

棉花秸秆纤维水泥土在干湿循环下抗压强度变化研究

李永彬¹, 杨 娇²

(1. 安徽理工大学 土木建筑学院, 安徽 淮南 232001;)
(2. 盐城工学院 土木工程学院, 江苏 盐城 224002)

摘要:研究掺入棉花秸秆纤维的水泥土经过数次干湿循环后的抗压强度变化。对不同次数干湿循环后的纤维水泥土进行无侧限抗压实验研究, 结果表明: (1) 随着干湿循环次数的增加, 纤维水泥土的抗压强度先升高后降低; (2) 养护7 d后的试样进行干湿循环, 其最高抗压强度要高于正常养护28 d后的抗压强度, 说明水泥的水化作用在干湿循环过程中依然发挥着重要的作用; (3) 干湿循环30次后纤维依然存在一定的加筋效果, 可应用于一定期间内的工程支护体系。

关键词:棉花秸秆纤维; 干湿循环; 抗压强度变化

中图分类号: TU522.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-5322(2021)01-0007-05

1 研究背景

作为农业大国, 我国每年都会产生大量的秸秆废弃物, 如果处置不当会造成严重的环境污染, 所以国内外大量学者都在进行农作物秸秆纤维的研究^[1-7]。水泥土作为一种常用的建筑材料, 被广泛应用于基坑止水帷幕、地基处理等领域, 但由于土本身属于离散材料, 几乎没有抗拉能力, 而且即使水泥固化可以将土颗粒固结在一起, 但水泥本身的抗拉强度也不高, 所以一般水泥土多应用于承担压应力为主的场所。纤维本身具有较强的抗拉强度, 再加上其粗糙的表面, 使得纤维和土颗粒之间具有较强的摩擦力, 因此纤维可以作为一种优质的水泥土加筋材料^[1-5]。

目前, 已有许多学者进行纤维在土中的力学特性研究。Cai等^[6]采用无侧限抗压的方式研究聚丙烯纤维掺量、石灰掺量以及养护时间对聚丙烯纤维石灰土强度的影响, 得出抗压强度与纤维掺量及养护时间成正比, 石灰掺量存在最大临界值。Kumar等^[7]研究聚酯纤维加筋软黏土。通过无侧限抗压实验定量分析加筋对软黏土抗压强度的影响, 发现加筋后软黏土强度有明显提高。唐

朝生等^[8]将聚丙烯纤维掺入素土、石灰土以及水泥土中, 通过无侧限抗压实验研究纤维加筋对不同土抗压强度的影响。结果表明, 纤维对于石灰土和水泥土这些固化土的加筋效果优于素土, 其原因可能是由于石灰和水泥这类固化剂可将土颗粒和纤维更好的黏结在一起, 有助于纤维更好地发挥其拉伸强度。唐朝生等^[9]还将砂掺入黏土中, 研究掺砂量对聚丙烯纤维加筋效果的影响, 发现掺砂量存在临界值, 当掺砂量达到4%时, 纤维加筋掺砂黏土的强度最高。Akbulut等^[10]分析橡胶、聚丙烯、聚乙烯纤维对黏性土的加筋效果, 发现均可以起到加筋作用且纤维的掺量和长度存在极值。吴继玲等^[11]研究聚丙烯纤维对膨胀土的加筋效果, 发现加筋率存在极值。邓友生等^[12]通过控制土样的含水率来研究纤维的加筋效果, 发现加筋率与强度的关系为先增后减, 存在最优加筋率。

通过上述研究可以发现对于纤维加筋土的研究已有很多, 加筋率与土体抗压强度的关系基本为先增后减, 同时, 固化土的加筋效果优于素土。还有部分学者在进一步研究干湿循环后纤维的加筋效果^[13-16]。唐朝生等^[17]研究纤维加筋对干湿

收稿日期: 2020-07-09

基金项目: 江苏省交通运输厅公路局项目(2017-28); 2018年盐都区科技成果转化项目(编号35)。

作者简介: 李永彬(1996—), 男, 山西长治人, 硕士生, 主要研究方向为环境岩土工程。

循环后黏性土开裂的影响,发现在黏性土中加入适量纤维可以改变干缩裂缝的发展规律,降低裂隙率,提高土体结构物的稳定性。韩春鹏等^[18]通过将纤维掺入膨胀土,研究干湿循环条件下膨胀土干缩裂缝的发展规律,最终得出了和唐朝生等人研究结果相似的规律,说明掺入纤维确实可以有效地抑制干缩裂缝的发展。王磊^[19]研究了聚丙烯纤维混凝土在干湿循环下的耐久性。陈翔等^[20]研究了纤维膨胀土在干湿循环条件下内摩擦角的变化,发现随着干湿循环次数的增加,内摩擦角先小幅提高,然后逐渐减小并趋于稳定。

从上述研究中可以发现,对于干湿循环条件下纤维加筋土的研究多集中于纤维对素土开裂抑制的研究,而对于纤维水泥土宏观力学特点的研究鲜有发现。

因此,本文对棉花秸秆纤维水泥土进行多次干湿循环,通过其抗压强度变化来研究干湿循环对纤维加筋固化土宏观力学特性的影响。

2 实验方案

2.1 实验材料

实验用土为粉质黏土,取自盐城某工程的施工基坑,其物理力学性质如表 1 所示;棉花秸秆产

自盐城郊区,将其制作成棉花秸秆纤维,如图 1 所示;水泥采用的是江苏省八菱海螺水泥厂生产的 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥,其物理性质如表 2 所示。

表 1 土的物理力学性质

Table 1 Physical and mechanical properties of soil

含水率 $\omega/\%$	液限 $\omega_L/\%$	塑限 $\omega_p/\%$	塑性 指数 I_p	天然密度 $\rho/$ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	干密度 $\rho_d/$ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
34.8	44.7	25.03	19.67	1.85	1.54



图 1 棉花秸秆纤维
Fig 1 Cotton straw fiber

表 2 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥土物理性质
Table 2 Physical properties of 42.5 normal portland cement

细度/%	初凝时间/min	终凝时间/min	安定性	烧失量/%	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
					7 d	28 d	7 d	28 d
3.8	125	180	合格	2.1	26.3	54.2	5.1	8.2

2.2 试样制备及测试

- (1)将土风干过 2 mm 筛。
- (2)根据唐朝生等^[21]、杨继位等^[22]的研究将材料掺量定为:水泥掺量 12%、纤维掺量 0.4%。纤维长度 12 mm,水灰比 0.5,土样配置目标含水率 60%。按此称取相应质量的土、水泥、水和棉花秸秆纤维。
- (3)将称取的材料搅拌混合直至均匀(最后加水)。
- (4)将搅拌好的浆体装入 39.1 mm×80 mm 的模具中。
- (5)在标准养护条件下(温度 20 ℃,湿度 95%)静置 24 h 后脱模,进行标准养护。
- (6)养护结束后进行干湿循环,步骤为:先将试样置于恒温水箱中 23 h;再将试样置于室温环境下 1 h,温度控制为 20 ℃;然后将试样置于温度

40 ℃ 的烘箱内 24 h 后取出,为一次干湿循环。干湿循环次数分别为 3、5、10、15、20、30。

3 实验结果分析

经不同次数干湿循环实验后,棉花秸秆纤维水泥土的抗压强度如图 2 所示。由图 2 可以看出,随着干湿循环次数的增加,所有龄期的纤维水泥土抗压强度均呈现出先增加后降低的趋势。

7 d 抗压强度在干湿循环 10 次后达到峰值,其数值从干湿循环开始前的 0.66 MPa 提高到 1.05 MPa,增长幅度为 59.1%;干湿循环 30 次后,7 d 抗压强度降至 30 次干湿循环以来的最低点,数值从 10 次干湿循环时的 1.05 MPa 下降到 0.839 MPa,降幅为 20.1%,较未进行干湿循环时提高了 27.1%。

28 d 抗压强度在干湿循环 5 次后达到峰值,

其数值从干湿循环开始前的 0.733 MPa 提高到 1.03 MPa,增长幅度为 40.5%;干湿循环 30 次后,28 d 抗压强度降至最低,数值从 5 次干湿循环时的 1.03 MPa 下降到 0.624 MPa,降幅为 39.4%,较未进行干湿循环时下降了 14.9%。

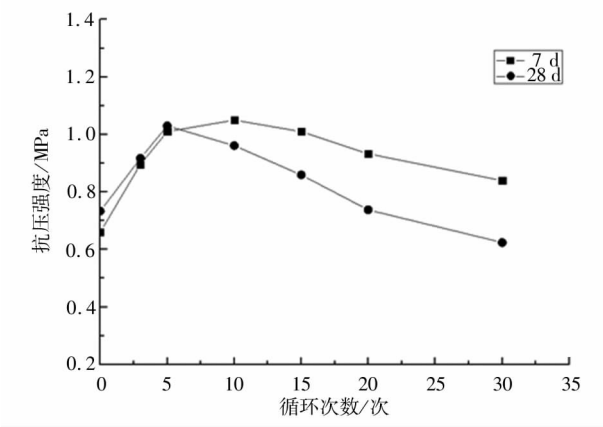


图 2 干湿循环次数与抗压强度关系曲线
Fig 2 Relationship curve between dry-wet cycle times and compressive strength

绘制干湿循环次数与抗压强度变化幅度关系曲线如图 3 所示。其中,抗压强度变化幅度 δ 计算公式为:

$$\delta = (\sigma_1 - \sigma_0) / \sigma_0$$

式中, σ_1 表示图中横坐标循环次数对应的试样抗压强度,MPa; σ_0 表示前一个循环次数对应的试样抗压强度,MPa。

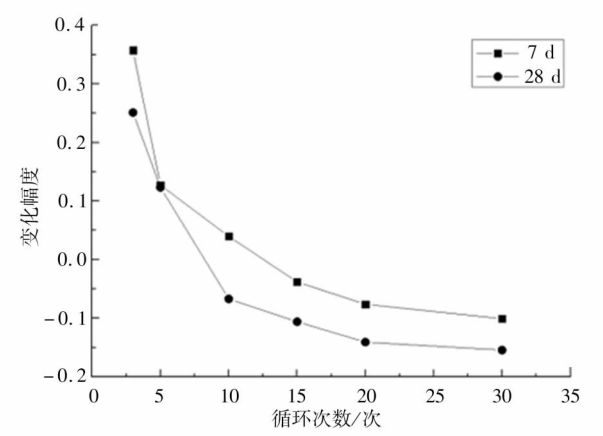


图 3 干湿循环次数与抗压强度变化幅度关系曲线
Fig 3 Curve of relationship between dry-wet cycle times and compressive strength

纤维水泥土在干湿循环的过程中发生着各种各样的变化使得试样抗压强度先升高后降低。这些变化可以分为两个阶段。

第一阶段为干湿循环前期,试样抗压强度达到峰值之前。此阶段试样抗压强度呈增长趋势,其原因是养护结束后,试样处于干燥高温状态与浸泡状态的切换过程中,未能完全反应的水泥活性物质在高温(40℃)作用下加速进行水化反应,相同时间内产生了更多的水化产物;这些水化产物附着于纤维以及土颗粒表面,增强了纤维与土颗粒之间的咬合力和摩擦力^[9]。虽然在浸泡状态中,水泥土吸水膨胀,大量水分进入水泥土中与纤维接触,会造成纤维表面摩擦力降低^[17]和纤维水解^[16,23],导致纤维加筋效果下降,但大量水化产物的产生延缓了这一问题的继续发展。同时,由于纤维的加筋作用,水泥土干缩裂隙的发展被抑制^[12],形成的裂隙也会被大量产生的水化产物所填充,进一步提高了水泥土的抗压强度。此阶段为图 2 中两条曲线的上升阶段以及图 3 中两条曲线数值大于零的阶段。

第一阶段末期,随着水泥中越来越多的活性物质通过水化反应转化为水化产物,水泥土产生裂隙对试样抗压强度的负面作用与水泥固化对试样抗压强度的正向作用逐渐达到平衡,此过程表现为图 3 中曲线越来越小的斜率。

第二阶段为干湿循环后期,此阶段为图 3 中曲线数值小于零的部分。此时水泥中大部分的活性物质均已转化为水化产物,水泥土干缩开裂形成的新的裂隙由于没有水化产物的填充而在不断发展,纤维虽然可以起到一定的加筋抑制作用,但由于裂隙的出现导致纤维与水直接接触,使得纤维发生水解,纤维表面摩擦力降低,导致纤维加筋作用减弱。

图 3 中,7 d 抗压强度变化幅度小于零的有: -0.038、-0.076、-0.101;28 d 抗压强度变化幅度小于零的有: -0.067、-0.106、-0.141、-0.154。它们的绝对值比相应龄期 0 次到 3 次干湿循环的抗压强度变化幅度 0.358、0.251 要小很多。由材料力学中单元应力相关知识可知,无侧限抗压强度实质上是试样的侧向抗拉强度,表现为拉裂裂缝的发展扩大,水泥土试样抗压强度的降低速率很大程度上取决于裂隙的发展速率,因此,强度降幅不大说明纤维依然在发挥着一定的作用,阻碍着试样中裂隙的发展。

4 结论

对干湿循环后的棉花秸秆纤维水泥土进行无侧限抗压实验,得出如下结论:

(1)随着干湿循环次数的增加,纤维水泥土的抗压强度先升高后降低,7 d 试样抗压强度在干湿循环 10 次后达到峰值,峰值抗压强度为 1.05 MPa;28 d 试样在干湿循环 5 次后达到峰值,峰值抗压强度为 1.03 MPa。7 d 试样进行 5 次干湿循环后的最高抗压强度要高于正常养护 28 d 的试样,说明适量的干湿循环有助于试样抗压强度的提高。

(2)出现上述情况的原因是由于干湿循环加速了水泥土中活性物质的固结,同时干缩湿胀产生的微裂隙被水泥水化产物所填充,从而使得水泥土抗压强度进一步提高;当水泥土中活性物质逐渐消耗殆尽,而干缩湿胀产生的裂隙随着干湿

循环次数的增加而越来越多时,抗压强度逐渐降低。

(3)纤维在干湿循环的前期被水泥的水化产物固结在土颗粒上,起到了很好的加筋作用,但由于纤维自身在干湿循环下发生降解,使得纤维的抗拉强度有所降低;随着土颗粒的干缩湿胀,土中出现大量微裂隙,纤维的存在可以抑制裂隙的发展,故干湿循环次数在一定范围内增加时,抗压强度下降幅度基本保持稳定,一旦超过某个临界值,试样抗压强度将出现大幅下降,对于上述现象分析的证明与量化需要后续实验进一步研究。

(4)干湿循环模拟的是现实环境中的劣化过程。本文中的实验结果说明,30 次干湿循环后,纤维水泥土还保有初始抗压强度的 85.1%,说明纤维在 30 次干湿循环后依然保留着较高的加筋效果,纤维加筋水泥土可以应用于一定期间内的工程支护体系。

参考文献:

- [1] 刘俊伟,赵彦平,韩金朋,等. 循环荷载下纤维加筋土与结构界面剪切特性研究[J]. 水利水电技术,2020,51(1):159-165.
- [2] 胡达,璩继立. 纤维素纤维加筋土的力学特性[J]. 公路交通科技,2018,35(1):22-27,35.
- [3] 吴会龙,潘玲玲,薛国强,等. 纤维加筋对土体力学特性的影响[J]. 森林工程,2018,34(6):80-86,92.
- [4] 刘建龙,侯天顺,骆亚生. 棉纤维加筋土无侧限抗压强度试验研究[J]. 水力发电学报,2018,37(2):12-21.
- [5] 杨彩迪,卫杰,张晓明,等. 黄麻纤维加筋崩岗岩土的无侧限抗压强度研究[J]. 土壤学报,2018,55(4):923-932.
- [6] CAI Y, SHI B, NG C W W, et al. Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil[J]. Engineering Geology, 2006,87(3/4):230-240.
- [7] KUMAR A, WALIA B S, BAJAJ A. Influence of fly ash, lime, and polyester fibers on compaction and strength properties of expansive soil[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2007,19(3):242-248.
- [8] 唐朝生,施斌,蔡奕,等. 聚丙烯纤维加固软土的试验研究[J]. 岩土力学,2007,28(9):1796-1800.
- [9] 唐朝生,施斌,高玮,等. 含砂量对聚丙烯纤维加筋黏性土强度影响的研究[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(S1):2968-2973.
- [10] AKBULUT S, ARASAN S, KALKAN E. Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers[J]. Applied Clay Science, 2007,38(1/2):23-32.
- [11] 吴继玲,张小平. 聚丙烯纤维加筋膨胀土强度试验研究[J]. 土工基础,2010,24(6):71-73,76.
- [12] 邓友生,吴鹏,赵明华,等. 基于最优含水率的聚丙烯纤维增强膨胀土强度研究[J]. 岩土力学,2017,38(2):349-353,360.
- [13] 张洁. 聚丙烯纤维水泥土抗压强度及干湿循环耐久性能试验研究[J]. 中外公路,2018,38(6):235-238.
- [14] 王天,翁兴中,张俊,等. 干湿循环条件下复合固化砂土抗压强度试验研究[J]. 铁道科学与工程学报,2017,14(4):721-729.
- [15] 潘波,丁瑜,黄晓乐,等. 纤维加筋植被混凝土干湿循环下抗剪强度研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2020,42(1):63-67.
- [16] 洪雷,江海鑫. 干湿循环下预应力 CFRP 加固高强混凝土的耐久性[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2017,45(12):143-148.

[17] 唐朝生,施斌,刘春,等. 影响黏性土表面干缩裂缝结构形态的因素及定量分析[J]. 水利学报,2007,38(10):1186-1193.

[18] 韩春鹏,田家忆,张建,等. 干湿循环下纤维加筋膨胀土裂隙特性分析[J]. 吉林大学学报(工学版),2019,49(2):392-400.

[19] 王磊. 聚丙烯纤维混凝土在干湿循环条件下的耐久性研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2011.

[20] 陈翔,张福海,张晓阳,等. 干湿循环效应对纤维膨胀土抗剪强度室内试验研究[J]. 科学技术与工程,2015,15(19):175-179.

[21] 唐朝生,顾凯. 聚丙烯纤维和水泥加固软土的强度特性[J]. 土木工程学报,2011(S2):5-8.

[22] 杨继位,柴寿喜,王晓燕,等. 以抗压强度确定麦秸秆加筋盐渍土的加筋条件[J]. 岩土力学,2010,31(10):3260-3264.

[23] AZWA Z N, YOUSIF B F, MANALO A C, et al. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres[J]. Materials & Design, 2013,47(9):424-442.

Study on the Compressive Strength Changes of Cotton Straw Fiber Cement Soil under Dry-wet Cycle

LI Yongbin¹, YANG Jiao²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Science and Technology,
Huainan Anhui 232001, China;
2. School of Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224002, China)

Abstract:The compressive strength of cement soil mixed with cotton straw fiber was studied after several drying and wetting cycles. The unconfined compression test of fiber reinforced cement soil after different times of dry wet cycles was carried out. The results show that:(1) with the increase of dry and wet cycles, the compressive strength of fiber cement soil increases first and then decreases. (2)The maximum compressive strength of the samples after 7 days of curing is higher than that of the samples after 28 days of normal curing, which indicates that the hydration of cement still plays an important role in the process of dry wet cycle. (3)After 30 times of dry and wet circulation, the fiber still has some reinforcement effect, which can be applied to the engineering support system in a certain period.

Keywords:cotton straw fiber; dry and wet cycle; compressive strength change

(责任编辑:熊璐璐)