

# 干湿循环条件下广西南宁地区原状膨胀土的工程特性

李雄威<sup>1</sup>, 张勇<sup>2</sup>, 王勇<sup>3</sup>

(1. 常州工学院土木建筑工程学院, 江苏 常州 213002; 2. 浙江工业大学建筑工程学院, 杭州 310014;  
3. 中国科学院武汉岩土力学研究所岩土力学与工程国家重点实验室, 武汉 430071)

**摘要:** 以广西南宁地区膨胀土为研究对象, 考虑干湿循环作用的影响, 通过室内试验对膨胀土的膨胀变形和强度特性进行测试。在试验中利用大环刀样模拟干湿循环过程, 再转制小环刀样进行膨胀率和直剪试验, 改善了试样制备中的尺寸效应。试验结果表明: 干湿循环过程可有效降低土体的抗剪强度, 对于新开挖膨胀土边坡需即时防护, 可考虑采用结构措施部分限制土体的膨胀变形, 从而有效降低干湿循环过程中土体强度的衰减, 达到维持边坡稳定的目的。室内试验结果可为相关边坡设计中计算参数的选取提供参考。

**关键词:** 膨胀土; 干湿循环; 膨胀率; 抗剪强度; 边坡防护

中图分类号: TU443

文献标识码: A

## Engineering properties of original state expansive soil in Nanning of Guangxi under the influencing of wetting-drying cyclic process

Li Xiongwei<sup>1</sup>, Zhang Yong<sup>2</sup>, Wang Yong<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China;  
2. College of Architecture and Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;  
3. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

**Abstract:** Considering the influence of wetting-drying cyclic process to the expansive soil in Nanning of Guangxi, the swelling deformation and strength characteristics of the expansive soil are studied by the method of laboratory test. In the course of preparing samples, the common cutting ring is replaced by a large one. Then, the common cutting ring is used in the swelling tests and direct shear tests, which improve the size effects in the sample preparation. The test results show that the shear strength may decrease largely after the wetting-drying cycles. The new-cut slope should be protected immediately, and the structure measures could be used to restrain the expansion deformation partly, which may prevent the decrease of the shear strength to keep the slope stability. The test results also may provide the reference for the parameter selection in slope design.

**Key words:** expansive soil; wetting-drying cycles; expansive ratio; shear strength; slope protection

### 0 前言

对于膨胀土边坡而言, 膨胀土强度对于维持边坡的稳定至关重要。对大量膨胀土边坡滑坍失稳现象的分析表明, 其破坏形式主要为浅层滑坍, 破坏常常有两种情况: (1) 边坡开挖过程中或刚结束即发生, 这主要是由于开挖卸载、超固结膨胀土应力释放或土体膨胀变形所致, 由于发生在施工期间, 滑坍的治理相对容易且经济; (2) 边坡开挖(或填筑)若干年后发生破坏, 这主要是由于季节性干湿

效应的影 响, 边坡土体干缩湿胀, 结构逐渐变化, 强度衰减。而后者往往难以预测和治理。因而研究非饱和膨胀土在季节性干缩湿胀循环条件下的抗剪强度变化, 对膨胀土边坡稳定性进行准确的预测、

收稿日期: 2010-11-30; 修订日期: 2010-12-30

基金项目: 常州工学院自然科学研究基金项目 (No. YN0911)。

作者简介: 李雄威 (1976-), 男 (汉族), 湖北十堰人, 博士, 讲师。

预报,无论在理论上还是工程应用上都具有重要意义<sup>[1-4]</sup>。

本文主要针对广西南宁地区膨胀土在干缩湿胀循环条件下的膨胀变形和强度特性作出室内试验研究,为广西地区膨胀土工程问题的处理提供参考。

## 1 试验土样与试验方法

### 1.1 试验土样

试验土样来自南宁市郊外广西农业科学院水牛所草场坡地。土样取自地表以下 1.5 ~ 1.8m,呈灰白色,可塑,粘性较强,天然含水率较高,裂隙面呈蜡状光滑,具有典型膨胀土的特征。试验测试获

得的基本物理性质指标和胀缩指标见表 1、表 2,根据膨胀潜势等级判定标准<sup>[5]</sup>,该灰白色粘土为强膨胀土。

### 1.2 试验方法

以往进行的干湿循环条件下膨胀土膨胀率和抗剪强度试验,通常直接采取小环刀样进行干湿循环过程制样,实践表明尺寸效应影响较大,试样边缘破碎明显,与自然条件下土样干湿循环过程相差较远。本文采取大环刀样进行干湿循环过程制样,再转制为小环刀样进行膨胀变形和强度试验,目的是降低尺寸效应对土样胀缩过程的影响。

#### (1) 干湿循环作用下膨胀土膨胀变形试验

膨胀土基本物理性质

表 1

土样	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	干密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比重	液限 (%)	塑限 (%)	塑性指数	饱和渗透系数 (m/s)	<5μm 粘粒含量 (%)
灰白色膨胀土	1.78	40.9	1.26	2.77	94.31	35.31	58.99	6.08E-8	76

膨胀土胀缩特性

表 2

土样	自由膨胀率 (%)	收缩系数	缩限 (%)	体缩率 (%)	50kPa 膨胀率 (%)
灰白色膨胀土	98	0.44	20	20.4	-0.0085

将含水率和密度相近的土样制成大环刀样,抽气饱和后,分成 4 组按表 3 所示土样数量备样。大环刀样脱湿至预定含水率后,放入保湿缸超过 48h,再抽真空饱和,如此往复达到如表 3 所示的干湿循环次数后,在预定含水率将大环刀土样制成小环刀样,依据《土工试验规程》(SL237-026-1999)进行垂直荷载分别为 0kPa、12.5kPa、25kPa 和 50kPa 的侧限膨胀率试验。

#### (2) 干湿循环作用下膨胀土强度特性试验

##### 1) 无荷膨胀强度特性试验

将含水率和密度相近的土样制成大环刀样,抽气饱和后,分成 4 组按表 3 所示土样数量备样。大环刀样脱湿至预定含水率后,放入保湿缸超过 48h,再抽真空饱和,如此往复达到如表 3 所示的干湿循环次数后将大环刀饱和土样制成小环刀样,放入四联直剪仪,进行垂直荷载分别为 12.5 kPa、25 kPa、50 kPa 和 100 kPa 的固结快剪试验。

##### 2) 有荷膨胀强度特性试验

将含水率和密度相近的土样制成大环刀样,抽气饱和后,分成 3 组,每组 3 个按表 3 将大环刀样脱湿至预定含水率后,放入保湿缸超过 48h,再制成小环刀样,按规范进行上部荷载分别为 12.5kPa、

25kPa 和 50kPa 的侧限膨胀率试验,再将膨胀完全后的土样放入直剪仪,在与膨胀率试验相同的上部荷载下进行固结快剪试验。试验中土样干湿循环次数为 1 次。

试样制备方案

表 3

土样初始 含水率 (%)	土样饱和 含水率 (%)	预定脱湿 含水率 (%)	试样数目(个)		
			干湿循环 1 次	干湿循环 2 次	干湿循环 3 次
40	43	25	4	4	4
40	43	20	4	4	4
40	43	15	4	4	4

## 2 试验结果分析

### 2.1 干湿循环作用下膨胀土的膨胀变形

土样膨胀率与干湿循环次数的关系如图 1,可见,由于本试验方法主要反映的是土样相对膨胀率与干湿循环次数的关系,所以土样的膨胀率随干湿循环的次数增加呈现出逐渐变小的趋势。干湿循环过程会使土样的比表面积减小,孔隙率增大,颗粒定向性变差<sup>[6]</sup>,从而导致绝对膨胀率的增加和相对膨胀率的降低。由于试样缩限基本在 20%,所以 15% 含水率土样的膨胀率与 20% 的土样相接近,而随着含水率的增加土体膨胀幅度有所降低,说明含水率变化幅度对膨胀性影响较大。

在垂直荷载较小或无垂直荷载时,土样膨胀变形幅度较大,说明自然状态下浅层土体较容易受到大气风化影响。而在垂直荷载较大时,不同初始含

水率土样的膨胀率在不同干湿循环条件下比较接近,说明部分限制土体膨胀,会降低含水率变化幅度不同对土体膨胀变形产生的影响。

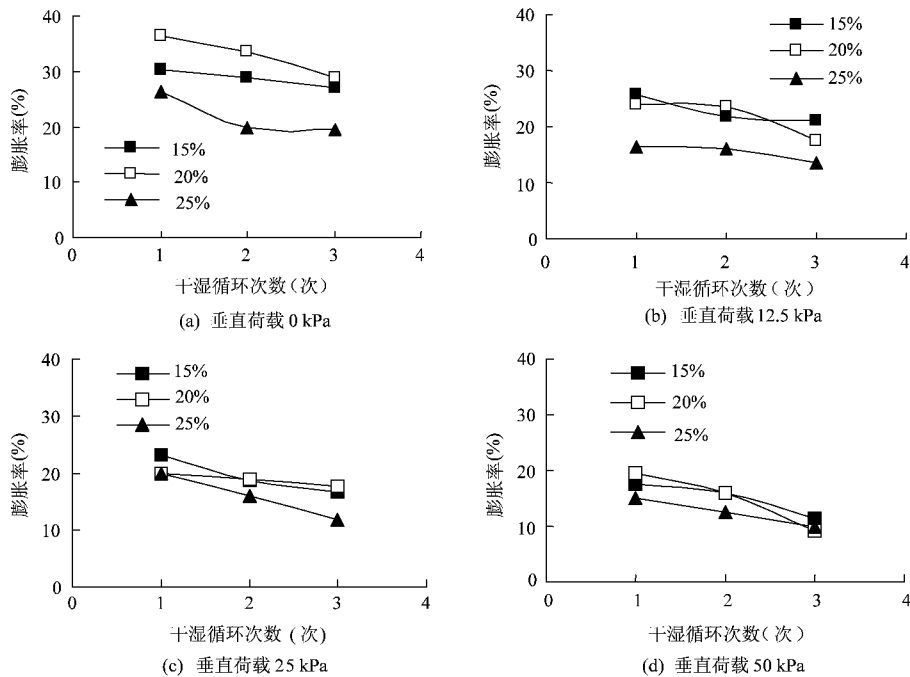


图1 不同含水率膨胀土的膨胀率与干湿循环次数关系

## 2.2 干湿循环作用下膨胀土的饱和强度

不同起始含水率土样在不同干湿循环次数下的饱和强度如图2,可见垂直荷载较小时,土样的抗剪强度随干湿循环次数的增加明显降低。制备的土样在有垂直荷载限制膨胀后的饱和强度与无荷载限制膨胀的土样强度同时整理见图2,通过对比可见,有垂直荷载限制膨胀的土体抗剪强度,在小荷载时与无荷载限制时比较接近,当垂直荷载较大时,膨胀土的强度得到较大幅度的提高。可以看出,部分限制土体膨胀变形可有效降低干湿循环过程引起的抗剪强度衰减。

将干湿循环作用下,土样粘聚力和内摩擦力与干湿循环次数的关系整理见图3和图4。可见,随着干湿循环次数的增加,饱和土样的粘聚力呈逐渐减小的趋势,干湿循环幅度越大,土样粘聚力的减小幅度也越大;随着干湿循环次数的增加,饱和土样的内摩擦角,呈缓慢增加的趋势。究其原因,干湿循环的作用使原状土体的结构性产生破坏,从而造成土颗粒间的胶结变弱;粘粒之间作用着的不可逆的范德华力使粘粒集聚成较大集聚体,土中分散细粒含量减少,从而导致饱和土样的内摩擦角小幅增加。缩限含水率时土样的饱和强度与小于缩限含

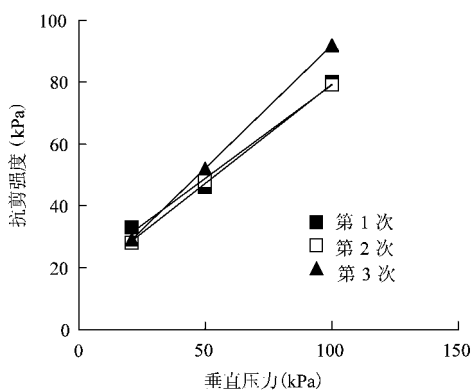
从以上对试验结果进行的分析可见,考虑干湿循环作用对膨胀土膨胀变形的影响,更符合膨胀土在自然状态下的胀缩变化过程。

水率土样的饱和强度比较接近,说明当含水率小于缩限后,干湿循环幅度对土体的饱和强度影响不大。试验中考虑干湿循环过程,获得的土体强度参数 $c$ 、 $\varphi$ ,更接近自然状态下膨胀土的强度指标,试验结果可为边坡稳定性计算中参数的取值提供参考。

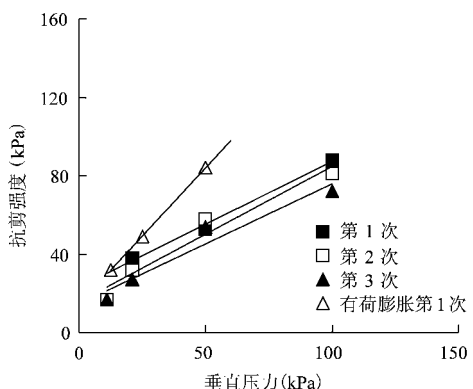
由试验结果可以看出,干湿循环作用会使土体趋于松散,这种作用对浅层膨胀土的强度和变形特性影响较大。由现场试验可见膨胀土边坡的浅层土体含水率变化幅度较大<sup>[7]</sup>,而在季节性干湿循环过程中这部分土体强度的衰减量也就最大,这就解释了膨胀土边坡破坏的浅层性的特点。而当上部荷载对土体膨胀过程进行限制后,土体的强度衰减过程得到有效遏制。这也说明类似框锚结构系统在边坡的防护中,结构物对土体的反作用可有效降低干湿循环过程引起的土体强度衰减,从而达到维持边坡稳定的目的。

## 3 结语

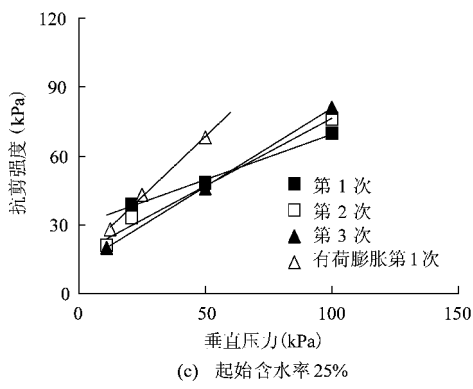
(1) 在干湿循环条件下膨胀土的膨胀变形和抗剪强度试验中,采取大环刀样进行干湿循环过程模拟,再转制为小环刀样进行膨胀率和抗剪强度试



(a) 起始含水率 15%



(b) 起始含水率 20%



(c) 起始含水率 25%

图 2 不同干湿循环次数下膨胀土的饱和抗剪强度与垂直压力的关系

验, 制样和试验过程表明这种试验方式可降低尺寸效应对土样胀缩过程的影响, 试验状态更接近于自然条件下土样的干湿循环过程。

(2) 土体经历干湿循环过程后, 其膨胀变形和强度特性会产生较大变化。干湿循环作用会使土体趋于松散, 这种作用对浅层膨胀土的强度特性影响较大, 干湿循环的过程可有效降低土体的抗剪强度。膨胀土边坡的浅层土体含水率变化幅度较大, 而在季节性干湿循环过程中这部分土体强度的衰减量也就最大, 这就解释了膨胀土边坡破坏浅层性的特点。新开挖膨胀土边坡需即时防护, 选择边坡防

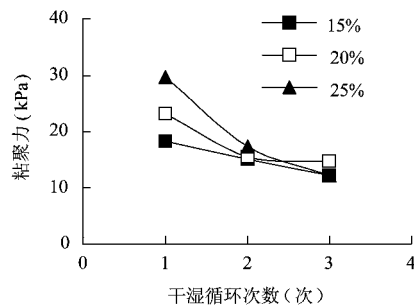


图 3 不同起始含水率下饱和膨胀土样粘聚力与干湿循环次数关系

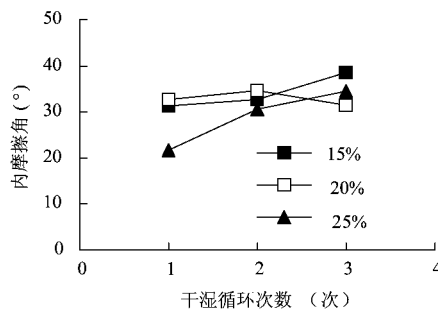


图 4 不同起始含水率下饱和膨胀土样内摩擦角与干湿循环次数关系

护设计方法和施工措施时, 需考虑保湿, 减小干湿循环过程的发生频率, 降低含水率变化幅度。

(3) 当膨胀土膨胀过程受到部分限制后, 土体的强度衰减得到有效遏制。结合试验结果说明, 在对边坡进行工程防护时, 可考虑采用结构措施部分限制土体的膨胀过程, 从而有效阻止干湿循环过程中土体强度的衰减, 达到维持边坡稳定的目的。本文的试验结果, 可为相关边坡设计中参数的选取提供参考。

参 考 文 献

[1] 廖世文. 膨胀土与铁路工程 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984.

[2] 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

[3] 廖世文. 安康膨胀土抗剪强度初步探讨 [J]. 铁道部第二勘测设计院科技简讯, 1979, 1.

[4] 韩华强, 陈生水. 膨胀土的强度和变形特性研究 [J]. 岩土工程学报, 2004, 26 (3): 422~424.

[5] 交通部第二公路勘察设计院. 公路设计手册《路基》[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996.

[6] 刘松玉, 季鹏, 方磊. 击实膨胀土的循环膨胀特性研究 [J]. 岩土工程学报, 1999, 21 (1): 9~13.

[7] 李雄威, 孔令伟, 郭爱国. 膨胀土堑坡变形的湿热耦合效应及其与降雨历时的关系 [J]. 公路交通科技, 2009, 26 (7): 1~6.