

非饱和云南红黏土的不排气不排水变形特性研究

杨松¹, 吴珺华², 卢廷浩³, 何丽⁴

(1. 云南农业大学 水利水电与建筑学院, 云南 昆明 650201; 2. 南昌航空大学 土木建筑学院, 江西南昌 330063;
3. 河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210098; 4. 云南农业大学 教务处农科实验中心, 云南 昆明 650201)

摘 要: 非饱和土中吸力的测量比较困难, 选择饱和度作为参数在非饱和土研究中具有重要的实用价值. 在改进的常规三轴仪上对不同干密度、不同饱和度的云南红黏土试样进行不排气不排水三轴试验, 试验过程中试样出现了明显的剪胀现象. 当试样干密度较大时, 即使饱和度较大也出现了剪胀; 而当试验干密度较小时, 在饱和度较大时剪胀消失. 通过微观机理可以很好地解释这种剪胀现象, 剪胀主要由于试验过程中孔隙气压力所造成颗粒间力矩不平衡引起的, 而当干密度较小、饱和度较大时, 孔隙气在围压作用下会溶于水, 这种颗粒间的不平衡力矩消失, 剪胀现象也随之消失了.

关键词: 红黏土; 三轴试验; 体变; 剪胀

中图分类号: TU446 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.05.012

0 引言

目前, 对非饱和土的研究主要有两种方法: 控制吸力法和引入含水率(或饱和度)作为参数法^[1]. 然而, 控制吸力法由于试验设备的复杂以及耗时较多, 目前还不能在工程中得到广泛应用. 以含水率或饱和度作为参数的非饱和土研究, 对试验仪器的要求较低, 在常规饱和土试验仪上即可进行, 这样更容易被工程应用所接受. 有些学者在常规三轴仪上进行非饱和土试验, 并且取得了一些很好的成果. 凌华^[2]在改进的饱和土三轴仪上进行了非饱和土强度和变形试验, 模拟了实际工程施工期气压能迅速消散而水压变化不大的特点, 建立了引入含水率的实用非线性模型. 毕庆涛^[3]在常规三轴仪上进行了非饱和土的三轴不固结不排水剪切试验, 揭示了应力-应变及侧向变形特征, 建立了切线泊松比与围压的双曲线关系模型. 李广信^[4]研究了非饱和土在增湿情况下的应力、应变和强度关系, 提出将含水率引入清华模型的硬化参数中建立非饱和土的清华弹塑性模型.

当饱和土体被压缩时, 仅仅存在排水或不排水的情形, 对非饱和土则存在排气、排水; 排气不排水或不排气、不排水的情况. 非饱和土的长期变形稳定, 可视作排水排气情况. 工程施工期间, 气

压消散快水压消散慢的特点则可用排气不排水试验模拟^[5-6]. 然而, 对不排气、不排水情形的研究还比较少. 对土石坝心墙料的施工过程用不排气、不排水剪切试验模拟更符合实际情况^[3]. 一些饱和度较高的天然土体中含有甲烷等不易溶于水的液体, 此时的土体强度和变形特性也应该采用不排水不排气剪切试验进行模拟^[7]. 作者在改进的常规三轴仪上对不同干密度、不同饱和度的非饱和和云南红黏土进行不排气不排水三轴试验, 并对试样的体变特性进行了分析, 从微观角度对试验中出现的剪胀特性进行了机理解释.

1 试验及试验结果分析

文献[8]针对干密度为 1.3, 1.4 g/cm³, 饱和度分别为 30%、40%、50%、60%、70% 和 80% 的云南红黏土不固结不排水三轴试验进行了研究. 在试验过程中, 试样产生了明显的剪胀现象, 而当饱和度为 80% 时, 剪胀消失. 为进一步研究云南红黏土的不排气不排水剪胀特性, 笔者在文献[8]的试验基础上, 对增加了干密度为: 1.5, 1.6, 1.7 g/cm³, 饱和度为: 30%、40%、50%、60%、70%、80%, 共 18 组, 72 个试样, 试样制备与试验步骤详见文献[8]. 由于篇幅限制, 仅列出一部分典型的轴变-体变关系曲线, 如图 1 所示.

收稿日期: 2012-; 修订日期: 2012-

作者简介: 杨松(1982-), 男, 云南农业大学讲师, 博士, 主要从事土的基本性质方面研究, E-mail: ysliff007@

126.com

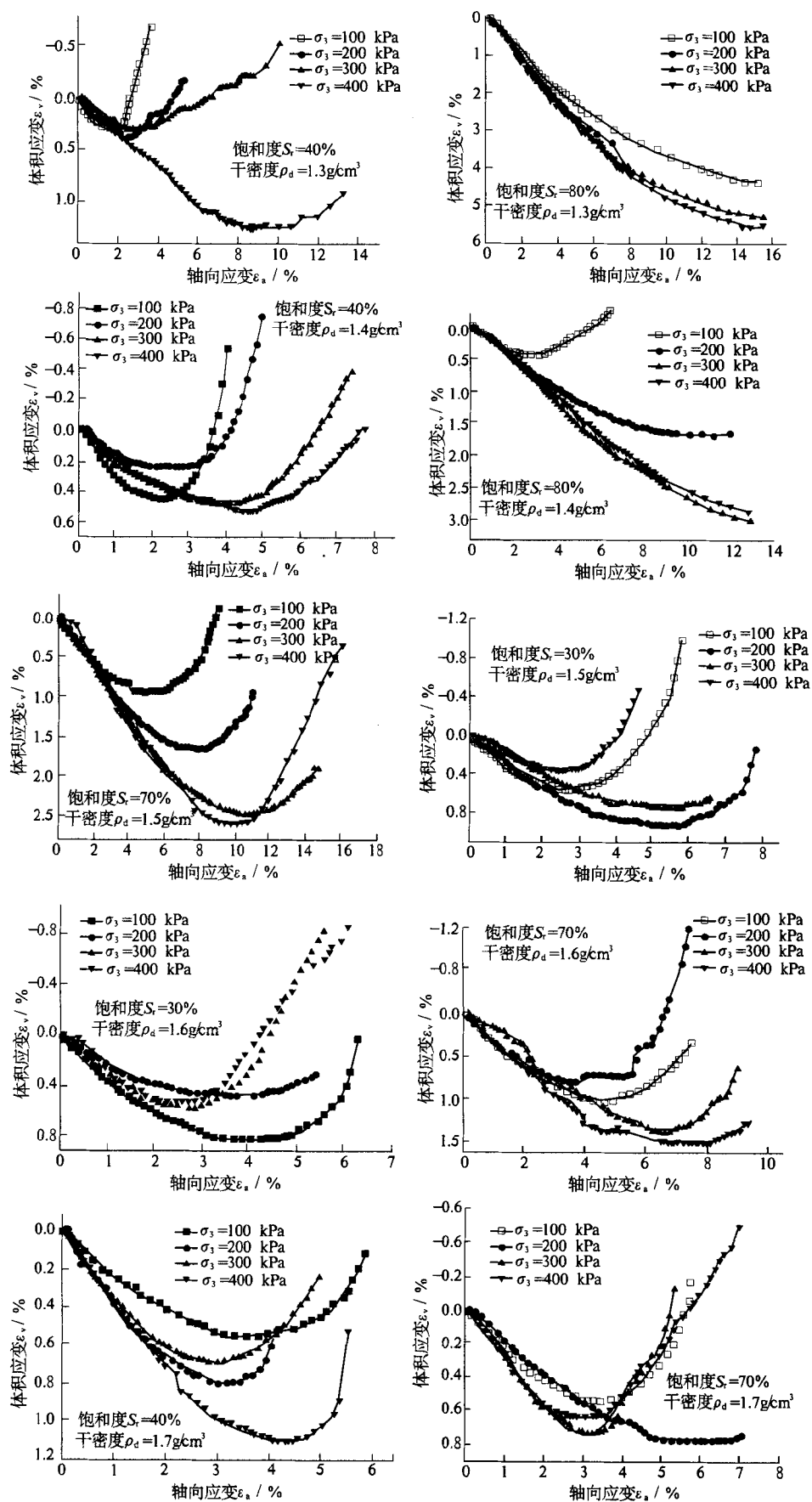


图1 不同干密度、饱和度下的轴变-体变关系曲线

Fig.1 Relation curves of axial strain and volumetric strain with differet dry densities and saturations

在试验过程中,出现了明显的剪胀现象.且随着围压的增大,剪胀现象越明显.围压越大,试验由剪缩到剪胀转变时的轴变越大.当剪切结束后,包裹试样的橡皮膜出现了鼓胀现象,如图2所示.

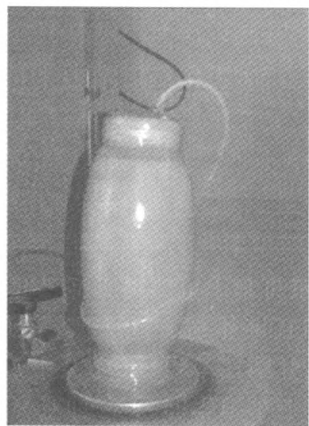


图2 试验结束后橡皮膜出现的鼓胀现象

Fig. 2 The samples are bulgy after the shear test

因为橡皮膜中存在气压力,使得橡皮膜出现了胀鼓现象.由于是进行不排气、不排水剪切试验,在剪切过程中试样被压缩,孔隙气也被压缩.试验结

束后,试样体积比原来缩小了,而孔隙气压增大了,就出现了图2所示的现象.

然而当试样的干密度较小,饱和度较大时,试验过程中的剪胀现象消失,试验结束后橡皮膜的鼓胀现象也随之消失.

2 剪胀特性分析

剪胀(岩土类材料受到剪切时,颗粒与颗粒之间会发生错动,这时候会产生塑性体积变形)是岩土类材料的一个重要特性,一般说来,软土和松砂表现为剪缩,密实砂土和超固结黏土则表现为剪胀.然对非饱和云南红黏土进行不排气、不排水试验所制的土样并没有前期固结,且当干密度较小,饱和度不大时,土样剪切过程中的剪胀现象也非常明显.而随着饱和度的增大,干密度的减小,剪胀现象也逐渐消失.由此可以断定气体是使本次试验过程中产生剪胀现象的主要原因.从土壤的微观角度分析可以解释其机理,如图3所示.

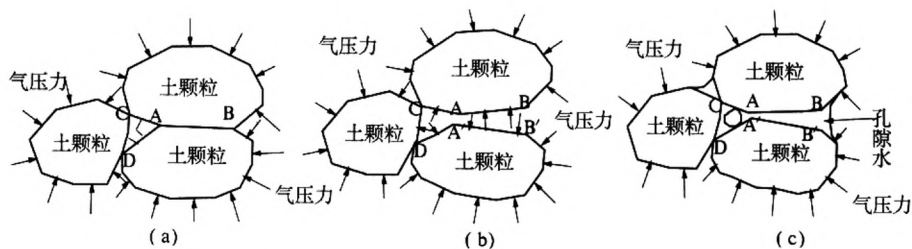


图3 红黏土不排气不排水试验剪胀机理

Fig. 3 The dilatation mechanism of unventilated-undrained test on red cohesive soil

试样进行不排气、不排水剪切试验,在围压作用下,土样中的气体产生压缩,并有一定的气压.如图3(a)所示. AB面由于土的黏力或其他物理化学作用胶结在一起.此时土颗粒的整个力系是平衡的.试样在剪切过程中,AB面发生微小错动,在AB面中出现微小缝隙,原来胶结的两个面分离成AB, A'B'.由于孔隙气压力的存在(图3(b)),土颗粒A和土颗粒A'在不平衡力矩作用下将分别沿C、D转动,直到达到新的平衡.转动过程必然使得土体体积开始增加,也就是剪胀发生.对于饱和度较高的土体(图3(c)),由于孔隙水占去了孔隙的大部分体积,即使在AB面产生缝隙,也会被孔隙水填满.剪胀现象也就不会发生.饱和度较高,围压较大,土体中的气体可能完全溶与水,此时非饱和土就变成了饱和土.不排气、不排水剪切试验就变成了饱和土的不固结不

排水剪切试验.

从上面的分析也可以判断,气体是使得本次不排气、不排水试验试样产生剪胀的主要原因.随着试样内气体压力的增大,在图3中的不平衡力矩也会增大,则应力剪胀现象也就更明显.试样内气体的压力显然是与围压有关的,因此可以断定,围压越大则试样的剪胀越明显,这与试验结果是一致的.正是由于不排气、不排水试验中试样不断压缩,试样内的孔隙气压也不断的增大,才使得云南红黏土试样密度比较小的情况下也能发生明显的剪胀现象.

3 结论

(1)在改进的常规三轴仪上对非饱和土进行不排气、不排水试验,试验过程中出现了明显的剪胀现象.当干密度较大,饱和度也较大时,剪胀现

象依然很明显. 只有当干密度较小, 饱和度较大时剪胀现象才随之消失.

(2) 发生剪胀的试样在试验结束后, 包裹在试样外的橡皮膜出现鼓胀现象; 而没有发生剪胀的试样其橡皮膜没有鼓胀现象, 剪胀是由孔隙气压力所引起的.

(3) 从微观角度看, 由于孔隙气压力的存在, 造成了试验剪切过程中的土颗粒间的力矩不平衡, 不平衡的力矩会使土颗粒发生翻转, 宏观上就表现为剪胀; 当试样干密度较小, 饱和度较大时, 在围压作用下孔隙气溶于水, 没有了不平衡力矩, 剪胀也就消失了.

试验方法和试验过程可能也会对试样的变形特性产生影响, 这还有待于进一步的研究.

参考文献:

- [1] 殷宗泽, 周建, 赵仲辉, 等. 非饱和土本构关系及变形计算[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(2): 137-146.
- [2] 凌华, 殷宗泽, 蔡正银. 非饱和土的应力-含水率-应变关系试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(3): 651-655.
- [3] 毕庆涛, 殷宗泽, 丁树云. 非饱和心墙料的固结不排水试验特性[J]. 岩土力学, 2009, 30(5): 1271-1274.
- [4] 李广信, 司韦, 张其光. 非饱和土的清华弹塑性模型[J]. 岩土力学, 2008, 29(8): 2033-2036.
- [5] RAHARDJO H, HENG O B, CHOONE C. Shear strength of a compacted residual soil from consolidated drained and constant water content triaxial tests[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2004, 41(3): 421-436.
- [6] THU T M, RAHARDJO H, ChOONE E C. Shear strength and pore-water pressure characteristics during constant water content triaxial tests[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006, 132(3): 411-419.
- [7] GRPZOC J L H, NADIM F, KVALSTAD T J. On the undrained shear strength of gassy clays[J]. Computers and Geotechnics, 2005, 32: 483-490.
- [8] 杨松, 卢廷浩. 非饱和红粘土的不排气、不排水三轴剪切试验研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(S1): 356-359.

Study on Unventilated-undrained Deformation Behavior of Yunnan Red Cohesive Soil

YANG Song¹, WU Jun-hua², LU Ting-hao³, HE li⁴

(1. College of Hydraulic and Architectural Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China; 3. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4 Center of Agricultural Education and Experiment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: It is difficult to measure matric suction in unsaturated soil. Using saturation as a parameter is valuable for unsaturated soil research. A series of improved triaxial compression tests were performed on Yunnan red cohesive soil with different initial saturation degrees and different dry bulk densities. The dilatation occurred frequently during the tests. When the soil dry bulk density was high, the dilatation of samples with high saturation degrees also occurred. The dilatation disappeared when soil dry bulk density was small and saturation degree was high. The dilatation can be well explained through microscopic mechanism. The dilatation was caused by lopsided moment and the lopsided moment was caused by pore air pressure. When the soil samples with high saturation degrees had small dry bulk densities, the pore air dissolved in the water and the dilatation disappeared.

Key words: red cohesive soil; triaxial test; volumetric deformation; dilatation