + c' \cdot \cot \phi'}{\sigma^{ref} + c' \cdot \cot \phi'} \right)^m, \tag{2}$$

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{\sigma_3' + c' \cdot \cot \phi'}{\sigma^{ref} + c' \cdot \cot \phi'} \right)^m. \tag{3}$$

式中 E_{50}^{ref} 、 E_{ur}^{ref} 分别为对应参考应力 σ^{ref} （一般取 100 kPa）的 E_{50} 和 E_{ur} 模量； m 为试验参数，对于砂性土 m 约为 0.5 左右，黏性土 m 约为 1.0 左右。对于饱和土可令上述公式中的分子和分母部分为别为 $\sigma_s = \sigma_3' + c' \cdot \cot \phi'$ ， $\sigma_r = \sigma^{ref} + c' \cdot \cot \phi'$ ；对于非饱和土，可将吸力对强度的贡献计入 c_{total} ，可令上述公式中的分子和分母部分为别为

$$\sigma_s = \sigma_3' + c_{total} \cdot \cot \phi', \tag{4}$$

$$\sigma_r = \sigma^{ref} + (c' + s^{ref} \cdot \tan \phi^b) \cdot \cot \phi'. \tag{5}$$

式中 s^{ref} 为参考吸力，可取 0 或者 100 kPa，强度参数确定后 σ_r 即为定值。图 12 和图 13 分别为 E_{50} 模量和 E_{ur} 模量与 σ_r 之间的关系，且具有较好的线性关系（分别除去两个偏离点），相关系数分别为 0.95364 和 0.96777，故 m 为 1.0（线性关系）。图 14 和图 15 分别为 E_{50} 模量和 E_{ur} 模量的试验值与计算值。对于 E_{50} 模量， $s=100$ kPa， $p'=400$ kPa 和 $s=50$ kPa， $p'=200$ kPa 数据点偏离较大；对于 E_{ur} 模量， $s=50$ kPa， $p'=100$ kPa 和 $s=50$ kPa， $p'=200$ kPa 数据点偏离较大，其余数据试验值与计算值均符合较好。

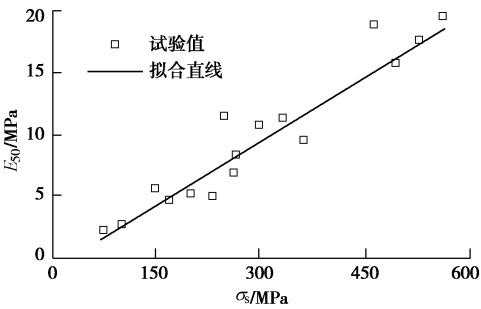


图 12 对应不同 σ_s 值的 E_{50} 模量

Fig. 12 Diagram of E_{50} modulus vs. σ_s

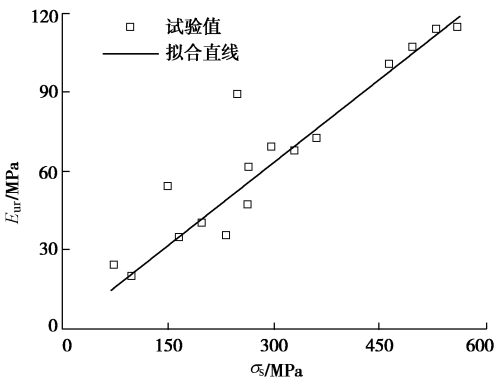
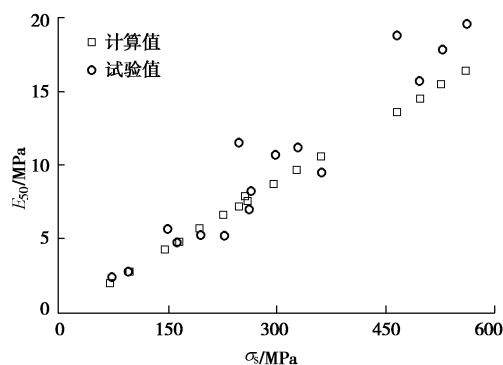
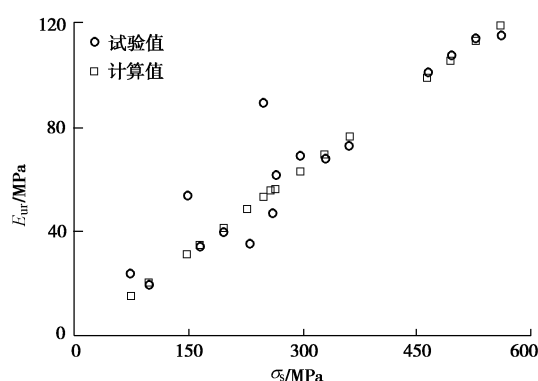


图 13 对应不同 σ_s 值的 E_{ur} 模量

Fig. 13 Diagram of E_{ur} modulus vs. σ_s

图 14 E_{50} 模量的试验值和计算值Fig. 14 Experimental values and calculated values of E_{50} 图 15 E_{ur} 模量的试验值和计算值Fig. 15 Experimental values and calculated values of E_{ur}

5 结 论

本文采用非饱和土三轴剪切仪,对上海地区第②层粉质黏土进行了控制吸力、净围压的剪切试验,根据试验结果得出如下结论:

(1) 净围压对上海第②层粉质黏土(重塑土)强度、刚度的影响要比吸力对其影响大得多,且明确得多。对于部分试验曲线互相交叉的现象,发生原因尚待进一步研究。

(2) 采用 Fredlund 强度理论解释上海第②层粉质黏土(重塑土)强度受吸力的影响较为合理,相应强度参数为: $\varphi^b = 11.4^\circ$, $c' = 16.7 \text{ kPa}$, $\varphi' = 32.7^\circ$ 。

(3) 上海地区第②层粉质黏土的 E_{50} 和 E_{ur} 模量与 σ_s 具有较好的线性关系,文中给出了计算公式。可将吸力视为总内聚力中的一部分,改进饱和土中 E_{50} 和 E_{ur} 模量与 σ_s 的关系,描述其与净围压与吸力的关系。

(4) 为建立非饱和土本构模型提供了强度和变形模量方面的依据。

参考文献:

- [1] 卞祚麻. 上海地下工程中非饱和态软土强度的研究[D]. 上海: 同济大学, 2005. (BIAN Zuo-xiu. Study about the strength of unsaturated soft soils in Shanghai underground works[D]. Shanghai: Tongji University, 2005. (in Chinese))
- [2] 叶为民, 陈 宝, 卞祚麻, 等. 上海软土的非饱和三轴强度[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(3): 317 - 321. (YE Wei-min, CHEN Bao, BIAN Zuo-xiu, et al. Tri-axial shear strength of Shanghai unsaturated soft clay[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(3): 317 - 321. (in Chinese))
- [3] 陈可君, 缪林昌, 崔 颖. 不同干密度非饱和膨胀土的三轴试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(增): 87 - 90. (CHEN Ke-jun, MIAO Lin-chang, CUI Ying. Triaxial tests on unsaturated expansive soils with different initial dry densities[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(S): 87 - 90. (in Chinese))
- [4] 李永乐, 刘汉东, 刘海宁, 等. 黄河大堤非饱和土土-水特性试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(3): 347 - 350. (LI Yong-le, LIU Han-dong, LIU Hai-ning, et al. Test and study on soil water curve of unsaturated soil of Yellow River dyke[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(3): 347 - 350. (in Chinese))
- [5] 詹良通. 非饱和膨胀土边坡中土水相互作用机理[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2006, 40(3): 494 - 500. (ZHAN Liang-tong. Study on soil-water interaction in unsaturated expansive soil slopes[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2006, 40(3): 494 - 500. (in Chinese))
- [6] FREDLUND D G, MORGENSTERN N R, WIDGER R S. The shear strength of unsaturated soils[J]. Can Geotech J, 1978, 15(3): 313 - 321.
- [7] JANBU N. Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests[C]// Proc 3rd ECSMFE, Wiesbaden, 1963.
- [8] SCHANZ T, VERMEER P A, BONNIER P G. Formulation and verification of the Hardening-Soil Model[C]// Brinkgreve R B J, Beyond 2000 in Computational Geotechnics. Rotterdam: Balkema, 1999: 281 - 290.
- [9] BENZ Thomas. Small-strain stiffness of soils and its numerical consequences[D]. Stuttgart: University Stuttgart, 2007.
- [10] FREDLUND D G, RAHARDJO H. 非饱和土土力学[M].

- 陈仲颐, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. (FREDLUND D G, RAHARDJO H. Soil mechanics for unsaturated soils[M]. CHEN Zhong-yi, et al, trans. Beijing: Architecture China and Building Press, 1997. (in Chinese))
- [11] VANAPALLI S K, FREDLUND D G, PUFAHL D E. Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction[J]. Can Geotech J, 1996, **33**(3): 379 - 392.
- [12] GAN J K M, FREDLUND D M, RAHARDJO H. Determination of shear strength parameters of an unsaturated soil using direct shear test[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1988, **25**(3): 500 - 510.
- [13] CUI Y J, DELAGE P. Yielding and plastic behaviour of an unsaturated compacted silt[J]. Géotechnique, 1996, **46**(2): 291 - 311.
- [14] 缪林昌, 殷宗泽. 非饱和土的剪切强度[J]. 岩土力学, 1999, **20**(3): 1 - 6. (MIAO Lin-chang, YIN Zong-ze. Shear strength of unsaturated soils[J]. Rock and Soil Mechanics 1999, **20**(3): 1 - 6. (in Chinese))
- [15] 龚壁卫, 王 斌. 非饱和膨胀土的抗剪强度特性研究[J]. 长江科学院院报, 2000, **17**(5): 19 - 22. (GONG Bi-wei, WANG Bin. Study on the shear strength characteristics of unsaturated expansive soil[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2000, **17**(5): 19 - 22. (in Chinese))
- [16] 卢再华, 陈正汉, 孙树国. 南阳膨胀土变形和强度特性的三轴试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, **21**(5): 717 - 723. (LU Zai-hua, CHEN Zheng-han, SUN Shu-guo. Study on deformation and strength characteristic of expansive soil with triaxial tests[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, **21**(5): 717 - 723. (in Chinese))
- [17] 陈正汉. 重塑非饱和黄土的变形、强度、屈服和水量变化特[J]. 岩土工程学报, 1999, **21**(1): 82 - 90. (CHEN Zheng-han. Deformation, strength, yield and moisture of a remolded unsaturated loess[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, **21**(1): 82 - 90. (in Chinese))

请订阅《岩土工程学报》

《岩土工程学报》创办于 1979 年, 是我国水利、土木、力学、建筑、水电、振动等六个全国性学会联合主办的学术性科技期刊。由南京水利科学研究院承办, 国内外公开发刊。主要刊登土力学、岩石力学领域中能代表我国理论和实践水平的论文、报告、实录等。报道新理论、新技术、新仪器、新材料的研究和应用。欢迎国家自然科学基金项目及其他重要项目的研究成果向本刊投稿, 倡导和鼓励有实践经验的作者撰稿, 并优先刊用这些稿件。主要栏目有论文、短文、工程实录、焦点论坛、学术讨论和动态简讯等。

本刊被《中文核心期刊要目总览》连续 5 版确认为核心期刊, 并在建筑类核心期刊中排列首位; 本刊被收录为国家科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊), 并被评为“百种中国杰出学术期刊”; 本刊被“中国科技论文与引文数据库”、“中国期刊全文数据库”和“中文科技期刊数据库”

等多个国内重要的数据库收录, 并可在《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》、万方网和重庆维普网全文检索; 本刊被美国工程索引 Ei Compendex 等国际检索系统收录。

本刊读者对象为土木建筑、水利电力、交通运输、矿山冶金、工程地质等领域中从事岩土工程及相关专业的科研人员、设计人员、施工人员、监理人员和大专院校师生。

本刊为月刊, 大 16 开, 双栏排版, 160 页, 每月中旬出版, 定价 25 元/期, 全年 300 元。

本刊国际标准刊号 ISSN1000 - 4548, 国内统一刊号 CN32 - 1124/TU, 国内发行代号 28 - 62, 国外发行代号 MO0520。

欢迎广大读者在全国各地邮局订购, 也可在编辑部订购(不另收邮费)。编辑部订购地址: (210024) 南京虎踞关 34 号《岩土工程学报》编辑部; 联系电话: (025) 85829534, 85829553; 传真: (025) 85829555; E-mail: ge@nhri.cn。

(本刊编辑部)