

doi:10.3969/j.issn.1674-3636.2013.04.635

干湿循环对合肥马鞍山路膨胀土强度特性的影响

崔可锐,李国峰

(合肥工业大学资源与环境工程学院,安徽 合肥 230009)

**摘要:**膨胀土属高塑性黏土,是一种典型的非饱和土,性质极不稳定,其吸水膨胀、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,造成在膨胀土地基上的建筑物位移、开裂、倾斜,甚至破坏,是一种典型的工程灾害性地质土。另外,膨胀土边坡也常由于雨水的作用失稳,造成不必要的损失。近年来,对膨胀土的强度和变形特性的研究已成为热点。其最大的特点是:在季节气候的影响下其强度特性具有明显的规律变动。通过模拟土体季节性的干缩湿胀,测定其自由膨胀率、液塑限、抗剪强度和无侧限抗压强度,并与掺入 7% 石灰后的改良土的试验数据及其他试验资料对比,探讨干湿循环效应对膨胀土强度的影响。

**关键词:**膨胀土;干湿循环效应;抗剪强度;无侧限抗压强度;自由膨胀率;安徽合肥

**中图分类号:**TU 411.6;TU 443      **文献标识码:**A      **文章编号:**1674-3636(2013)04-0635-04

0 引 言

膨胀土是一种对环境湿度变化敏感,由强亲水性矿物蒙脱石和伊利石等组成,具有多裂隙性、强胀缩性和强度衰减性的高塑性黏土(崔激等,2010;慕现杰等,2008)。在自然状态下,膨胀土多为黄、褐、灰白等颜色,呈硬塑、坚硬状态。外部荷载和含水量的变化是影响其膨胀与收缩的可逆性的 2 个主要外在因素。以前的研究多针对膨胀土 1 次胀缩而展开,但在许多膨胀土分布地区,如我国长江中下游地区,梅雨季降雨集中导致地下水位升高,而秋冬季降雨量较少使地下水位下降,其气候特征存在较明显的干湿循环。

1 试验方法

制样及干湿循环。将土样烘干粉碎,过 2 mm

筛。按设计掺入比加石灰和水制样。由击实试验确定最优含水率和最大干密度。试验设计共 6 次干湿循环,素土及灰土分别备样 7 组,每组 6 个,其中 4 个用于直剪试验、2 个用于无侧限抗压强度试验,共计 84 个。单向浸水饱和(约 24h),自然风干,再浸水饱和,即完成 1 次干湿循环。依据试验设计完成每组试样干湿循环次数。

2 膨胀土的物理力学性质

拟建场地位于合肥市马鞍山南路与望江东路交叉口,土层自上而下为:①层杂填土;②1 层黏土,②2 层黏土;③1 层强风化泥质砂岩,③2 层中风化泥质砂岩。素土物理力学性质指标测量结果见表 1。

表 1 原状土的物理力学性质指标测量结果

| 含水率<br>/% | 液限<br>/% | 塑限<br>/% | 塑性指数<br>/% | 自由膨<br>胀率/% | c<br>/kPa | φ<br>/(°) | q <sub>u</sub><br>/kPa | 密度<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 干密度<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 最大干密度<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 最优含<br>水率/% |
|-----------|----------|----------|------------|-------------|-----------|-----------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| 27.49     | 49.6     | 25.0     | 24.6       | 58.0        | 36.35     | 18.1      | 65.94                  | 1.96                        | 1.54                         | 1.63                           | 21          |

收稿日期:2013-04-25;修回日期:2013-05-02;编辑:蒋艳  
作者简介:崔可锐(1956—),男,教授,博士,从事地基处理、特殊土的研究以及地质灾害评价和构造地质研究与教学工作,E-mail:mu-huaroman@163.com

### 3 干湿循环效应的物理力学性质

本次实验共进行 6 次干湿循环,将不同循环次

表 2 重塑土干湿循环后的物理力学性质指标

| 循环次数 | 自由膨胀率/% |        | 塑限/% |        | 液限/% |        | c/kPa |        | $\varphi/(^{\circ})$ |        | $q_u/\text{kPa}$ |        |
|------|---------|--------|------|--------|------|--------|-------|--------|----------------------|--------|------------------|--------|
|      | 不加灰     | 加 7% 灰 | 不加灰  | 加 7% 灰 | 不加灰  | 加 7% 灰 | 不加灰   | 加 7% 灰 | 不加灰                  | 加 7% 灰 | 不加灰              | 加 7% 灰 |
| 0    | 58.0    | 10.0   | 23.8 | 28.0   | 51.7 | 38.1   | 26.3  | 389.6  | 18.1                 | 60.3   | 63.4             | 3 210  |
| 1    | 61.0    | 12.0   | 24.4 | 28.6   | 46.1 | 38.3   | 28.4  | 317.0  | 19.6                 | 69.0   | 76.0             | 3 266  |
| 2    | 68.5    | 16.5   | 23.2 | 28.5   | 51.0 | 39.2   | 32.9  | 507.6  | 14.2                 | 58.5   | 63.9             | 4 908  |
| 3    | 66.0    | 20.5   | 22.9 | 28.7   | 52.9 | 40.4   | 34.6  | 592.2  | 5.6                  | 64.9   | 77.5             | 5 066  |
| 4    | 63.5    | 20.5   | 24.1 | 30.0   | 47.0 | 39.4   | 26.4  | 451.1  | 4.6                  | 66.2   | 97.7             | 5 007  |
| 5    | 67.5    | 22.0   | 23.9 | 29.2   | 49.3 | 39.8   | 14.5  | 522.0  | 18.9                 | 65.4   | 109.7            | 5 194  |
| 6    | 60.5    | 22.5   | 23.8 | 30.3   | 49.8 | 42.9   | 10.0  | 484.6  | 12.6                 | 65.6   | 58.0             | 6 503  |

由表 2 的测试结果可得:(1) 素土的自由膨胀率随着循环次数的增加而上下波动,总体上有所增加。(2) 塑限先减小后增大然后再减小,第 4 次循环后达到峰值,总体看塑限呈减小趋势。液限随着干湿循环上、下波动,第 3 次循环达到峰值,塑性指数随着干湿循环总体上有所升高,但变化不是很大。其变化规律和液限几乎一致,可看出塑性指数和液限相关性较大。(3) 凝聚力  $c$  和内摩擦角  $\varphi$  随着干湿循环次数而发生变化,素土凝聚力随着循环次数的增加先增大后减小在第 3 次循环时达到峰值,内摩擦角总体趋势是先减小后增大然后再减小,在第 5 次循环后达到峰值。

### 4 干湿循环下的无侧限抗压强度

将不同干湿循环次数的试样,分别进行无侧限抗压强度试验。试验结果如图 1 所示。

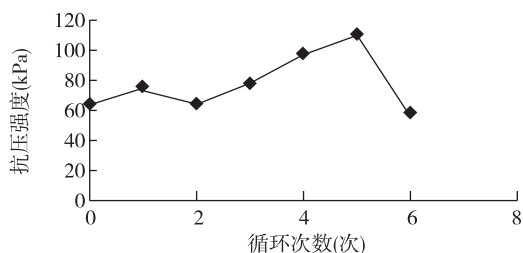


图 1 干湿循环对膨胀土无侧限抗压强度的影响

该膨胀土的无侧限抗压强度,总体看前 5 次循

数的试样分别进行液限、塑限、自由膨胀率和抗剪强度测量(崔激等,2010;Zemenu et al,2009)(表 2)。

环无侧限抗压强度呈增大趋势,但变化幅度不大。第 5 次循环后急剧减小,具体表现为试样表面出现竖向裂隙,分析原因为试样结构受到大的破坏,出现大裂缝导致强度降低(孔令伟等,2010;徐彬等,2010)。

### 5 膨胀土灰土的干湿循环效应

#### 5.1 膨胀土灰土的干湿循环效应物理性质

对不同干湿循环次数的灰土试样进行液限、塑限、自由膨胀率试验。试验结果如图 2 所示。

加入 7% 的石灰后,随着循环次数的增加,灰土的自由膨胀率逐渐增大,前 3 次增幅较大,然后趋向稳定,自由膨胀率小于 30%,已在非膨胀土范畴。塑限稍有增大趋势,基本为一直线。塑性指数和液限变动规律几乎相同,可见塑性指数和液限相关性更大。与素土相比,液限、塑性指数、自由膨胀率均有明显降低。分析原因为灰土反应使粗颗粒含量增加导致表面能降低,亲水性减弱,从而使塑性指数减小,胀缩性减弱(陈善雄等,2002;杨成斌等,2012)。

#### 5.2 膨胀土灰土的干湿循环效应力学性质

在直剪仪上每组试样分别在 50,100,200,400 kPa 下进行饱和固结。固结完成后,在各级固结压力下以 0.8 mm/min 的速率进行剪切试验,剪应力峰值即为该级压力下的剪切强度。试验结果如图 3 所示。

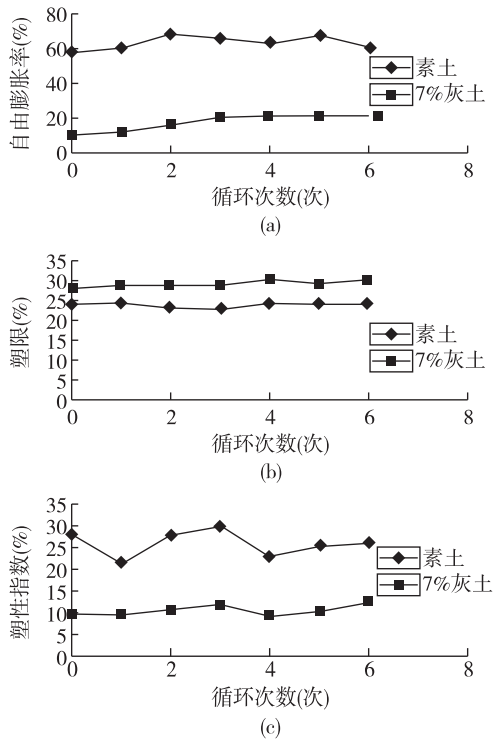


图 2 干湿循环对膨胀土物理性质指标的影响

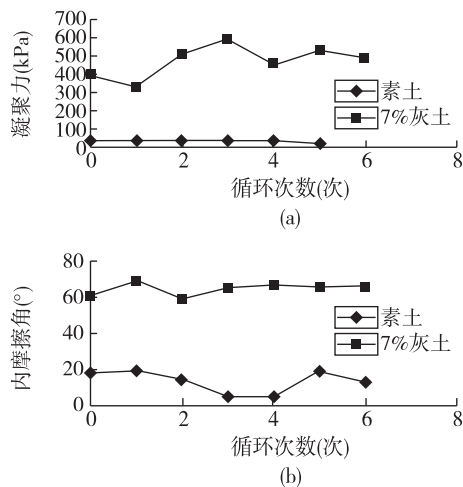


图 3 干湿循环对膨胀土力学性质的影响

由图可知,加灰后土体的抗剪强度在前 3 次干湿循环变化较大,随后的几次循环变化幅度较小,逐渐变缓。与素土相比, $c$ 、 $\varphi$  值明显增大。干湿循环后土的凝聚力的变化较大。

### 5.3 干湿循环下膨胀土灰土的无侧限抗压强度

将不同干湿循环次数的试样分别进行无侧限抗压强度试验。试验结果如图 4 所示。

经干湿循环后灰土的无侧限抗压强度呈增大趋

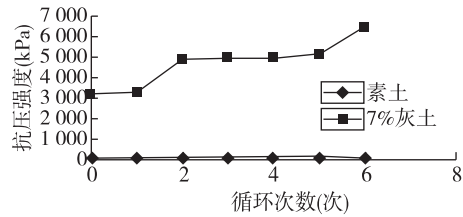


图 4 干湿循环对膨胀土无侧限抗压强度的影响

势,其变化规律不适合用函数表示。与素土相比,无侧限抗压强度明显增大。

## 6 结 论

(1) 该膨胀土经过干湿循环后自由膨胀率和液限有所升高,塑限有所下降,塑性指数有所升高,但幅度不是很大。对比曲线变化可认为其对强度特性影响不明显。

(2) 随着循环次数的增加,直剪试验中土的抗剪强度总体呈减小趋势,尤其在 3 次循环后,凝聚力急剧减小,宏观表现为土样表面出现细微裂隙,主要是干湿循环破坏了土的原有结构,使得凝聚力减小。可见干湿循环对土的抗剪强度中凝聚力的影响效果明显大于内摩擦角。

(3) 干湿循环后,膨胀土的无侧限抗压强度前几次循环略有增加,然后急剧下降。说明季节性干湿循环后,膨胀土的工程性质受到明显影响,在工程建设中应予以重视。

(4) 本地区素土随着自由膨胀率的增大,液限、塑限及塑性指数都呈波浪状变化。灰土随着自由膨胀率的增大,液限和塑限呈增大趋势,塑性指数呈波浪状变化但波动范围较小。

(5) 膨胀土经石灰处理后,性质改善明显,但也受到干湿循环的影响。① 随着循环次数的增加,自由膨胀率、液限、塑限均缓慢增加,总体变化幅度较小,塑性指数变化较小。较之素土,自由膨胀率、液限及塑性指数均有明显减小,塑限明显增大。另外变化幅度比素土有明显减缓。② 土样的抗剪强度随着循环总体有所增加,但随着循环次数的增加,抗剪强度趋于稳定;较之素土, $c$ 、 $\varphi$  值有了很大的提高,宏观表现为加灰土样经干湿循环后出现很少的微裂缝,而素土样出现的大多是大裂缝。③ 无侧限抗压强度随循环次数逐渐增加,总体较素土样有了

很大的提高。④ 分析原因:是 7% 的石灰和干湿循环的综合结果,干湿循环使土样抗剪强度、无侧限抗压强度减小,而 7% 灰土样有初期强度到后期强度的过程,这是使土样力学性质加强的过程,二者综合起来影响了土样的物理、力学性质。

#### 参考文献:

- 陈善雄,孔令伟,郭爱国. 2002. 膨胀土工程特性及其石灰改良试验研究[J]. 岩土力学,23(增刊1):9-12.
- 崔激,张志耕,闫澍旺. 2010. 膨胀土的干湿循环性状及其在边坡稳定性分析中的应用[J]. 水利与建筑工程学报,8(5):24-27.
- 孔令伟,周葆春,白颢. 2010. 干湿循环效应对合肥工业大学

南区膨胀土强度特性的影响[J]. 工程与建设,24(6):810-812.

- 孔令伟,周葆春,白颢,等. 2010. 荆门非饱和膨胀土的变形与强度特性试验研究[J]. 岩土力学,31(10):3036-3042.
- 慕现杰,张小平. 2008. 干湿循环条件下膨胀土力学性能试验研究[J]. 岩土力学,28(增刊1):580-582.
- 徐彬,殷宗泽,刘述丽. 2010. 裂隙对膨胀土强度影响的试验研究[J]. 水利水电技术,41(9):100-104.
- 杨成斌,查甫生,崔可锐. 2012. 改良膨胀土的干湿循环特性试验研究[J]. 工业建筑,42(1):98-103.
- ZEMENU G, MARTINE A, ROGER C. 2009. Analysis of the behavior of a natural expansive soil under cyclic drying and wetting[J]. Bull Eng Geol Environ, 68(3):421-436.

## Influence of drying and wetting cycle on strength characteristics of expansive soil in Ma'anshan Road in Hefei

CUI Ke-rui, LI Guo-feng

(School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** As a high plasticity clay, expansive soil was a typical non-saturated soil, and its nature was very unstable. Its water expansion, contraction water loss, shrinkage cracks and other characteristics made buildings often have uneven expansion and contraction deformations, resulting in expansive soil displacement, cracking, tilt or even destroy for buildings. It was a typical engineering disaster geological soil. In recent years, research on strength and deformation characteristics of the expansive soil became a hot topic. The greatest feature for the expansive soil was that its strength property affected by the seasonal climate changed obviously. By simulation of soil seasonal shrinkage wet expansion, the authors tested the liquid and plastic limits, free expansion, shear strength and unconfined compressive strength. By analysis of experimental data, other experimental data and the experimental data of doped with 7% lime improved soil, explored the impact of the drying and wetting cycle effects on expansive soil strength.

**Keywords:** Expansive soil; Drying and wetting cycle effect; Shear strength; Unconfined compressive strength; Free expansion rate; Hefei, Anhui