

生态纤维改良砂质黏土干缩裂隙试验研究

郭鸿, 鲁玉妍, 李文阳, 邹虎金, 张彤川, 黄芙蓉

Experimental study on ecological fiber improvement of drying shrinkage cracks in sandy clay

GUO Hong, LU Yuyan, LI Wenyang, ZOU Hujin, ZHANG Tongchuan, HUANG Furong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20240418002>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

土壤稳定剂-聚丙烯纤维复合改良膨胀土的试验研究

Experimental study on improving expansive soil with soil stabilizer-polypropylene fiber composite

水利水电工程学报. 2022(6): 86 <https://doi.org/10.12170/20220221001>

CCTV视觉图像处理方法在土石坝涵管病害诊断中的应用

Application of CCTV visual image processing method in culvert disease diagnosis of earth-rock fill dam

水利水电工程学报. 2019(2): 99 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.02.014>

玄武岩纤维提升水泥土抗拉性能的试验研究

Experimental study on tensile properties enhancement of cement-treated soil by basalt fiber

水利水电工程学报. 2022(2): 109 <https://doi.org/10.12170/20211224002>

基于FOTP-GM(1,1)模型的聚丙烯纤维混凝土劣化过程研究

Degradation law of polypropylene fiber concrete under the freeze-thaw and dry-wet cycle coupling action

水利水电工程学报. 2022(6): 121 <https://doi.org/10.12170/20210801002>

寒区堤防砂土岸坡生态护坡技术研究

Study on ecological slope protection technology of dike for sandy soil bank slope in cold region

水利水电工程学报. 2020(2): 116 <https://doi.org/10.12170/20190222001>

不同渗透系数的非均质黏土劈裂注浆数值模拟

Numerical simulation of split grouting of heterogeneous clay with different permeability coefficient

水利水电工程学报. 2022(5): 102 <https://doi.org/10.12170/20210826002>



扫码进入官网, 阅读更多精彩文章



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20240418002

郭鸿, 鲁玉妍, 李文阳, 等. 生态纤维改良砂质黏土干缩裂隙试验研究 [J]. 水利水运工程学报, 2025(2): 121-127. (GUO Hong, LU Yuyan, LI Wenyang, et al. Experimental study on ecological fiber improvement of drying shrinkage cracks in sandy clay[J]. Hydro-Science and Engineering, 2025(2): 121-127. (in Chinese))

生态纤维改良砂质黏土干缩裂隙试验研究

郭 鸿^{1,2}, 鲁玉妍^{1,3}, 李文阳^{1,3}, 邹虎金^{1,3}, 张彤川^{1,3}, 黄芙蓉^{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 秦巴山地岩土环境与灾害防治研究中心, 陕西 汉中 723001; 3. 陕西理工大学 人居环境科研学社, 陕西 汉中 723001)

摘要: 砂质黏土保水性较弱, 在蒸发作用下容易发生显著的干缩裂隙, 加剧了其边坡的降水入渗, 容易导致失稳。为了研究不同生态纤维对砂质黏土干缩裂隙的抑制作用, 通过图像处理技术, 分别对黄麻纤维、稻秆纤维改良作用下砂质黏土的水分蒸发、表面裂隙发展、演变和结构形态进行定量分析。研究表明: 生态纤维与土颗粒有较强的黏结性, 可通过延缓土体水分蒸发和加筋作用, 有效抑制砂质黏土的干缩裂隙, 且随着纤维掺量的增加, 抑制干缩裂隙的效果增强; 在 0.6% (质量分数) 的掺量下, 黄麻纤维和稻秆纤维的改良效果最为显著, 裂隙率分别下降了 30.6% 和 23.8%, 平均裂隙宽度分别下降了 66.64% 和 70.86%。黄麻纤维、稻秆纤维的改良方法, 为砂质黏土填筑工程的干缩裂隙治理提供了新思路 and 理论依据。

关键词: 砂质黏土; 干缩裂隙; 生态纤维; 图像处理

中图分类号: TU43

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2025)02-0121-07

砂质黏土(或砾质黏土)大多由坡积或者洪积形成, 在山地区域分布较为广泛。由于砂质黏土特殊的粒径组成, 其塑性指数和保水性都比一般黏土小, 渗透系数相对较大, 在降雨作用下砂质黏土边坡更容易入渗, 加之其中砂粒的比热较小, 在日晒作用下水分更易蒸发, 从而导致干缩裂隙的迅速发展。发生大量干缩裂隙的砂质黏土再次遇到降水时, 深层土体会在较短时间内饱和, 极易发生滑坡等地质灾害^[1-6]。

国内外诸多学者对生态纤维改良黏土的工程力学特性及干缩裂隙进行了研究。刘继鹏等^[7]将价格低廉且性能优良的天然黄麻纤维按照一定质量掺比加入到黄土中, 发现黄麻纤维可以有效提高黄土的动力特性; 高浩东等^[8]通过显微 CT 扫描, 利用三维重构技术获得裂隙的三维数值模型来研究失水条件下膨胀土的裂隙演化特征, 表明细观裂隙的连通与黏土颗粒排列形式、粒间孔隙发育程度等存在重要关联; 章君政等^[9]为了实时掌握黏性土中干缩裂隙网络的发展状态, 提出了一套基于高密度电阻层析成像技术(electrical resistance tomography, ERT)的土体干缩裂隙动态发展过程精细监测方法; 陆韬等^[10]采用在黏土中添加黄原胶和黄麻纤维的方法, 探究了二者加筋率及养护龄期对上海黏土无侧限抗压强度特性的影响; Ma 等^[11]发现使用部分替代碱激发偏高岭土(alkali-activated metakaolin, AAMK)的水泥及添加聚丙烯纤维的砂质黏土, 其动态抗压强度和能量吸收密度明显提高; 王翔等^[12]研究了生物炭掺量下土体干缩裂隙的发育变化, 并从微观结构观察了生物炭颗粒和土颗粒的接触密集程度。

从以往研究可以看出, 生态纤维对黏土的干缩裂隙具有较好的改良作用, 对砂质黏土的工程力学性质也有明显改善。然而, 在陕南山地, 砂质黏土填筑的边坡工程和路基工程较为普遍, 长期降水-日照-降水作

收稿日期: 2024-04-18; 修回日期: 2024-07-16; 接受日期: 2024-07-24

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2023-YBSF-324); 陕西省教育厅服务地方专项计划项目(23JC019); 国家级大学生创新创业计划项目(202310720002, 202310720019); 省级大学生创新创业计划项目(S202310720071)

作者简介: 郭 鸿(1984—), 男, 陕西咸阳人, 副教授, 博士, 主要从事颗粒物质力学、岩土工程理论及数值模拟等方面的研究。E-mail: hguo@snut.edu.cn

用下,因干缩裂隙引发的边坡失稳和路基沉降等病害屡见不鲜。如何就地取材,以生态方式解决此问题就十分迫切。鉴于此,本文以陕西省勉县的砂质黏土为研究对象,采用物理改良方法,在其中加入黄麻纤维、稻秆纤维进行室内试验,研究不同纤维掺量对砂质黏土的干缩裂隙影响规律^[13],以为砂质黏土区域的干缩裂隙、地质灾害等防治提供支撑。

1 试验介绍

1.1 试验材料

试验中采用的砂质黏土取自陕西省勉县,属于陕南山地,具有一定的区域代表性。土体颜色大体上呈黄褐色,砂粒含量较高,颗粒粗,土中裂隙较发育,透气性能良好。将取回的砂质黏土进行自然风干、碾碎,过 2 mm 筛,测量砂质黏土的最优含水率为 16.8%、干密度为 1.67g/cm³、最大干密度为 1.75g/cm³、液限 33.76%、塑限 18.48%。砂质黏土的颗粒级配曲线见图 1。

试验采用黄麻纤维、稻秆纤维两种材料(图 2)。黄麻纤维的表面呈浅褐色,有光泽,吸湿性能好,散水快,主要用于制作麻袋、麻布^[14]。稻秆纤维的表面呈浅黄色,柔软性好,耐拉力强,吸水性高,可用作绿化、矿山修复、山体护坡^[15]。本试验所用的两种纤维长度均约 17 mm,平均直径 0.3 mm。。

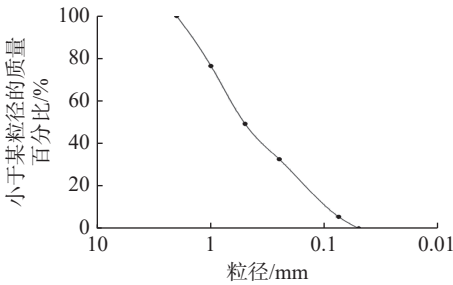
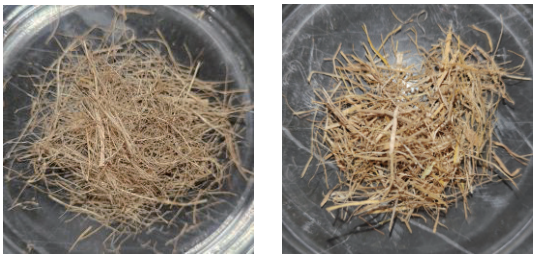


图 1 砂质黏土的颗粒级配曲线

Fig. 1 Particle size distribution curve of sandy clay



(a) 黄麻纤维 (b) 稻秆纤维

图 2 两种加固材料

Fig. 2 Two types of reinforcement materials

1.2 试样制备

将备用的砂质黏土分为 A、B、C 三组,其中 A 为素黏土试样;B、C 为不同掺量下的黄麻纤维及稻秆纤维改良试样共 6 组。试样参数见表 1。

表 1 砂质黏土试样参数
Tab. 1 Parameters of sandy clay specimens

土样种类	试样编号	纤维掺量/%	初始含水率/%	土样种类	试样编号	纤维掺量/%	初始含水率/%
素黏土(A)	AM ₀	0	70	添加稻秆纤维试样(C)	CM ₁	0.1	70
添加黄麻纤维试样(B)	BM ₁	0.1	70		CM ₂	0.2	
	BM ₂	0.2			CM ₃	0.3	
	BM ₃	0.3			CM ₄	0.4	
	BM ₄	0.4			CM ₅	0.5	
	BM ₅	0.5			CM ₆	0.6	
	BM ₆	0.6					

依据前人的研究结果^[7],并进一步考虑了黄麻纤维及稻秆纤维后续的实际应用,将生态纤维掺量确定为 0.1%~0.6%(质量百分比),分别记为 M₁~M₆,无纤维掺量记为 M₀,共 13 个砂质黏土试样,每个试样净重

100 g; 将每组砂质黏土 100 g 试样和 70 g 水用搅拌器充分拌匀, 制成 70% 初始含水率(不考虑风干含水率)的砂质黏土泥浆; 随后将每组砂质黏土泥浆分别均匀倒入玻璃培养皿(直径 10 cm, 厚度 2 cm)中, 将其震荡整平(排出多余气泡), 并进行标号和称重。需要说明的是, 掺加纤维的砂质黏土泥浆采用分层添加法: 先将部分素砂质黏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, 确保纤维全部均匀添加到砂质黏土泥浆。

1.3 试验方法

提前预热烘箱至 50 ℃, 将所有试样放入烘箱内中; 每间隔 3 h 称重 1 次, 使用电子天平记录质量数值(研究蒸发过程中砂质黏土土样含水率变化), 待出现裂隙时使用数码相机记录裂隙变化形态, 直到每个试样表面完全干燥、重量和表面裂隙不再变化时停止烘箱内蒸发; 分析不同试样的蒸发情况并绘出含水率变化图; 处理砂质黏土干缩裂隙图像, 并对比各掺量下生态纤维对干缩裂隙发育的影响情况。

2 裂隙图像分析

2.1 二值化图像处理

本文采用基于 Matlab 的二值化图像处理技术对裂隙图像进行定量分析。为了避免边界效应对土体干缩裂隙网络定量分析的影响, 在分析图像之前去除边界, 使用 $d=8\text{ cm}$ 的圆形区域进行研究。由于原始图像色彩不均, 在使用二值化图像处理后噪点较多, 故使用 Procreat 绘图软件将裂隙形状 1:1 还原进行去噪, 这样进行图像处理可保证砂质黏土干缩裂隙情况完全展现出来。如图 3 所示, 以试样 BM₃ 为例, 将裂隙图像进行二值化、骨架化、裂隙识别等步骤后, 获得裂隙率(定义为土样表面裂隙面积与总表面积的比值)、裂隙条数、最大裂隙宽度、平均裂隙宽度等相关参数。

2.2 裂隙形态分析

以试验温度为 50 ℃ 的情况为例, 在蒸发 48 h 后分析不同生态纤维的掺入对其裂隙形态所产生的影响, 二值化图像($d=8\text{ cm}$)裂隙形态如图 4 所示。由前人研究^[16]可知, 土体干缩裂隙的形成是由于上界面蒸发失水与下界面摩擦两种边界效应作用的结果, 由于制作土样容器一致, 故不考虑下界面摩擦因素。由图 4 可以看出, 在相同的温度条件下, 水分不断蒸发造成土体开裂, 砂质黏土干缩裂隙主次纵横现象明显(主裂隙宽度较大)。平滑连续的裂隙曲线相互交织, 形成了“T”形、“U”形、“Y”形及“+”形裂隙曲线, 将土样分为多个不规则多边形。黄麻纤维改良土样裂隙表面分布更加均匀, 分割程度愈加明显^[17]; 稻秆纤维土样裂隙表面分布稍

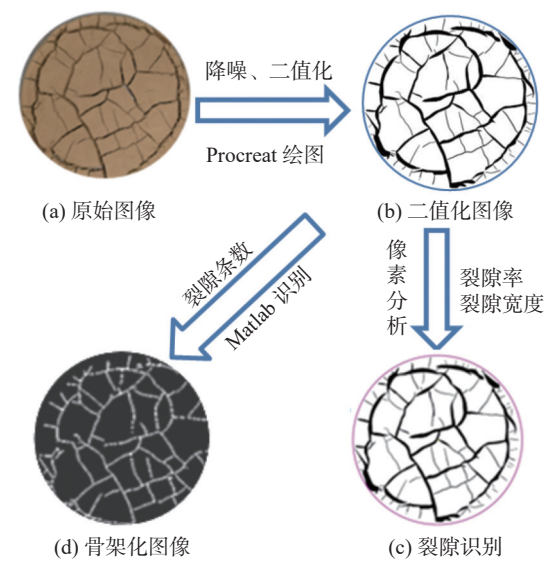


图 3 图像处理示意
Fig. 3 Image processing illustration

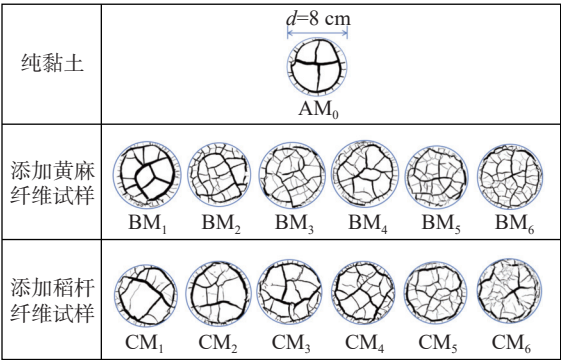


图 4 二值化裂隙形态

Fig. 4 Binary morphological representation of cracks

有不均,但分隔程度呈现愈加明显趋势,土块依然被裂隙切割为四边形或五边形。随着黄麻纤维和稻秆纤维掺量的不断增大,砂质黏土土样裂隙发育整体呈现先增后减的趋势,裂隙宽度越来越细长狭窄,说明黄麻纤维和稻秆纤维对砂质黏土具有较好的改良效果。

在实际工程中,土体裂隙宽度越大,遇到强降水时越容易造成滑坡、崩塌、泥石流等自然灾害,这对施工安全和工程质量造成极大隐患。掺加生态纤维后,纤维与土颗粒之间作用力可在一定程度上抵消土颗粒间水分散失引起的干缩应力,从而抑制裂隙的发育,这有利于人工填筑边坡的稳定。

需要指出的是,本文采用了恒温蒸发的条件,在实际的边坡工程中,环境条件也是影响干缩裂隙的重要因素。本文只研究生态纤维对干缩裂隙发育的抑制能力,可为边坡治理工作提供一定理论参考。

3 裂隙数据分析

3.1 裂隙条数、裂隙率与裂隙宽度

图 5 为不同试样干缩裂隙网络的裂隙条数、裂隙率与平均裂隙宽度参数^[18]的定量统计。可见不同纤维种类对砂质黏土的改良效果差异明显,但相较于素黏土,随着纤维掺量的增加,两者裂隙率与平均裂隙宽度均呈下降趋势。这充分说明两种生态纤维对砂质黏土干缩裂隙均有显著的抑制作用。

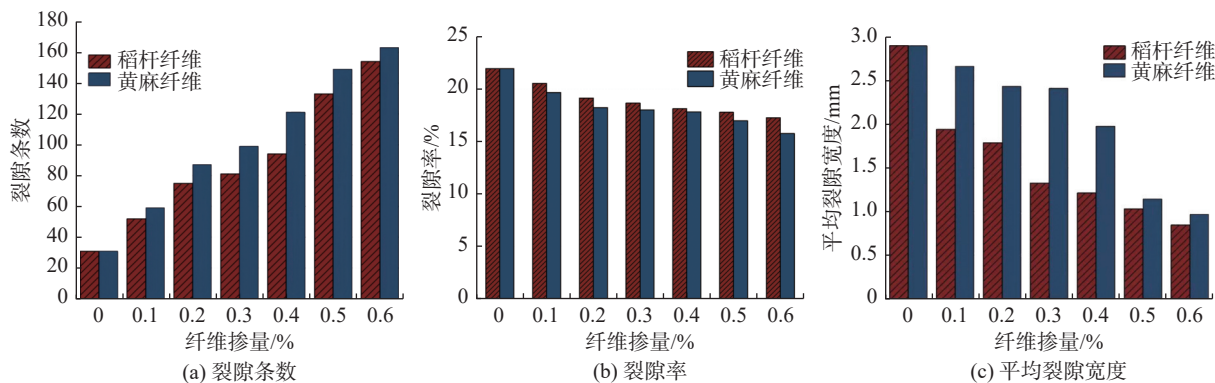


图 5 稳定后裂隙参数

Fig. 5 Crack parameters after stabilization

素黏土表面裂隙长而宽,且形成贯通。由图 5(a)可看出,掺加纤维后,裂隙数目显著增多,0.6% 纤维掺量时黄麻纤维与稻秆纤维裂隙最高分别达到 162 和 154 条。这说明纤维掺量越高,土体被分隔块数越多,表面裂隙纵横交错明显。平均裂隙宽度与裂隙率明显下降,说明黄麻纤维与稻秆纤维的掺加均有效抑制了干缩裂隙的发育。

还可以看出,在 0.1% 纤维掺量时黄麻纤维与稻秆纤维裂隙数目分别增加了 28 和 21 条,裂隙率分别下降了 13.2% 和 9.35%,平均裂隙宽度分别下降了 8.12% 和 33.08%。在 0.6% 纤维掺量时黄麻纤维与稻秆纤维裂隙数目分别增加了 132 和 123 条,裂隙率分别下降了 30.6% 和 23.8%,平均裂隙宽度分别下降了 66.64% 和 70.86%。这说明两种纤维对砂质黏土的干缩裂隙改良作用十分明显。

3.2 裂隙发育过程分析

土体会因蒸发失水而发生干缩裂隙。裂隙的产生会导致土体的力学性能降低,也会大幅增加土体的渗透性^[19]。依据试验所得数据,计算不同时刻的含水率。两种生态纤维(以 0.6% 掺量为例)干缩裂隙时间-含水率关系曲线及原始裂隙形态见图 6。可见含水率下降的同时土体表面水分不断蒸发^[20],相较于素黏土,纤维的掺入明显提高了土样含水率,并且素黏土含水率最先变为 0%。这说明两种纤维与土体颗粒黏结能力较强,土体裂隙宽度变小,保水性能更强。

图7为生态纤维改良砂质黏土可收缩空间变化的示意图。可以看出,素土颗粒间孔隙率较大(图7(a)),形成大大小小的团聚体,结合含水率图像可以看出土样失水速度较快;生态纤维的掺加抑制土体开裂现象明显,与土颗粒黏结在一起且紧密性较高(图7(b)),使得土体塑性指数增大,孔隙不断减小。由于纤维具有吸水性,同时也增加了土样保水性,土体裂隙发育速度开始变缓。待裂隙发育完全后,裂隙宽度降低,砂质黏土的干缩裂隙得到有效抑制。

在相同纤维掺量、相同温度条件下,18 h时3种土样均开始产生裂隙(图8),此时裂隙宽度较窄,主裂隙轮廓开始显现。随着裂隙进一步发育,30 h可以看出土样裂隙宽度逐渐变大,其中AM₀最为明显,BM₆与CM₆在主裂隙轮廓基础上向四周扩散出多而窄的次裂隙。48 h时裂隙发育完全,从图像可以看出BM₆表面裂隙更加均匀,土样分割程度较大;AM₀裂隙宽且分割程度小,说明砂质黏土颗粒间存在的空隙比较多;CM₆表面裂隙分布不均,主裂隙和细小裂隙共存。

对裂隙率、裂隙条数、平均裂隙宽度进行定量分析,可以看出:AM₀试样随着时间的增长,3种指标都呈增大趋势;而BM₆、CM₆的裂隙条数及裂隙率均不断增大,平均裂隙宽度呈减小趋势(二者稳定后裂隙率均小于AM₀)。对比3种试样裂隙参数可以看出,BM₆、CM₆裂隙率及平均裂隙宽度普遍低于AM₀,裂隙条数普遍多于AM₀,这与前文分析结果一致。

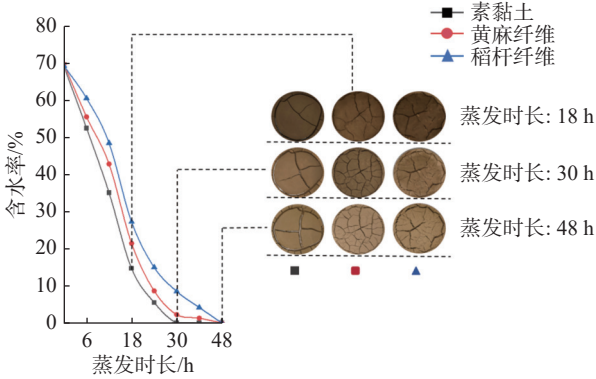


图6 不同土样时间-含水率曲线及裂隙发育变化

Fig. 6 Time-moisture content curves and crack development for different specimens

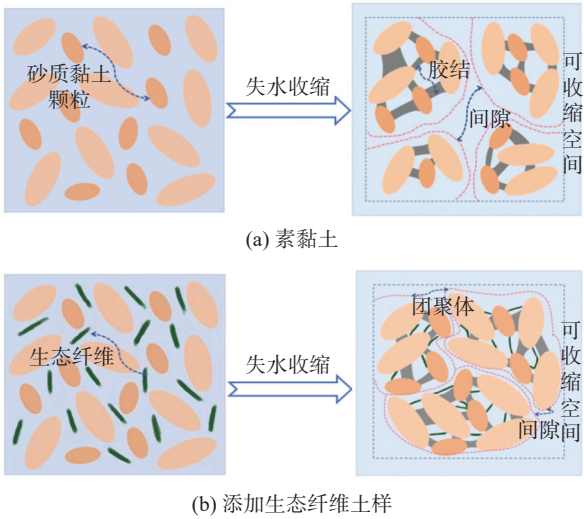


图7 生态纤维改良土可收缩空间变化示意

Fig. 7 Illustration of shrinkage space variation in eco-fiber-improved soil

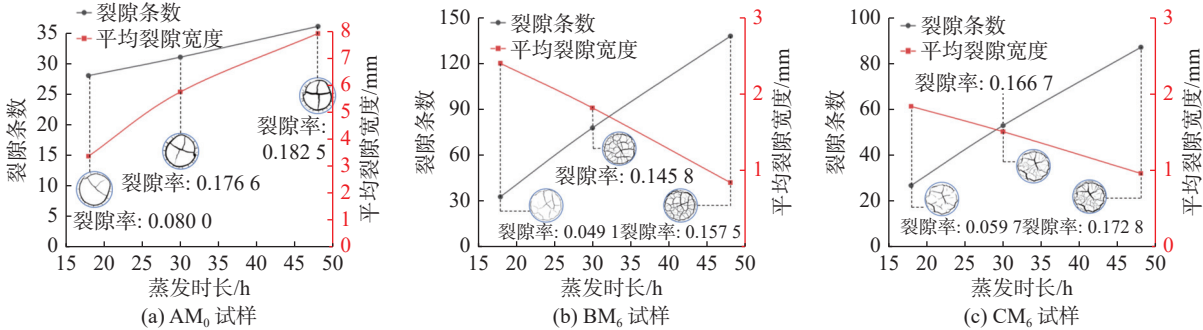


图8 裂隙参数及形态

Fig. 8 Crack parameters and morphological changes

4 结 语

本文在相同蒸发温度(50 ℃)下,对各生态纤维掺量的砂质黏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)生态纤维的掺入显著改善了砂质黏土的干缩裂隙特性。黄麻纤维和稻秆纤维都是天然纤维且均具有一定吸水性,与土颗粒黏结可有效减缓裂缝的发展速度,降低裂隙率和平均裂隙宽度。

(2)稻秆纤维和黄麻纤维在改良土体裂隙发育上均有较好效果,主要表现为随着纤维掺量的增加,砂质黏土的大裂隙数量明显减少,小裂隙增多,裂隙分布更均匀,裂隙率和平均裂隙宽度都明显降低。

生态纤维改良方法为汉中地区砂质黏土干缩裂隙治理提供了新思路,在提高人工填筑砂质黏土的稳定性方面具有潜在的应用价值。下一步的研究将关注不同环境条件下生态纤维改良砂质黏土的长期性能(如生态纤维遇水耐久性、填筑边坡稳定性),不同类型生态纤维对砂质黏土渗透、力学等性能的影响,以及生态纤维加筋砂质黏土的填筑施工标准等,以便更好地优化改良方案并推广应用于实际工程。

参 考 文 献:

- [1] SONG X H, TAN Y. Experimental study on the stability of vegetated earthen slopes under intense rainfall[J]. *Soil and Tillage Research*, 2024, 238: 106028.
- [2] 张志韬, 陈生水, 吉恩跃, 等. 聚丙烯纤维加筋砾质黏土的拉伸断裂特性研究[J]. 岩土力学, 2021, 42(10): 2713-2721. (ZHANG Zhitao, CHEN Shengshui, JI Enyue. Tensile fracture properties of gravelly soil reinforced by polypropylene fiber[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2021, 42(10): 2713-2721. (in Chinese))
- [3] GUO H, YANG K, WANG S, et al. Effect of geogrid on dry-shrinkage cracking of loess[J]. *Frontiers in Earth Science*, 2023, 11: 1180045.
- [4] 马晓凡, 张晨阳, 刘瑾, 等. 含砂量对黄原胶复合黏性土抗裂和抗冲刷性能的影响[J]. 水利水电科技进展, 2023, 43 (4): 59-66, 78. (MA Xiaofan, ZHANG Chenyang, LIU Jin, et al. Effect of sand content on anti-crack and anti-scour property of xanthan gum composite silty clay[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2023, 43 (4): 59-66, 78.(in Chinese))
- [5] LI S, ZHANG T, WANG P, et al. Study on the floating law of metro segments in water-rich sandy silt and silty clay strata[J]. *Journal of Geotechnical Engineering*; 2023, 45(3): 123-132.
- [6] ZHOU Y, LIU D, ZHANG J, et al. Experimental research on microscopic and macroscopic damage evolution of artificial frozen sandy gravel[J]. *Cold Regions Science and Technology*, 2023, 200: 103641
- [7] 刘继鹏, 张哲. 黄麻纤维加筋黄土动力特性研究[J]. 硅酸盐通报, 2022, 41(5): 1663-1668, 1688. (LIU Jipeng, ZHANG Zhe. Dynamic properties of jute fiber reinforced loess[J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2022, 41(5): 1663-1668, 1688. (in Chinese))
- [8] 高浩东, 安然, 孔令伟, 等. 干燥失水条件下膨胀土的细观裂隙演化特征研究[J]. 岩土力学, 2023, 44(2): 442-450, 460. (GAO Haodong, AN Ran, KONG Lingwei, et al. Evolution characteristics of meso-cracks in expansive soil under desiccating conditions[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2023, 44(2): 442-450, 460. (in Chinese))
- [9] 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. (ZHANG Junzheng, TANG Chaosheng, GONG Xuepeng, et al. Refined monitoring of the dynamic process of soil desiccation cracking using ERT[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2023, 44(2): 392-402. (in Chinese))
- [10] 陆韬, 璩继立. 黄原胶和黄麻纤维对上海黏土无侧限抗压强度的影响[J]. 公路交通科技, 2020, 37(3): 9-16, 23. (LU Tao, QU Jili. Influence of xanthan gum and jute fiber on unconfined compressive strength of Shanghai Clay[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2020, 37(3): 9-16, 23. (in Chinese))
- [11] MA R Q, WANG M Y, LI X P, et al. Experimental investigation on dynamic mechanical properties of sandy clay treated with alkali-activated metakaolin cement and discrete polypropylene fibers[J]. *Underground Space*, 2022, 7(6): 1036-1055.
- [12] 王翔, 顾凯, 张玉萍, 等. 生物炭对不同土体干缩开裂特性的影响及其机理研究[J]. 岩土工程学报, 2023, 45(4): 876-882. (WANG Xiang, GU Kai, ZHANG Yuping, et al. Effects of biochar on desiccation cracking characteristics of different soils and their mechanism[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2023, 45(4): 876-882. (in Chinese))
- [13] 骆赵刚, 汪时机, 杨振北. 膨胀土湿干胀缩裂隙演化及其定量分析[J]. 岩土力学, 2020, 41(7): 2313-2323. (LUO Zhaogang, WANG Shiji, YANG Zhenbei. Quantitative analysis of fracture evolution of expansive soils under wetting-drying cycles[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2020, 41(7): 2313-2323. (in Chinese))

- [14] 贺桂成,唐孟媛,李咏梅,等. 改性黄麻纤维联合微生物胶结铀尾砂的抗渗性能试验研究[J]. 岩土力学, 2023, 44(12): 3459-3470. (HE Guicheng, TANG Mengyuan, LI Yongmei, et al. Experiment on the impermeability of uranium tailings treated by microbial induced calcium carbonate precipitation combined with modified jute fiber[J]. Rock and Soil Mechanics, 2023, 44(12): 3459-3470. (in Chinese))
- [15] MURTINI E S, YUWONO S S, SETYAWAN H Y. Comparison of characteristics of carbonized rice straw from various rice varieties and parts of rice straws as a source for natural black colorant[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 230: 012025.
- [16] 林朱元,唐朝生,曾浩,等. 土体干缩开裂过程的边界效应试验与离散元模拟[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(2): 372-380. (LIN Zhuyuan, TANG Chaosheng, ZENG Hao, et al. Laboratory characterization and discrete element modeling of desiccation cracking behavior of soils under different boundary conditions[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2020, 42(2): 372-380. (in Chinese))
- [17] 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. (TANG Chaosheng, WANG Deyin, SHI Bin, et al. Quantitative analysis of soil desiccation crack network[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2013, 35(12): 2298-2305. (in Chinese))
- [18] 谷英东,程青,唐朝生,等. 不同干密度条件下植被土干缩开裂特性试验研究[J]. 岩土工程学报, 2023, 45(11): 2420-2428. (GU Yingdong, CHENG Qing, TANG Chaosheng, et al. Desiccation cracking behavior of vegetated soil with various dry densities[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2023, 45(11): 2420-2428. (in Chinese))
- [19] 徐其良,唐朝生,刘昌黎,等. 土体干缩裂隙发育过程及断裂力学机制研究进展[J]. 地球科学与环境学报, 2018, 40(2): 223-236. (XU Qiliang, TANG Chaosheng, LIU Changli, et al. Review on soil desiccation cracking behavior and the mechanism related to fracture mechanics[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2018, 40(2): 223-236. (in Chinese))
- [20] LI J H, LU Z, GUO L B, et al. Experimental study on soil-water characteristic curve for silty clay with desiccation cracks[J]. *Engineering Geology*, 2017, 218: 70-76.

Experimental study on ecological fiber improvement of drying shrinkage cracks in sandy clay

GUO Hong^{1,2}, LU Yuyan^{1,3}, LI Wenyang^{1,3}, ZOU Hujin^{1,3}, ZHANG Tongchuan^{1,3}, HUANG Furong^{1,3}

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

Abstract: Sandy clay has poor water retention capacity and is prone to significant drying shrinkage cracks under evaporation, which exacerbate rainfall infiltration on slopes, increasing the risk of instability. This study investigates the inhibitory effects of different eco-fibers on drying shrinkage cracks in sandy clay. Using image processing techniques, the effects of jute fiber and rice straw fiber on water evaporation, crack development, evolution, and structural morphology of sandy clay were quantitatively analyzed. Results show that eco-fibers exhibit strong adhesion with soil particles and can effectively suppress drying shrinkage cracks in sandy clay by delaying water evaporation and reinforcing the soil. The inhibitory effects improve with increasing fiber content. At a fiber content of 0.6% (by mass), jute fiber and rice straw fiber demonstrated the most significant improvement, reducing crack ratios by 30.6% and 23.8%, respectively, and average crack widths by 66.64% and 70.86%, respectively. The use of jute and rice straw fibers provides novel approaches and theoretical support for addressing drying shrinkage cracks in sandy clay fill engineering.

Key words: sandy clay; drying shrinkage cracks; eco-fiber; image processing