

不同水泥掺灰率下膨胀土 抗剪强度参数的试验分析

蒋晓庆¹, 李永彪², 林雁¹

(1. 安徽广播电视大学, 合肥 230022; 2. 安徽建筑大学 建筑结构与地下工程重点实验室, 合肥 230601)

摘要:为更深入地分析水泥和初始含水率对膨胀土的黏聚力和内摩擦角的影响,本次试验取水泥掺灰率从 0% 至 6%,分为 13 个不同掺灰率,分别在 5 组不同初始含水率下进行室内直剪试验,不同掺灰率下的剪应力—剪位移关系曲线显示:在较低掺灰率下,剪应力—剪位移关系曲线基本呈应变硬化型,与初始含水率无关;但剪切位移随初始含水率增大而相应的变大。结合数值拟合结果显示:在相同初始含水率下,随着掺灰率的增加,黏聚力呈先缓慢增加后快速增加最后又缓慢增加的趋势,内摩擦角一直呈缓慢增加趋势;在相同掺灰率下,随着初始含水率的增加,黏聚力和内摩擦角均呈先增加后降低的趋势。

关键词:膨胀土;初始含水率;掺灰率;黏聚力;内摩擦角

中图分类号:TU411.3

文献标志码:A

文章编号:1008-6021(2020)03-0093-04

一、引言

改良膨胀土的抗剪强度一直是岩土界的热点研究对象。其主要集中表现为三大类:化学改良法、物理改良法、生物改良法。化学改良法常用的材料有水泥^[1-2]、石灰^[3-4]、粉煤灰^[5-6]或者两两组合^[7],目前还有一些新型材料,如建筑渣土^[8]、煤矸石粉^[9]、纳米水泥^[10]等;物理改良法常用的是在膨胀土中加一些加筋纤维材料,达到降低膨胀性的效果;生物改良法则是利用微生物改变膨胀土土颗粒的结构,提高膨胀土

的抗剪强度。化学改良法相对施工容易,价格便宜,本次试验选择水泥作为改良材料,分析不同掺灰率、不同初始含水率下改良土的剪应力—剪位移关系特征,研究膨胀土抗剪强度参数黏聚力和内摩擦角的变化趋势。

二、试验方法

土样取自合肥瑶海区某小区附近,土样深度在 3 至 5 米,土样呈黄褐色,夹有少量的铁锰结核,呈硬塑状态。对土样进行常规的物理力学试验,物理指标见表 1。

表 1 膨胀土基本物理特性指标

容重 /(g * cm ⁻³)	液限 W _L /%	塑性指数 I _p /%	最优含水率 w _o /%	自由膨胀率 δ _{ef} /%	不同颗粒粒径(mm)			
					所占比例/%			
					>0.01	>0.005, ≤0.01	≥0.002, ≤0.005	<0.002
2.08	40.9	20.7	17.6	41	36.85	15.69	10.14	37.32

土样在烘箱内烘干,过 0.5 mm 细筛后,与水泥采用质量比掺灰,掺灰率分别为 0%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、5%、5.5%、6%。重塑土的初始含水率分别为 16.5%、18.5%、19.5%、21.5%、23.5%,每组初始含水率在同一个掺灰

率,需要四份土样,13 个掺灰率共计 52 份土样,共计 260 份土样。本次试验量较大,试验持续时间长,为了保证试验的准确性,每次土样的配置不宜过多。本次试样的养护周期为 7 天,放在恒温保湿箱内养护。养护好的土样取出,利用轻型击实仪进行击实,土样

收稿日期:2020-01-06

基金项目:安徽省高等学校省级质量工程项目(项目编号:2017zhkt120);安徽省高校自然研究重点项目(项目编号:KJ2019A0971)

作者简介:蒋晓庆(1985—),女,安徽亳州人,讲师,硕士。研究方向:非饱和和膨胀土的强度特性

规格为一个标准的环刀尺寸,即直径为 61.8 mm,高度为 20 mm。采用全自动直剪仪进行抗剪强度的测定,竖向应力为 100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa。剪切速率为 0.8 mm/min。

三、试验数据分析

图 1 显示,随着初始含水率的增加,剪应力峰值先增大后变小,当初始含水率为 18.5% 时,剪应力峰值最大,曲线呈应变软化状态。在初始含水率为 21.5% 和 23.5% 时,曲线呈应变硬化状态,且剪位移越来越大,土体的塑性变形越来越明显。图 2 显示,随着竖向应力的增加,不同初始含水率的剪应力峰值都在增加,曲线除 16.5% 含水率的呈应变软化状态,其余四条曲线均呈应变硬化状态,剪位移较 100 kPa 作用下也发生了相应的增加。以上现象说明适当的外荷载作用和增加膨胀土的初始含水率可以有效地增加膨胀土的破坏时间,对于膨胀土边坡失稳有一定的理论参考意义。

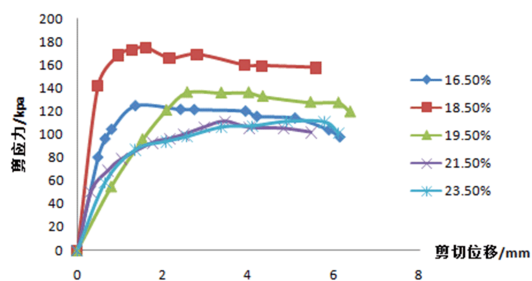


图 1 100 kPa 下不同初始含水率的剪应力—剪位移关系曲线

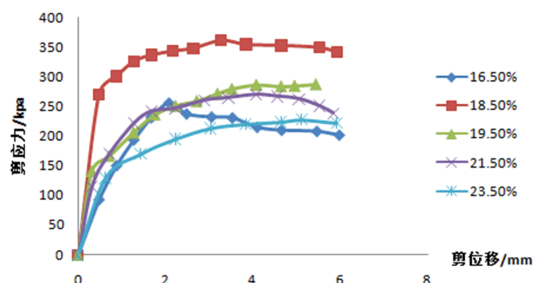


图 2 400 kPa 下不同初始含水率的剪应力—剪位移关系曲线

图 3、图 4 曲线显示,掺灰后的剪应力—剪位移曲线基本呈应变硬化型,当剪应力达到峰值后,很快就达到稳定强度,差值较小。初始含水率为 16.5% 时,随着掺灰率的增加,剪切峰值在逐渐增加,且 0.5% 到 2.5% 之间增加幅度较小,3% 时峰值突然增加,剪切位移集中在 2~3 mm 之间。不同的掺灰率

下,相应的剪切位移分别为:2.815 mm、2.987 mm、2.156 mm、2.008 mm、2.798 mm。图 4 显示,在初始含水率同为 23.8% 时,随着掺灰率的增加,剪切峰值也在逐渐增加,其中 0.5% 到 2% 之间增加幅度不大,2.5% 时峰值突然增加,不同掺灰率下的剪切位移集中在 3~4 mm。不同的掺灰率下,相应的剪切位移分别为:3.67 mm、3.523 mm、3.524 mm、3.207 mm、3.27 mm。综上所述,在相同的竖向作用下,低掺灰率的土样随着初始含水率的增加,剪切位移会变大,但是不同掺灰率下剪切位移的变化规律并不明显。

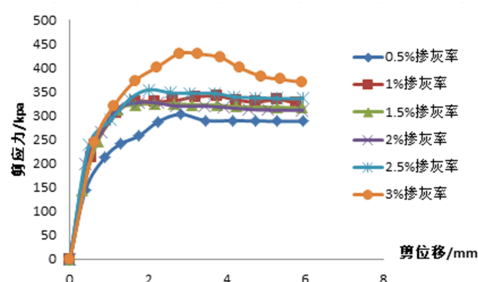


图 3 16.5% 含水率,400 kPa 下低掺灰率下剪应力—剪位移曲线

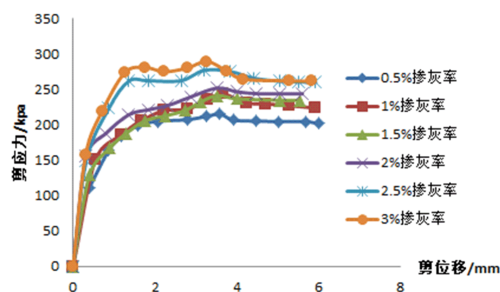


图 4 23.5% 含水率,400 kPa 下低掺灰率下剪应力—剪位移曲线

图 5 试验结果显示,当初始含水率保持不变,随着水泥掺灰率的提高,黏聚力逐渐增大。在较低掺灰率作用下,黏聚力的增加幅度不大,一般不超过 20 kPa;在较高掺灰率作用下,黏聚力的增加幅度显著增加,最高可达 44.5 kPa;当掺灰率超过最佳掺灰率时,黏聚力的增加幅度又降低。因此,在同一初始含水率下,黏聚力随着掺灰率的增加,呈现出缓慢增加快速增加又缓慢增加的趋势。不同初始含水率的最佳掺灰率也不同,初始含水率越大,最佳掺灰率呈现出增加的趋势。五组不同含水率所对应的掺灰率分别为 4.5%、4%、4.5%、5%、5.5%。

图 6 试验结果显示,当初始含水率保持不变,随着水泥掺灰率的提高,内摩擦角逐渐增大,增加幅度

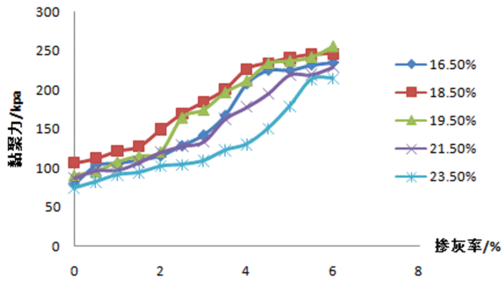


图5 不同初始含水率下掺灰率与黏聚力的关系曲线

偏小。当 $\omega = 23.8\%$ 时, 内摩擦角最大差值为 15.33° 。内摩擦角随着掺灰率的提高而增大, 主要是因为同一含水率下, 膨胀土的内摩擦角主要和土颗粒的大小、形状和结构有关。当水泥颗粒与膨胀土的颗粒之间发生了一系列的离子交换、聚合反应, 直至形成晶体结构, 土颗粒经历了聚合变大, 纤维状、细棱柱状、链条状等晶体结构的变化时, 土颗粒之间的摩擦面逐渐变大, 内摩擦角会相应地增大。但是内摩擦角的增加明显低于黏聚力, 主要是由于膨胀土吸力的存在, 吸力对黏聚力有贡献作用, 但是对内摩擦角几乎没有影响。

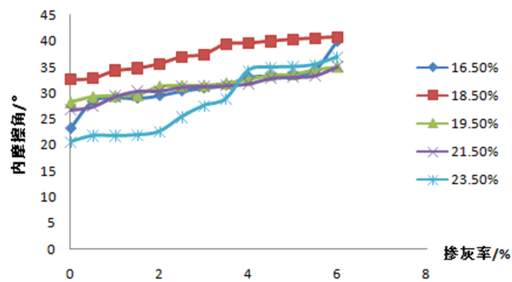


图6 不同初始含水率下掺灰率与内摩擦角的关系曲线

图7试验曲线显示, 当水泥掺灰率保持不变, 随着初始含水率的增加, 黏聚力呈现先增加后降低的趋势。当 $\omega = 18.3\%$ 时, 不同掺灰率下的黏聚力最大(6%作用下的除外)。因此, 18.3% 称为黏聚力的最佳含水率。低于最佳含水率时, 黏聚力随着初始含水率的增加而增大, 高于最佳含水率时, 黏聚力随着初始含水率的增加而降低。这主要是因为含水率可以反映土颗粒公共结合水膜联结的情况, 当初始含水率低于最佳含水率时, 一方面随着含水率的增加, 土颗粒之间的公共水膜联结力增大, 此时吸力的贡献也比较大, 黏聚力会相应地增加; 另一方面是由于环刀的约束也可以提高膨胀土的抗剪强度, 进而反映在黏聚力的提高上。超过最佳含水率时, 土颗粒结合水膜距

离增大, 颗粒之间的公共结合水膜联结力减弱, 同时吸力随着含水率的增加也会降低, 进而导致土体的黏聚力又相应地减小。

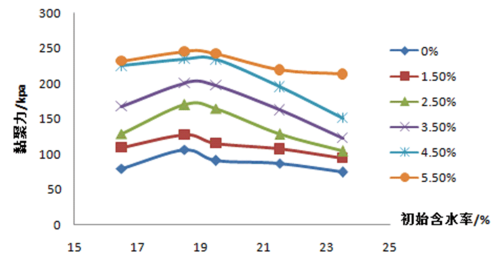


图7 不同掺灰率下初始含水率与黏聚力的关系曲线

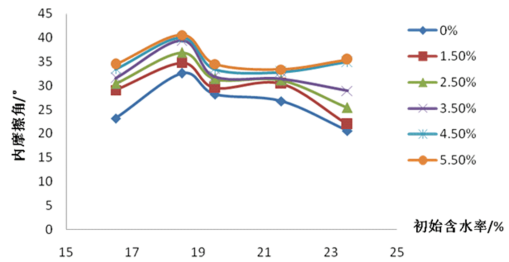


图8 不同掺灰率下初始含水率与内摩擦角的关系曲线

图8试验曲线显示, 当水泥掺灰率保持不变, 随着初始含水率的增加, 内摩擦角呈现先增加后降低的趋势。原因同黏聚力变化原因相同。超过最佳含水率时, 水在土颗粒之间起到了润滑的作用, 内摩擦角会相应地降低。

四、结论

研究结论如下:

(1) 掺灰率为 0% 时, 随着初始含水率和竖向应力的增加, 剪应力—剪位移曲线由应变软化型向硬化型转变, 剪切位移也在相应的增加, 因此, 适当地增加外荷载的作用和土体内的含水率可以延长土体剪切破坏的时间。较低掺灰率的改良膨胀土的剪应力—剪位移关系曲线基本呈应变硬化型, 和初始含水率大小无关。初始含水率越大, 剪切位移越大。

(2) 每个初始含水率对应一个最佳掺灰率。掺灰率与最佳掺灰率差值越小, 改良土的黏聚力增加幅度越大。内摩擦角随着掺灰率的增加一直呈缓慢增加趋势。

(3) 存在一个黏聚力和内摩擦角的最佳含水率, 在本次试验中的最佳含水率为 18.3% 。小于最佳含水率时, 黏聚力和内摩擦角随着初始含水率的增加而增大; 超过最佳含水率时, 黏聚力和内摩擦角随着初始含水率的增加而降低。

参考文献:

- [1] 孙慧,刘军,胡波,等. 水泥改性膨胀土防护边坡效果分析[J]. 长江科学院院报,2017,34(5):53-57.
- [2] 强鲁斌,徐萍. 水泥改性土作业面存在的问题及工程处理措施[J]. 长江科学院院报,2015,32(5):100-104.
- [3] 杨俊,童磊,张国栋,等. 初始含水率和改良材料掺量对膨胀土抗剪强度的影响[J]. 水利水电科技进展,2014,34(3):39-43.
- [4] 杨俊,许威,张国栋,等. 不同改良材料对膨胀土工程性能影响的对比试验[J]. 工业建筑,2014,44(2):89-93.
- [5] 董景铨. 碱激发粉煤灰改良膨胀土强度特性试验研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2019:5-7.
- [6] 鞠兴华,杨晓华,张莎莎. 水泥粉煤灰建筑垃圾桩处理软土地基试验研究[J]. 防灾减灾工程学报,2018,38(4):723-730.
- [7] 杨爱武,肖敏,周玉明. 石灰粉煤灰固化天津滨海软土试验研究[J]. 地下空间与工程学报,2019,15(1):60-67.
- [8] 张长亮. 改良合肥膨胀土非饱和特性试验研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2017:2-3.
- [9] 刘通. 煤矸石粉改良膨胀土收缩性试验研究[J]. 中国科技论文,2018,13(12):1434-1439.
- [10] 周坤. 纳米水泥改性膨胀土试验研究及蒙脱石模拟[D]. 大连:大连理工大学,2017:4-8.

Experimental Analysis of the Shear Strength Parameters of Expansive Soil Under Different Cement Ash Mixing Rates

JIANG Xiaoqing¹, LI Yongbiao², LIN Yan¹

(1. Anhui Radio and Television University, Hefei 230022, China;

2. Key Laboratory of Architecture and Underground Engineering,

Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract: In order to analyze the influence of cement and initial moisture content on the cohesive force and internal friction angle of expansive soil in depth, this experiment takes the cement ash admixture rate from 0% to 6% and divides it into 13 different ash admixture rates. And five groups of direct shear tests were carried out at different initial moisture contents. The curves of shear stress-shear displacement at different ashing rates show that at lower ashing rates, the shear stress-shear displacement curve is basically strain hardening and has nothing to do with the initial moisture content; but the shear displacement becomes larger with the increase of the initial moisture content. Combined with the numerical fitting results, it is shown that under the same initial moisture content, with the increase of the ashing rate, the cohesive force tends to increase slowly first, then increase rapidly, and then slowly increase. The internal friction angle has been increasing slowly. Under the ash mixing rate, with the increase of the initial moisture content, the cohesive force and internal friction angle both showed a trend of increasing first and then decreasing.

Keywords: expansive soil; initial moisture content; cement ash rate; cohesive force; internal friction angle

[责任编辑 李潜生]