

橡胶颗粒改良膨胀土路基的三轴应力试验研究

邱天赐¹, 沈正¹, 徐凯¹, 赵士博¹, 钟萍²

(1.南京工程学院,江苏南京 211167; 2.江苏南京地质工程勘察院,江苏南京 210041)

摘要:为探究橡胶颗粒改良膨胀土路基的抗剪切性能,以南京市江宁区某地的弱-中等膨胀土为试验对象,在不同橡胶掺量和各级围压下进行三轴固结不排水(CU)试验。试验结果表明:随着橡胶掺入量的上升,土体黏聚力呈持续下降趋势,内摩擦角先增大,在10%橡胶掺量时几乎维持不变,而后减小;土体抗剪强度在橡胶掺入量为5%时取得最大值。在掺胶率大于10%时,改良土黏聚力和抗剪强度大幅下降,在应用到膨胀土改良工程时,需要有所考虑。

关键词:膨胀土;橡胶;黏聚力;内摩擦角;应力-应变

中图分类号: U414

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0030-03

1 研究背景

膨胀土,也称胀缩性土,内含较多蒙脱石、伊利石等亲水性较强的黏土矿物,在浸水后体积剧烈膨胀,失水后体积显著收缩,地基问题和边坡失稳问题尤为突出^[1-3]。

目前的工程实践中大多采用掺入化学外加剂的方法对膨胀土进行改良。学者王和鱼的试验表明^[4],粉煤灰中 Al_2O_3 和 SiO_2 的高价阳离子会和土体产生絮凝作用,使土样的自由膨胀率逐渐降低,而抗压强度逐渐增高;学者边加敏指出,石灰改良膨胀土的主要作用机理为离子交换作用,能够充分降低土体的分散性、亲水性和膨胀性^[5];学者胡波指出,水泥的掺入可以优化膨胀土内部结构,通过水泥与膨胀土的离子交换作用和碳酸反应等,增强土粒间的连接力、抗压强度和水稳定性^[6]。此外,掺入纤维^[7]、碎石^[8]、岩粉^[9]、煤矸石^[10]等材料对膨胀土进行的物理改良,通过优化土体级配、骨架排列和层理构造等,也都取得了一定的效果。

现如今工业固体废料种类多、排放量巨大,综合利用以橡胶为主体的工业固体废料,将其应用到膨胀土的改良当中,化害为利,化废为用,具有显著的环保意义。橡胶分子链本身具有柔软、韧性的特点,弹性和耐磨耐寒性良好,能够在土体中起到骨架衔

接的作用,可以有效增加改良土的抗压和抗剪性能。目前橡胶颗粒改良膨胀土试验研究中^[11,12],针对抗剪强度的试验均采用直剪试验,直剪仪虽构造简单,试验方便,但剪切面人为固定、剪应力分布不均、不能严格控制排水条件等缺点使实际情况与试验结果往往出入较大。本文为三轴压缩试验的抗剪强度研究,具有较好的研究潜力和价值。

2 试验材料

2.1 膨胀土

试验所用膨胀土取自江苏省南京市某公路,颜色呈棕黄色,以粉粒和黏粒为主,级配良好,部分参数已由实验室测出,见表1。

2.2 橡胶颗粒

考虑到膨胀土与胶粒的结合程度和材料的经济性,橡胶粒径选择为20目。

3 试验方案

试验设计外掺橡胶颗粒掺胶率为5%、10%、15%,和土体搅拌均匀,焖料一天,采用击实制样法,分4层均匀击实,击实完成后的试样见图1。每个橡胶掺入量制备3个高80 mm,直径39.1 mm的圆柱体三轴试样,在围压分别为50、100、150 kPa,剪切速率为0.1%/min的条件下进行固结不排水(CU)试验,见图2。

根据《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019),浸湿透水石和滤纸,放置试样,在其周围贴上8条宽度为7 mm的滤纸条;将橡皮膜套在承膜筒上,排除

收稿日期: 2023-02-25

基金项目: 江苏省大学生创新创业训练计划项目(202211276086Y);南京工程学院创新基金(CKJB202004)

作者简介: 邱天赐(2002—),男,本科在读,从事路基路面工程设计工作。

表 1 膨胀土的基本物理性质指标

相对密度	天然含水率 /%	液限 ω_L /%	塑限 ω_p /%	粒组含量 /%			黏聚力 /kPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)
				≤ 0.005 mm	(0.005,0.075)mm	≥ 0.075 mm		
2.72	11.4	39.2	16.8	74.9	21.8	3.3	17.8	13.1



图 1 试样制备



图 2 三轴应力压缩试验

膜与筒内壁多余空气,将橡皮膜套在试样外,同时将橡皮膜下端扎紧在压力室底座上;使用软毛刷自下而上轻轻触碰试样,以排除多余空气;打开排水阀门,进一步排除试样内多余空气,使用吸水球将溢出水 分吸收后,在试样顶端加上试样帽,扎紧橡皮膜;注水;试验并读数。

4 试验结果分析

4.1 应力 - 应变曲线

不同掺胶率 and 不同围压下的膨胀土应力 - 应变曲线见图 3。从图 3 中可以看出,橡胶颗粒改良膨胀土的三轴剪切试验应力 - 应变关系曲线可以分成三个阶段,即线弹性阶段、非线性强化阶段、应变硬化阶段;相同掺胶率下,围压越大,在轴向应变百分值相同时,主应力差越大,峰值应力显著提高,10%掺

胶率下,150 kPa 围压峰值应力相较于 50 kPa 围压增长 157.4%;围压越大,屈服强度越大,初始应变越大。试验曲线整体与双曲线拟合的较好,符合双曲线几何线形。

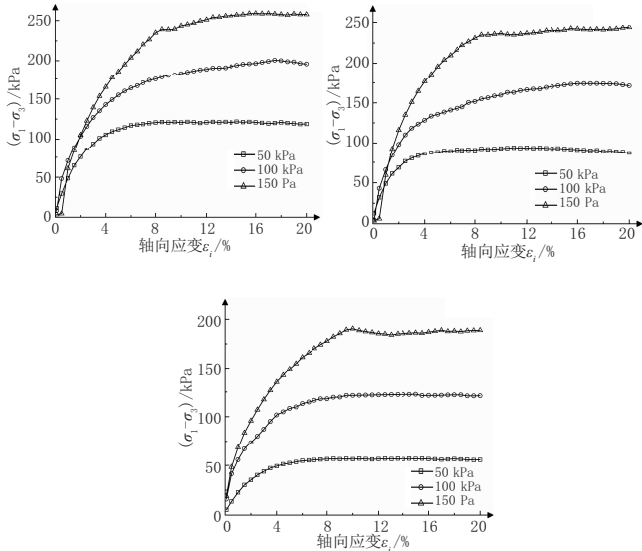


图 3 不同掺胶率的应力 - 应变曲线

4.2 抗剪强度参数

根据三轴试验应力 - 应变关系曲线,得到不同掺胶率下黏聚力和内摩擦角的关系表和曲线图,见表 2、图 4。

表 2 不同掺胶率对改良土黏聚力和内摩擦角影响

掺胶率 /%	围压 / kPa	$\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}$ /kPa	$\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}$ /kPa	黏聚力 / kPa	内摩擦角 / ($^{\circ}$)
0	—	—	—	18	13
	50	108	58		
5	100	203	103	16	24.9
	150	280	130		
10	50	97	47		
	100	187	87	11.6	24.2
	150	271	121		
15	50	78	28		
	100	161	61	5.2	19.3
	150	245	95		

根据莫尔 - 库伦强度理论及极限平衡条件:

$$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_1+\sigma_3)+\frac{1}{2}(\sigma_1-\sigma_3)\cos 2\alpha$$
$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1-\sigma_3)\sin 2\alpha$$

(1)

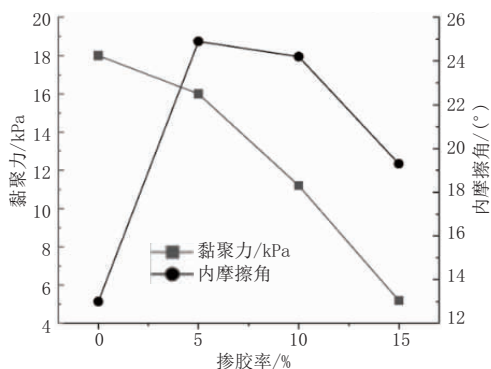


图4 不同掺胶率与改良土黏聚力、内摩擦角的关系

根据库伦公式:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi$$

得到改良土剪应力(见图5)。

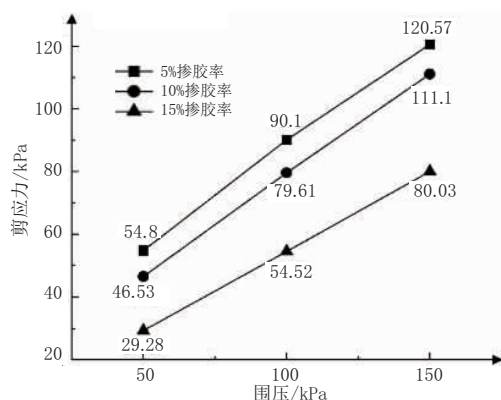


图5 不同围压与改良土剪应力的关系

由图4和图5容易得到:

(1)在素土中加入5%橡胶颗粒时,内摩擦角增长91.5%;掺胶率为10%时,内摩擦角相较于5%掺胶率下降2.8%,几乎维持不变;掺胶率为15%时,内摩擦角相较于10%掺胶率下降20.2%;出现此现象的原因为,当橡胶颗粒掺入适量时,胶粒与土体的摩擦阻力和胶粒本身所具有的弹性发生相互作用,使得胶粒能够紧紧包围住土体,阻碍了颗粒间的相对滑动,具体表现为内摩擦角增大;但当胶粒掺入过多时,多余胶粒未能和土体紧密结合,致使土粒间隔增大,土体松散,摩擦力减小,因而内摩擦角减小。

(2)随着掺胶率的提高,改良土黏聚力呈持续下降趋势;在掺胶率为5%时,下降速度较为缓慢;掺胶率在10%时,改良土黏聚力有较大下降;这是因为胶粒对土体的包围效果,导致土体和水的结合效果下降,黏结力下降,土体容易剥落;当掺胶率过高时,多余的胶粒游离在土体之间,破坏了原本土体之间的摩擦阻力和黏结力,致使改良土黏聚力有较大幅度的下降。

(3)综合研究数据来看,橡胶掺入量为5%时,改

良土的内摩擦角大幅提高,改良土抗剪效果显著改善;在掺胶率大于10%时,改良土黏聚力和内摩擦角均大幅下降,抗剪效果下降明显;由此可见,改良土抗剪强度的提高,主要为内摩擦角所主导,故针对改良土抗剪强度而言,5%为最佳橡胶掺入量,大于此掺胶率的改良土,抗剪强度均有所下降。

5 结 论

(1)相同掺胶率下,围压越大,在轴向应变百分值相同时,主应力差越大,峰值应力显著提高;围压越大,屈服强度越大,初始应变越大。应力-应变曲线整体符合双曲线几何线形。

(2)随着掺胶率的提高,改良土黏聚力呈持续下降趋势,下降速度先快后慢;改良土内摩擦角先增大,后几乎维持不变,最后大幅下降。

(3)掺胶率为5%时,改良土抗剪效果显著改善;掺胶率大于10%时,改良土黏聚力和内摩擦角均大幅下降,抗剪效果下降明显;因此,橡胶作为路基填料时,考虑到抗剪强度值,建议最大掺胶率不超过10%。

参考文献:

- [1] 曾浩,唐朝生,刘昌黎,等.膨胀土干燥过程中收缩应力的测试与分析[J].岩土工程学报,2019,41(4):717-725.
- [2] Al-Yaqoub T H, Parol J, Znidarcic D. Experimental investigation of volume change behavior of swelling soil [J]. Applied Clay Science, 2017(137): 22-29.
- [3] 鲍燕妮.干湿循环作用下膨胀土边坡失稳机理研究[J].路基工程, 2022(1):193-198.
- [4] 王和鱼,章君飞,黄志成,等.石屑粉煤灰改良膨胀土的胀缩和强度特性[J].化学工程师,2021,35(7):76-81.
- [5] 边加敏,蒋玲,王保田.石灰改良膨胀土抗剪强度参数试验研究[J].长江科学院院报,2012,29(12):62-67.
- [6] 胡波,龚壁卫,黄斌.水泥改性膨胀土的非饱和强度试验研究[J].水利与建筑工程学报,2010,8(4):12-15.
- [7] 朱红星,张雁,任建国.纤维和煤矸石粉对膨胀土胀缩特性改性研究[J].非金属矿,2021,44(5):27-30.
- [8] 许英姿,黄政棋,颜日葵,等.碎石改良膨胀土模型试验研究[J].科学技术与工程,2021,21(19):8145-8151.
- [9] 李坤鹏,姚华彦.砂岩改良膨胀土试验研究[J].水电能源科学,2021,39(12):147-150.
- [10] 马缤辉,曾星,郭佳乐,等.煤矸石粉改良膨胀土的试验[J].矿业工程研究,2019,34(3):66-72.
- [11] 宗佳敏,宋迎俊,鲁洋,等.冻融循环下废旧轮胎颗粒改性膨胀土无侧限抗压强度试验[J].长江科学院院报,2017,34(9):110-114.
- [12] 邹维列,谢鹏,马其天,等.废弃轮胎橡胶颗粒改性膨胀土的试验研究[J].四川大学学报(工程科学版),2011,43(3):44-48.