

文章编号: 1007-2993(2023)04-0461-04

聚丙烯纤维改良膨胀土干缩裂隙试验研究

黄芙蓉^{1,2} 方雅蓉^{1,2} 谭梦娟^{1,2} 汪卓^{1,2} 李佳^{1,2} 王亮^{1,2} 郭鸿^{1,3}

(1. 陕西理工大学土木工程建筑学院, 陕西汉中 723001; 2. 陕西理工大学人居环境科学社, 陕西汉中 723001;

3. 陕西理工大学秦巴山地岩土环境与灾害防治研究中心, 陕西汉中 723001)

【摘要】 为了更好地探究聚丙烯纤维对膨胀土干缩裂隙的抑制作用, 在相同的蒸发温度下分别从定性和定量两个方面对纤维和无纤维的膨胀土表面裂纹发展、演变和特征进行分析。研究表明, 水分蒸发过程中聚丙烯纤维对膨胀土的裂隙有显著的抑制作用, 而在干缩裂隙形成过程中裂隙数量与裂隙接缝的比值 γ 能够反映裂隙的穿透程度, 其值越小, 裂隙的穿透程度越强。这种物理改良方式能够使聚丙烯纤维与膨胀土连接成为整体, 进而将干缩应力扩散到膨胀土中, 有效减缓其裂隙发展的速度。研究成果可在干缩裂隙膨胀土地区路基处理中推广应用。

【关键词】 膨胀土; 干缩裂隙; 聚丙烯纤维

【中图分类号】 TU 443; TU 411

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2023.04.015

Experimental Study on Dry Shrinkage Cracks of Expansive Soil Modified by Polypropylene Fiber

Huang Furong^{1,2} Fang Yarong^{1,2} Tan Mengjuan^{1,2} Wang Zhuo^{1,2}

Li Jia^{1,2} Wang Liang^{1,2} Guo Hong^{1,3}

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, Shaanxi, China; 2. Student Research Society of Human Settlements, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, Shaanxi, China; 3. Research Center of Geotechnical Environment and Geological Hazards Control in Qinling-Daba Mountains, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, Shaanxi, China)

【Abstract】 To explore the inhibition effect of polypropylene fiber on shrinkage cracks of expansive soil, the development, evolution and characteristics of surface cracks of expansive soil samples with and without fibers were qualitatively described and quantitatively analyzed at the same evaporation temperature. The results show that the polypropylene fiber has a significant inhibition effect on the cracks of expansive soil during the process of water evaporation, and the ratio γ of the number of cracks to the joint of cracks can reflect the penetration degree of cracks. The smaller the value, the stronger the penetration degree of cracks. This physical improvement method can make the polypropylene fiber connect with expansive soil as a whole, and then spread the dry shrinkage stress into expansive soil, effectively slowing down the speed of crack development, so the results can be generalized and applied in the treatment of roadbed in the area of dry shrinkage crack expansive soil.

【Key words】 expansive soil; dry shrinkage crack; polypropylene fiber

0 引言

膨胀土, 也被称为“胀缩性土”, 内含蒙脱石、伊利石等多种黏土矿物, 亲水性极强, 是一种具有吸水膨胀、失水收缩和反复胀缩变形、浸水后承载力衰减、干缩裂隙发育等特性的高塑性黏土, 其性质极不稳

定^[1-3]。膨胀土的这种特殊性质使得其强度不稳定, 工程性质较差, 修建于其上的筑物易出现的不同程度的开裂、位移、倾斜等一系列工程问题, 严重威胁人民生命财产安全^[4]。因此, 改善膨胀土的胀缩性、控制膨胀土的干缩裂隙发育、保障膨胀土地区工程建

基金项目: 陕西省重点研发计划(2023-YBSF-324); 国家级大学生创新创业计划(202210720008, 202210720001); 院级大学生创新创业计划(2022-TJDC-05)

作者简介: 黄芙蓉, 女, 2002年生, 汉族, 陕西安康人, 在读本科生, 研究方向为岩土工程。E-mail: 3460810200@qq.com

通讯作者: 郭鸿, 1984年生, 陕西咸阳人, 博士, 副教授, 研究方向为颗粒物质力学, 岩土工程理论及数值模拟。E-mail: hguo@snut.edu.cn

设顺利开展,一直是学术界以及工程界关注的重点,对预防膨胀土类地质灾害有非常重要的工程实践价值。

已有众多学者针对研究膨胀土的胀缩裂隙机理开展了一系列的试验研究。梅智鹏^[5]通过开展植物根系对膨胀土干缩裂隙抑制模拟试验研究了膨胀土干缩裂隙发展演化的过程。郝建斌等^[6]通过研究粉煤灰—剑麻纤维复合改良膨胀土的效果和机理得到塑性鼓胀型破坏图,从而证实了在膨胀土中掺入粉煤灰和剑麻纤维可以有效地抑制膨胀土裂隙的发育及其扩展。黎伟等^[7]研究了膨胀土裂隙特征、裂隙深度及其表面特征关系。韦秉旭等^[8]通过对室内干湿循环试验研究了裂隙网络几何形态和形态特征随循环次数变化规律,进而描述了裂隙的发育程度。Julina等^[9]通过试验研究了初始水力梯度对干燥膨胀土试样润湿过程中膨胀、掺和及导水率的影响。曾浩等通过试验研究了土体干缩裂隙发育方向及演化特征^[10]。寻找有效的膨胀土改良方法也是研究的重点。膨胀土改良通常可以分为化学改良方法和物理改良方法两种^[11],相较于化学改良方法,物理改良方法不存在时效性差问题^[12],改良后膨胀土不会出现二次膨胀破坏,因此应用更加广泛。

基于此,本试验以汉中某地的膨胀土为研究对象,采用物理改良方法在其中加入不同含量的聚丙烯纤维,通过室内试验研究改良后膨胀土随聚丙烯纤维掺量增加的裂隙发育情况,以及比较干湿循环下膨胀土和改良后膨胀土的裂隙发育与扩展实际情况。为膨胀土改良提供理论基础和技术支持,所得成果在膨胀土路基工程的设计和施工中具有一定的应用价值。

1 试验制备

1.1 试验材料

试验采用的膨胀土取自陕西省汉中市城固县的柳林机场,土体呈黄褐色,土质坚硬,裂隙较发育,含钙质矿物。将取回的膨胀土进行自然风干、碾碎,过2 mm筛,测量其相关物理指标(见表1、表2)。试验所用的纤维是一种高强、高模、低伸的聚丙烯纤维,呈雪白色单束丝状,见图1。

表1 膨胀土基本物理性质指标

最优含水率 $w/\%$	最大干密度 $\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	塑性指数 I_p	自由膨胀率 $F_s/\%$
18	1.70	17.3	58

表2 聚丙烯纤维基本物理性质指标

平均直径 $/\mu\text{m}$	平均长度 $/\text{mm}$	平均拉伸强度 $/\text{MPa}$	平均拉伸模量 $/\text{GPa}$	平均断裂伸长率 $/\%$
45	17	825	16	17.5



图1 聚丙烯纤维

1.2 试样制备

(1)为配制一定含水率的土样,取过2 mm筛的足够试验用的风干土1 kg,平铺在不吸水的盘内,按规程计算所需的加水量,用喷雾器喷洒预计的加水量静置一段时间后,装入玻璃缸内盖紧,润湿一昼夜以备用;

(2)将备用的膨胀土分为8组试样,每组净重100 g;

(3)准备7个质量添加百分比为0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%和1.4%聚丙烯纤维试样;

(4)将每组膨胀土100 g试样和70 g水用搅拌机充分拌匀,制成70%初始含水率的膨胀土泥浆;

(5)将每组膨胀土泥浆分别均匀倒入玻璃培养皿(直径10 cm,厚度2 cm)中,并进行标号和称重(其中素膨胀土用N1标记,其余掺量用F1—F7标记)。

需要说明的是,掺加纤维的膨胀土泥浆采用分层添加法:先将部分素膨胀土泥浆均匀铺在玻璃培养皿底部,再均匀添加一层纤维,共添加3层纤维,重复步骤5,以确保纤维全部均匀添加到膨胀土泥浆内。

1.3 试验方法

(1)提前预热烘箱至60℃,将所有试样小心放入烘箱内中;

(2)放入烘箱19 h后取出试样进行称重和表面拍照;

(3)直到每个试样表面完全干燥,质量和表面裂隙不再变化时停止烘箱内蒸发;

(4)分析不同试样的蒸发情况及表面裂隙图像。

2 干缩裂隙图像分析

以试验温度为60℃的情况为例,在蒸发19 h后分析聚丙烯纤维素的掺入以及胶凝材料用量对其裂隙形态所产生的影响,如图2所示。



由图2可知,相同的温度条件下聚丙烯纤维改良后的膨胀土较素膨胀土有更多的裂缝,但比素膨胀土表面上的裂缝更加均匀。同时,改良后膨胀土表层的裂缝相对细长、狭窄,裂缝更密集且集中在中心区域,大多数裂缝未形成贯通^[13]。此外,聚丙烯纤维的数量越少,土中出现的裂缝就越少,但裂缝越宽。聚丙烯纤维含量越多,膨胀土裂隙越小,且呈现越来越密集。从裂隙深度上看,素膨胀土呈现出的裂隙最深,随着聚丙烯纤维掺量增多,裂隙越来越浅,且越来越细。在实际的建筑工程中,如果土体裂缝越长、越宽,那么在强降雨的情况下,水体越容易顺着裂隙渗入土体内部,从而引起土体黏聚力和内摩擦角急剧降低,发生不同程度的变形与破坏。膨胀土干缩裂隙的条数和宽度反映了聚丙烯纤维对膨胀土加固的影响。通过60℃蒸发条件下的膨胀土裂隙情况为例分析,充分说明聚丙烯纤维对膨胀土干缩裂隙的裂缝有明显的抑制作用,且随着纤维含量的增加,抑制作用更加明显。

3 结果与分析

3.1 含水率及水分蒸发速率变化

应用试验得到的数据,按照含水率计算式(见式(1))和蒸发速率计算式(见式(2))分别计算并得到在试验温度为60℃条件下,0h、1h、2h、3h、4h、5h、6h、7h、8h、9h、19h下所有不同纤维掺量试样的含水率和蒸发速率随时间变化而变化的曲线图(见图3)。

$$w = \frac{m - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (1)$$

$$u = \frac{\Delta m}{sh} \times 100\% \quad (2)$$

式中: w 为含水率,%; m 为湿土重,g; m_d 为土粒重,g; u 为蒸发速率, $\text{g} \cdot \text{mm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; Δm 为水份减少量,g; s 为土面积, mm^2 ; h 为时间,h。

由图3可以得出,在温度相同、纤维掺量不同的

条件下,试样的含水率、蒸发速率随时间变化曲线具有相同的趋势,即随着时间的增加,含水率、蒸发速率都呈下降趋势。

从图3(a)可以看出,试样在观察期0~9h内,含水率下降幅度最大,除纤维掺量为0.2%的试样外,其余掺量膨胀土的失水量随时间增加而近似呈线性变化。纤维含量为1.2%的曲线斜率最缓和其试样的含水率最大,纤维含量为0.2%的曲线斜率最大,残余含水量最低即含水率最低。9h后,其下降幅度明显减缓,并逐渐趋于0。因此可以看出在9h时曲线出现转折点,此时试样含水量基本处于稳定状态,观察在此拐点时试样的裂隙状态,其裂隙已无明显变化,裂隙的发展已经趋于稳定。

从图3(b)可以看出,试样蒸发速率总体呈下降趋势,在0~10h蒸发速率变化缓慢,而在10~12h内,蒸发速率变化显著,此时膨胀土的干缩裂隙程度最大,12h以后又逐渐趋于稳定。同时发现,纤维掺量为0.6%的试样,蒸发速率最快,纤维掺量为0.4%的试样蒸发速率最慢。说明在相同的条件下,纤维掺量对膨胀土中水分的蒸发率有直接影响。实际工程中,通过纤维掺加率可以控制基地土中的蒸发速率。

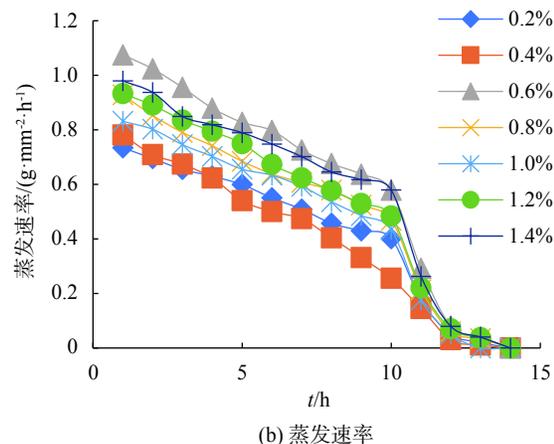
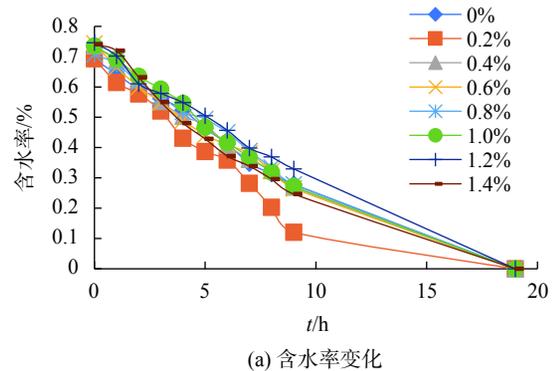


图3 不同纤维掺量试样含水率和蒸发速率随时间的变化关系曲线(60℃)

3.2 裂隙节点数和裂隙条数

压实膨胀土表面与裂隙参数之间存在一定的关系^[14]。在膨胀土干缩裂隙, 裂缝节点^[15]和裂缝的数量有一定的规则。本文分析了膨胀土干缩裂隙稳定时节点和裂缝的数量, 定义了一个比率关系, 其表达式为:

$$\gamma = S_b/S_c \quad (3)$$

式中: S_b 为样品中裂纹的数量; S_c 为样品中的节点数。该值可以表示膨胀土干缩裂缝的“分割”程度。根据图2分析, 当比值较大时, 表明有更多的膨胀土块被裂缝分隔, 裂缝和裂缝处于稳定阶段。当比值较小时, 表明裂缝分隔的土体块数减少, 裂缝交叉现象更加明显。根据试样干缩裂纹稳定后获得的裂纹分析该值, 如表3所示。

表3 不同膨胀土试样裂隙数、裂隙节点数和比值(60℃)

试样编号	裂隙数	裂隙节点数	比值
N1	36	37	0.97
F1	50	47	1.06
F2	53	49	1.08
F3	75	68	1.10
F4	88	72	1.21
F5	92	75	1.23
F6	112	81	1.38
F7	125	87	1.43

由表3可以看出, 不同试样具有不同的裂隙数和节点数。由分析可得: 裂隙数和节点数在不断增加的同时, 裂隙宽度也在不断减小。

4 结论

在相同蒸发温度(60℃)下, 对不同纤维掺量的膨胀土试样产生的干缩裂隙进行了试验分析, 得到了如下结论:

(1)纤维掺量对膨胀土的蒸发速率和含水率均有直接影响, 当纤维掺量为0.2%时实际含水率变化最大, 纤维掺量为0.6%时实际蒸发速率变化最大。

(2)通过干缩裂隙的图像分析以及裂隙数和裂隙节点的比值分析发现, 随着纤维掺量的增加, 干缩裂隙数量变多, 分布变均匀, 宽度变小, 说明添加纤维后土体受力更均匀, 纤维对干缩裂隙的抑制作用

明显。

参考文献

- [1] 王艳芳, 刘传新, 梁波, 等. 土壤稳定剂-聚丙烯纤维复合改良膨胀土的试验研究[J]. 水利水电工程学报, 2022, (6): 86-94.
- [2] 李国群. 膨胀土路基施工[J]. 交通世界(建养·机械), 2010, (5): 136-137.
- [3] 杜泽丽. 干湿循环条件下膨胀土的力学性质与开裂行为[J]. 水电能源科学, 2020, 38(11): 141-144.
- [4] 张震, 林宇亮, 何红忠, 等. 膨胀土边坡的失稳特征与稳定性分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2022, 53(1): 104-113.
- [5] 梅智鹏. 植物根系对膨胀土干缩裂隙抑制模拟试验研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2019.
- [6] 郝建斌, 张焕, 李耕春, 等. 粉煤灰-剑麻纤维复合改良膨胀土强度及裂隙发育特性[J/OL]. 铁道科学与工程学报: 1-9 [2022-07-24].
- [7] 黎伟, 刘观仕, 姚婷. 膨胀土裂隙特征研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(4): 78-82.
- [8] 韦秉旭, 刘斌, 欧阳运清, 等. 干湿循环作用对膨胀土结构性的影响及其导致的强度变化[J]. 工业建筑, 2015, 45(8): 99-103.
- [9] JULINA M, THYAGARAJ T. Effect of hydraulic gradient on swell and hydraulic response of desiccated expansive soil – an experimental study[J]. International Journal of Geotechnical Engineering, 2021: 1-14.
- [10] 曾浩, 唐朝生, 林鑫, 等. 土体干缩裂隙发育方向及演化特征的层间摩擦效应研究[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(6): 1172-1180.
- [11] 章君政, 唐朝生, 巩学鹏, 等. 基于高密度电阻率法的土体干缩裂隙动态发育过程精细监测研究[J]. 岩土力学, 2023, 44(2): 392-402.
- [12] 张守林, 杨健新. 膨胀土地区路基设计问题探讨[J]. 交通世界, 2021, (22): 118-119.
- [13] 郭鸿, 马帅帅, 王普, 等. 土工格栅抑制黄土干缩裂隙试验分析[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(4): 118-123.
- [14] 黄震, 韦秉旭, 刘雄, 等. 压实膨胀土表面裂隙参数之间的关系分析[J]. 兰州工业学院学报, 2014, 21(3): 16-20.
- [15] 唐朝生, 王德银, 施斌, 等. 土体干缩裂隙网络定量分析[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(12): 2298-2305.

收稿日期: 2022-05-24