

不同初始条件对膨胀土剪切特性的影响研究

苗 鹏, 肖宏彬

(湖南工业大学 岩土工程研究所, 湖南 株洲 412008)

摘要: 基于三轴试验, 在对南宁膨胀土土样进行多组试验的基础上, 研究了在不同压实度、不同围压和不同饱和度条件下的非饱和膨胀土的强度与变形特性, 提出了一种单对数-双曲型关系式预测非饱和膨胀土的粘聚力 c 值, 试验结果证明了该关系式在一定范围内的适用性和可靠性。

关键词: 膨胀土; 三轴实验; 压实度; 围压; 饱和度

中图分类号: TU443

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2007)06-0019-04

Impact Research on Shear Performance of Expansive Soils Under Different Initial Conditions

Miao Peng, Xiao Hongbin

(Geotechnical Engineering Institute, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: Based on the dynamic tri-axial experiments and series trials about the Nanning expansive soils, the strength and deformation characteristic of unsaturated expansive soils are analyzed under the conditions of different compactness, different confining pressures and different saturations. And a mathematical relationship of single log-hyperbolic equation $1/S_r \lg c$ is derived to predict the cohesive force c of unsaturated expansive soils. The experiments prove the applicability and effectiveness of this mathematical relationship under definite range.

Key words: expansive soils; tri-axial test; compactness; confining pressure; saturation

0 引言

膨胀土属高塑性粘土, 性质极不稳定, 它吸水膨胀、失水收缩、干缩裂隙发育等特性常常使建筑物产生不均匀的胀缩变形, 造成建筑物位移、开裂、倾斜、甚至破坏, 是一种典型的工程灾害性地质土。近年来, 对膨胀土的强度和变形特性的研究已成为研究热点。由于新规范的出台, 在工程中进行地基承载力计算、边坡稳定计算、挡土墙土压力计算等都需要采用三轴试验取得的土的强度指标, 而基于动三轴试验对膨胀土进行强度和变形特性的研究目前尚不多见。因此, 在对南宁膨胀土已有的相关研究成果的基础上^[1-5], 本文通过大量的动强度、动模量三轴试验, 以及静力三轴试验, 研究了在不同压实度、不同围压和不同饱和

度条件下膨胀土的强度和变形特性。

三轴剪切试验与直剪试验相比具有很多优点:

- 1) 从控制排水方面, 三轴试验的排水条件是可以控制的, 而直剪试验不能控制排水;
- 2) 在剪切破裂面上, 直剪试验的破坏面是人为的水平面, 与土体实际受力状况不符; 三轴试验是自然破坏, 破裂面与最大主应力作用面成 $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$, 三轴试验的破坏条件和出现的破裂面的组合结果是符合库仑定律 $f=c+\sigma \tan \varphi$ 准则的^[6]。
- 3) 在受力条件上, 直剪试验是对土样人为施加水平剪力, 与土的实际受力状态不符, 而三轴试验是土在三向应力状态下的剪切破坏试验, 其受力条件更接近土样的真实状况。

收稿日期: 2007-09-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50378097), 湖南省科技厅基金资助项目(2007FJ3077)

作者简介: 苗 鹏(1983-), 男, 山东日照人, 湖南工业大学硕士研究生, 主要研究方向为桩基工程与地基处理。

1 试验设备与试样

试验采用天水红山试验机有限公司研制的 20 kN 电液伺服微机控制三轴仪, 见图 1。该仪器可以适时监视试验过程, 并记录、储存试验过程中轴向力、应变和孔隙压力, 从而对土性和有关指标的变化规律作出定性和定量的判断。根据排水条件的不同, 对膨胀土的动三轴试验可以做不固结不排水剪、固结不排水剪和固结排水剪 3 种类型, 同时也适用于测量各类土的剪切强度和有效抗剪强度参数。

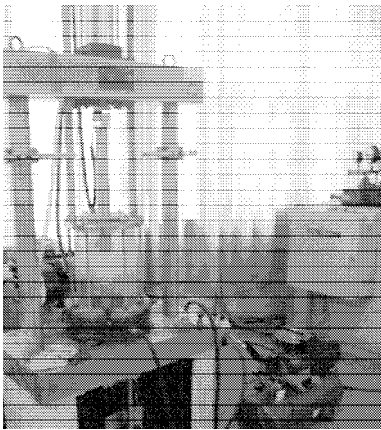


图 1 试验用三轴仪

Fig. 1 20 kN dynamic tri-axial apparatus

试验主要参数: 1) 轴向最大负荷 ± 20 kN, 三轴有机玻璃压力室最大压力 0.6 MPa, 轴向激振器行程 ± 40 mm, 控制精度 2%。计算机能实现对被测量数据的采集和处理, 打印、作图、列表。

试验所用的土为南宁膨胀土, 其成因为冲洪积膨胀土, 土体呈灰白色, 属中等膨胀土。土的性能指标为: 液限 61.4%, 塑限 22.8%, 塑性指数 38.6%, 最优含水量 15.8%, 最大干密度 1.89 g/cm³。土过 2 mm 筛, 再重塑制样。根据设计的试样干密度和初始含水量, 计算出土样所需的湿土量, 分 6 层均匀击实。试样的直径和高度分别为 3.91 cm 和 8 cm, 含水量分别为 18%、19.3%、22% 和 34.7%, 对应的饱和度 S_r 分别为 51.8%、55.6%、63.4% 和 91.8%, 共制备 12 个击实样进行三轴试验。试验中笔者对膨胀土样在三轴剪切前后土样含水量进行了测定, 测定的结果表明土样的平均含水量变化较小。

2 试验结果分析

2.1 压实度对剪切特征的影响

图 2 为其它条件不变、压实度不同, 试样剪切时偏应力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) 与轴向应变的关系曲线。

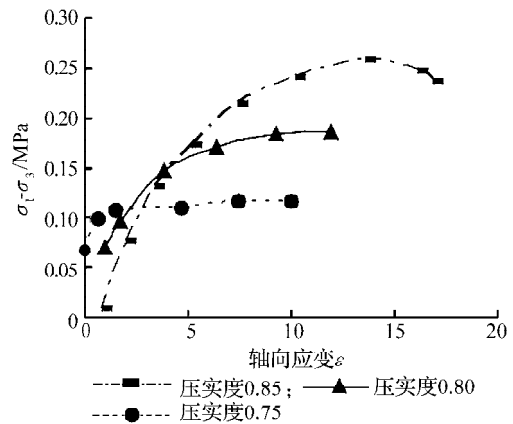


图 2 不同压实度下偏应力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) 与轴向应变的关系曲线

Fig. 2 Deviatoric stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) vs. axial strain with different compactions

由图 2 可知, 试样压实度增加, 则试样强度得到提高; 压实度从 0.80 提高到 0.85 时, 其偏应力数值的增加量没有压实度从 0.75 提高到 0.80 时显著。从微观结构变化的角度加以分析, 重塑粘土的微观结构在很大程度上依赖于曾经所受到的最大作用力, 试样具有不同压实度可以看成是曾经受到的最大作用力不同。而压实度为 0.85 的试样在击实时所受的压力要大于当前净围压, 这同试样不同疏密程度的集聚体结构是紧密相关的^[7]。上面所述的现象也就是这种结构变化的反映。

2.2 净围压对剪切特征的影响

图 3 给出了其他条件相同, 净围压 ($\sigma_3 - u$) 不同情况下, 试样剪切时的偏应力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) 与轴向应变的关系曲线。

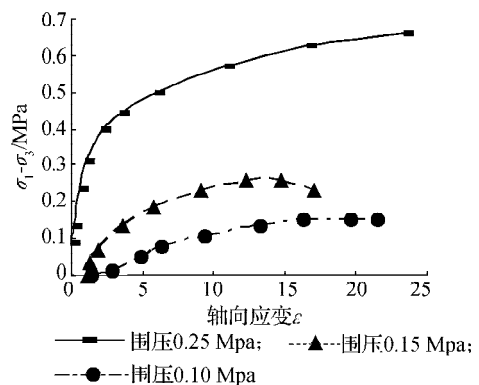


图 3 不同围压下的偏应力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) 与轴向应变的关系曲线

Fig. 3 Deviatoric stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) vs. axial strain with different confining pressures

由图 3 可以看出, 在压实度相同的情况下, 较高净围压作用下的曲线呈应变硬化型, 即使在应变达到 15% 时, 应力-应变关系曲线也没有达到峰值; 而较

低净围压作用下, 试样的应力-应变曲线随着轴向应变的增加呈现出微弱的软化趋势, 试样剪应力随净围压的增加而明显增大。这可以通过非饱和和击实土的结构来解释: 在低于最优含水量的情况下, 击实的粘土颗粒以饱和集聚体的形式存在, 饱和集聚体中包含微小的、充满水的粒中孔隙, 而集聚体被大孔隙分开。同样, 初始干密度低的土具有开放的结构, 这种结构以相对较大的粒间孔隙为主要特征, 在较低的净平均压力作用下固结的非饱和土样, 其体积变化特征主要由粒间大孔隙这种结构的特征决定; 另一方面, 在较高的净平均应力作用下固结的非饱和土样具有更紧密的集聚体结构。由于剪切过程中紧密集聚体之间的咬合力的作用, 尽管试样总体积在减小, 但随着净平均应力的增加, 集聚体滑移后引起试样体积膨胀的部分变形作用越来越大, 试样总体积收缩量并没有随净平均应力的增加而发生较大的变化。

2.3 饱和度对剪切特性的影响

图4~7分别是饱和度 S_r 为51.8%、55.6%、63.4%、91.8%的膨胀土样的三轴剪切应力应变关系与强度包线。由库仑经典粘性土抗剪强度公式 $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$ 可知, 粘性土的 τ_f 包括摩阻力($\sigma \tan \phi$)和粘聚力(c)两部分组成。当 σ 为0时, 抗剪强度线在纵坐标轴上的截距即为粘聚力 c 值。

图4~7中的粘聚力 c 和内摩擦角 ϕ 值列表2所示。

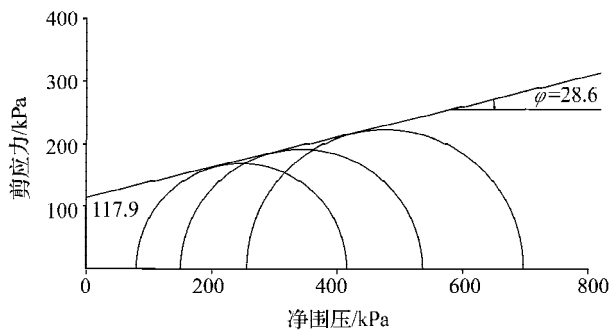


图4 $S_r=51.8\%$ 膨胀土样强度包线
Fig. 4 Strength envelope while $S_r=51.8\%$

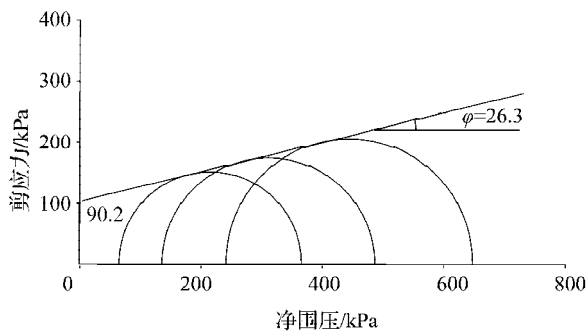


图5 $S_r=55.6\%$ 膨胀土样强度包线
Fig. 5 Strength envelope while $S_r=55.6\%$

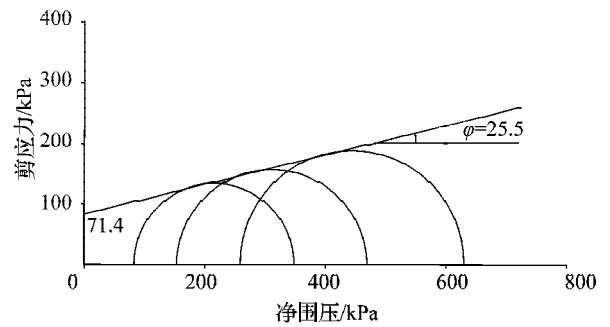


图6 $S_r=63.4\%$ 膨胀土样强度包线
Fig. 6 Strength envelope while $S_r=63.4\%$

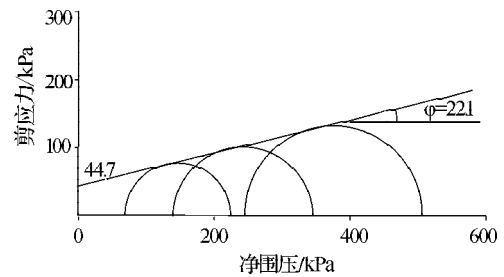


图7 $S_r=91.8\%$ 膨胀土样强度包线
Fig. 7 Strength envelope while $S_r=91.8\%$

表1 三轴剪切试验结果

Table 1 Tri-axial shear test results

试验结果	土样饱和度 $S_r/\%$			
	51.8	55.6	63.4	91.8
c/kPa	117.9	90.2	71.4	25.5
$\phi / (^\circ)$	28.6	26.3	44.7	22.1

表2中粘聚力 c 值除了包括有效粘聚力 c' 之外, 还有一部分是由于非饱和土中存在有吸力引起的吸力强度, 所以图表亦反映出吸力强度随饱和度变化而变化的趋势。从表2中可见, 随着试样饱和度的逐步增加, 吸力强度呈现逐步降低(如图8所示)。这一结论与已有的研究结果一致[8]。

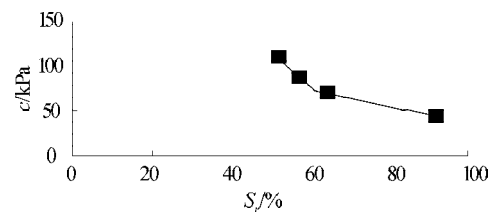


图8 S_r-c 关系曲线

Fig. 8 Test date for S_r-c relation

从表2可知, 三轴剪切后的试验结果表明: 膨胀土土样的饱和度从51.8%增加到91.8%, 内摩擦角 ϕ 略有减小, 但变化相对较小, 而粘聚力 c 值的变化很大。由此可知, 饱和度的变化主要是对粘聚力产生影

响。将图 8 中的 S_r-c 曲线进行非线性最小平方拟合发现：若将粘聚力数值取对数，而将饱和度 S_r 取倒数后，其对应数值可以近似用一直线进行拟合（如图 9 所示），其数学模型表达式为：

$$\lg c = \frac{a_0}{S_r} + b_0 \quad (1)$$

式中： a_0, b_0 为试验常数。试验测得：南宁膨胀土 $a_0=79.955, b_0=-46.791$ 。

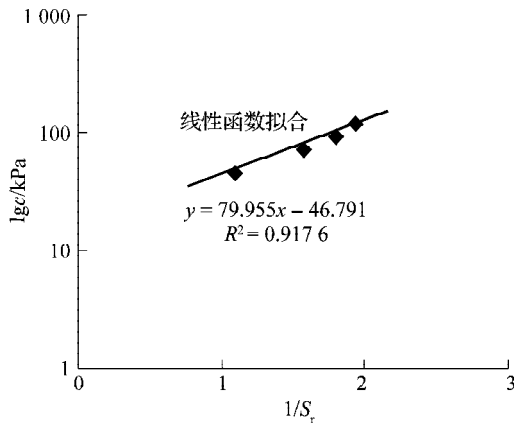


图 9 $1/S_r-\lg c$ 关系曲线

Fig. 9 Test date for $1/S_r-\lg c$ relation

需要指出的是：式 (1) 对 $S_r > 51.8\%$ 的非饱和土样的粘聚力随饱和度变化关系的试验结果吻合较好，但对 $S_r < 51.8\%$ 的情况，本文尚未研究。

3 结论

1) 通过研究非饱和膨胀土试样在不同压实度、不同围压以及不同饱和度条件下的剪切特征，试验结果

表明：其它条件相同时，膨胀土土体强度随压实度的增大而提高；在一定范围内随净围压值的增大而提高；随饱和度逐步增加，膨胀土粘聚力 c 值减小，吸力强度呈现逐步降低现象。

2) 膨胀土试样在不同压实度、不同围压以及不同饱和度条件下的剪切特征与试样土体微结构变化密切相关。

3) 膨胀土粘聚力 c 与饱和度 S_r 在数值上可用一单对数-双曲型 ($1/S_r-\lg c$) 关系式很好地拟合。

参考文献：

- [1] 苗 鹏, 肖宏彬, 张春顺. 膨胀土上桩负摩阻力的时程性研究[J]. 株洲工学院学报, 2006, 20(6): 98-100.
- [2] 肖宏彬, 范臻辉, 王永和, 等. 膨胀土单向浸水膨胀规律的试验研究[C]//第八届全国地基处理学术讨论会论文集. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2004: 47-50.
- [3] 肖宏彬, 钟辉虹, 张亦静, 等. 单桩荷载-沉降关系的数值模拟方法[J]. 岩土力学, 2002, 23(5): 592-596.
- [4] 肖宏彬, 刘 杰, 王永和, 等. 大直径桩荷载传递规律的试验及理论研究[J]. 岩土工程技术, 2003(1): 47-50.
- [5] 肖宏彬, 钟辉虹, 王永和, 等. 多层地基中桩的荷载传递分析[J]. 中南工业大学学报, 2003, 34(6): 687-689.
- [6] 赵明华. 土力学与基础工程[M]. 2版. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2003.
- [7] 詹良通, 吴宏伟. 非饱和膨胀土变形和强度特性的三轴试验研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(2): 196-201.
- [8] 卢再华, 陈正汉, 孙树国. 南阳膨胀土变形与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.