

土工合成纤维土动力特性试验研究

张艳美, 阮东华, 程志良

(中国石油大学储运与建筑工程学院, 山东青岛 266580)

摘要:通过动三轴试验,研究围压、纤维长度、纤维细度和配合比等因素对聚丙烯纤维加固粉砂的动应力-应变关系及动强度的影响规律。结果表明:纤维土的动应力-应变关系呈应变硬化型,近似双曲线;围压对纤维土动应力-应变关系和动强度的影响较大,纤维土的动弹性模量和动强度随围压的增大而增大,随振动次数的增加而降低;纤维越细,动强度越大,抵抗变形的能力越强;纤维的掺入对土体动摩擦角的影响不大,主要提高了土的动黏聚力。

关键词:土工合成纤维土;动力特性;配合比;动强度;试验

中图分类号:TU 443 **文献标志码:**A

引用格式:张艳美,阮东华,程志良.土工合成纤维土动力特性试验研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2015,39(2):119-123.

ZHANG Yanmei, RUAN Donghua, CHENG Zhiliang. Experimental study on dynamic characteristics of TEXSOL[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015,39(2):119-123.

Experimental study on dynamic characteristics of TEXSOL

ZHANG Yanmei, RUAN Donghua, CHENG Zhiliang

(College of Pipeline and Civil Engineering in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: Through dynamic tri-axial test, the influences of the confining pressure, fiber length, fiber fineness and mixture ratio on the dynamic stress-strain relationship and dynamic strength of silty soil reinforced by polypropylene fiber were researched. The results show that the dynamic stress-strain relationship of TEXSOL is of the strain hardening type with the shape of near hyperbola. The influence of confining pressure on the dynamic stress-strain relationship of TEXSOL is great. The dynamic elastic modulus and dynamic strength of TEXSOL will increase with the increase of confining pressure, and decrease with the increase of vibration time. The finer the fiber is, the higher the dynamic strength and the ability to resist deformation are. The fiber can improve the dynamic cohesive force of soil, however it has little effect on soil friction angle.

Keywords: TEXSOL; dynamic characteristics; mixture ratio; dynamic strength; experiment

土工合成纤维土(TEXSOL)是一种三维加筋的复合土,属于广义上的加筋土。由于纤维是无规则多方向地掺入土中,从而使得纤维土具有近似各向同性的力学性质。与加筋土相比,纤维土不存在明显的薄弱环节或薄弱方向^[1],它不仅限制土体的侧向和竖向变形,还在土体中构成了一个三维空间过滤网,提高了土体内部抗冲刷的能力,具有更好的水稳性。这项技术在国外已被应用于高速公路路堤、挡土墙和斜坡加固等工程中^[1-2]。目前,国内外学者对土工合成纤维土的研究已逐步展开^[3-18]。由

于土工合成纤维和土体的种类繁多、性质差异较大,尽管对纤维土动力特性的研究已取得了一些成果^[19],但仍有许多问题需要进一步深入研究。笔者以聚丙烯纤维(丙纶)加固粉砂为例,通过动三轴试验研究围压、纤维长度、纤维细度和配合比等因素对纤维土动应力-应变关系和动强度的影响。

1 试验材料

试验用土取自青岛开发区某施工现场,素土的颗粒级配曲线见图1。粒径大于0.075 mm的颗粒

质量为总质量的 53%, 根据现行《建筑地基基础设计规范》(GB5007-2011), 定义该土样为粉砂。

在制备素土试件时, 压实系数为 0.96, 土的含水率控制为 16%, 测得素土的密度为 1.989 g/cm³。制备纤维土试件时, 将纤维均匀搅拌在素土中, 纤维土试样高为 39.1 mm, 直径为 50 mm, 采用真空饱和。试验用聚丙烯纤维分为两种, 1# 纤维细度为 900 D, 2# 纤维细度为 300 D。

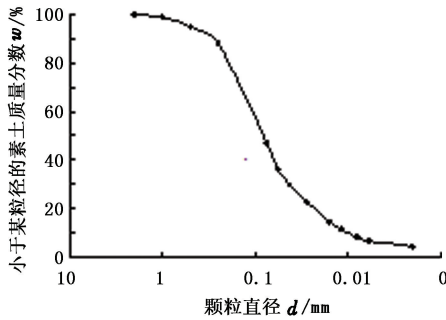


图 1 素土的颗粒级配曲线

Fig. 1 Grain size distribution curve of plain soil

试验设备用英国产 VJT5010-EM 型土动三轴仪。施加不同振幅的循环动荷载如图 2 所示。

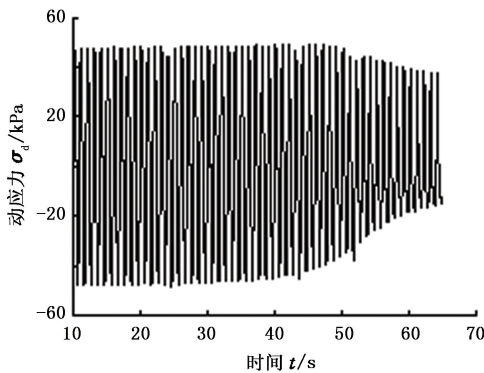


图 2 施加的动荷载

Fig. 2 Applying dynamic load

2 动三轴试验结果及其分析

2.1 素土的滞回曲线

图 3 为动荷载幅值保持 48.6 kPa 不变的情况下素土的滞回曲线。曲线表明, 素土随动荷载作用周次的增加, 滞回圈逐渐向右移动, 变形增大, 产生了不可回复的塑性变形, 并且随振动周次增加, 素土的动弹性模量减小。

图 4 为素土在不同围压下的动应力-应变关系, 图中取的是不同动荷载幅值作用下第 10 振次所对应的滞回圈。可以看出, 素土的动应力-应变关系具有明显的非线性; 应力最大值与应变最大值不

同相, 应变滞后于应力; 随着围压增大, 素土的动强度增大。

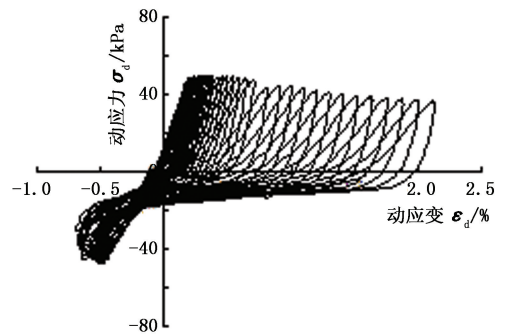
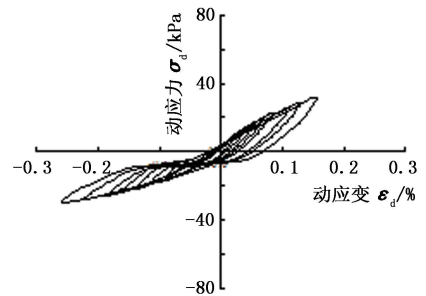
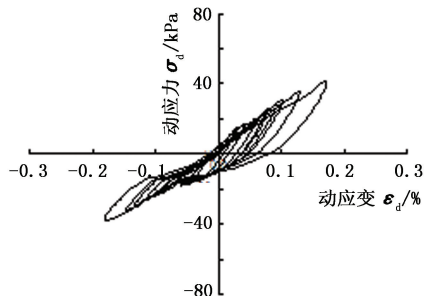


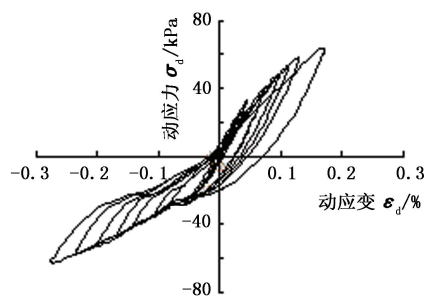
图 3 随振动次数的增加素土滞回圈的变化
Fig. 3 Change of plain soil hysteresis loops with increase of vibration times



(a) 围压 50 kPa



(b) 围压 100 kPa



(c) 围压 150 kPa

图 4 素土的滞回曲线

Fig. 4 Hysteresis curve of plain soil

2.2 纤维土的动应力-应变关系

图 5 为素土和不同工况下纤维土的动应力-应变关系(骨干曲线)对比曲线。试验时, 若无特殊说明, 纤维长度取 3 cm、配合比取 3%、围压取 100

kPa、1#纤维,同一试验只改变其中一种参数,其他条件相同。试验现象及结果显示纤维土的动应力-应变关系表现为应变硬化型,并没有出现加筋土所具有的拉力破坏和黏着破坏。不同工况下,纤维土的骨干曲线近似双曲线,可以用双曲线模型来描述。

即

$$\frac{\sigma_d}{\varepsilon_d} = \frac{1}{a + b\varepsilon_d} \quad (1)$$

式中, a 、 b 为试验常数,与纤维长度、纤维细度、配合比、围压及土的类型等有关。

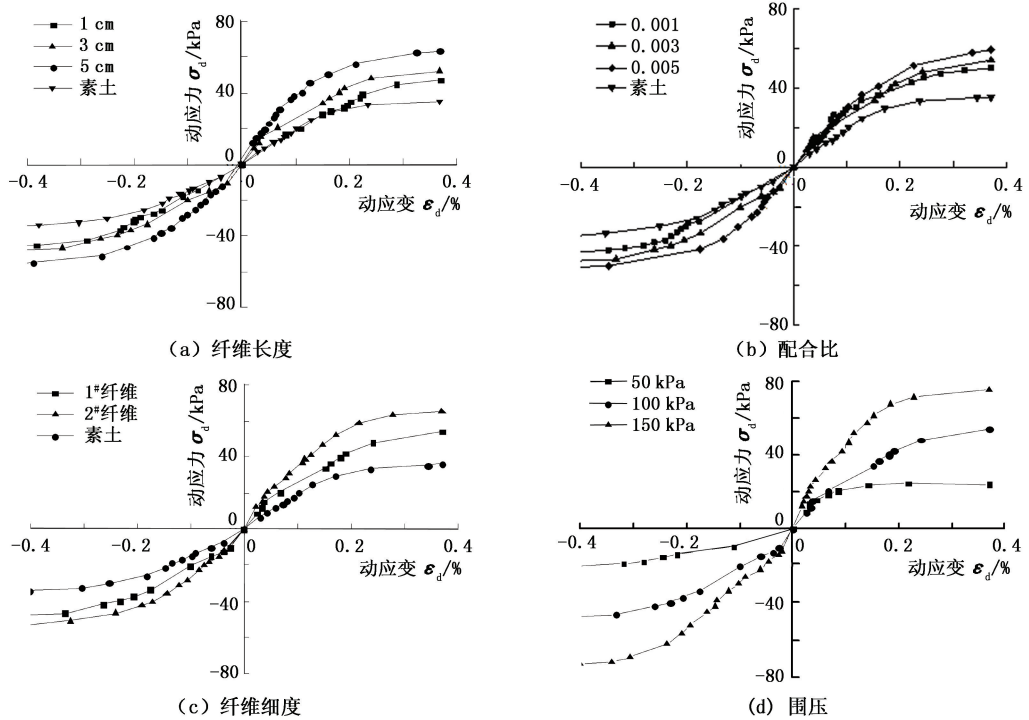


图 5 纤维土的动应力-应变关系曲线

Fig. 5 Dynamic stress-strain curves of TEXTSOL

表 1 给出了不同设计参数下 a 、 b 的取值。其中,最大动弹性模量 $E_{dmax} = 1/a$,最大动应力 $\sigma_{dmax} = 1/b$,可见,与素土相比纤维土的动弹性模量和动强度较高。

表 1 素土与纤维土的试验常数

Table 1 Test constants of plain soil and TEXTSOL

名称	设计参数	
	$a/10^{-3}$	$b/10^{-4}$
素土	3.261	4.40
纤维长度	1 cm	4.824
	2 cm	1.899
	3 cm	1.249
配合比	1‰	1.850
	3‰	1.249
	5‰	1.950
围压	50 kPa	3.415
	100 kPa	1.249
	150 kPa	1.155

由图 5 表明:围压和纤维细度对纤维土骨干曲线的影响较大;纤维土的最大动弹性模量和动强度随纤维长度和围压的增加以及纤维细度的减小而增

大;当土体变形较小时,由于纤维还没有被拉紧,纤维长度的影响较小,只有当土体达到一定变形量后,纤维长度对纤维土动强度的影响才逐渐显著;配合比对纤维土动力特性的影响复杂,当配合比为 3‰ 时加固效果相对较好。

2.3 纤维土的动剪切强度

采用正弦波动荷载,土体的动剪切强度选取动应变达到 5% 对应的动应力之半。试验时,纤维长度为 3 cm、配合比为 3‰、围压为 50 kPa、1#纤维,同一试验只改变其中一种参数,其他条件相同。图 6 为不同纤维长度、配合比、纤维细度和围压情况下纤维土的动剪切强度 τ_d ($\tau_d = \sigma_d/2$) 与振次 N_f 的关系。可以看出,不同工况下,素土和纤维土 $\tau_d - N_f$ 的变化趋势基本相同,即 τ_d 随着 N_f 的增大而减小;在其他条件相同时, τ_d 随纤维长度、配合比和围压的增大而增大;1#纤维的 τ_d 明显小于 2#纤维的,说明当纤维配合比相同时,纤维越细,纤维土的动剪切强度越大。

根据图 6(a)、(e)可以得出纤维土和素土的动

摩擦角和动黏聚力(第10振次下)。如图7所示,绘制莫尔圆的包线,包线的倾角和截距分别为土的内摩擦角和黏聚力。由图7可知,纤维土和素土的动摩擦角均为 9° ,动黏聚力分别为43.84、32.58

kPa。说明纤维的掺入对动摩擦角的影响较小,对动黏聚力的影响较显著,纤维的掺入主要是通过提高土体的动黏聚力来发挥纤维的补强作用。

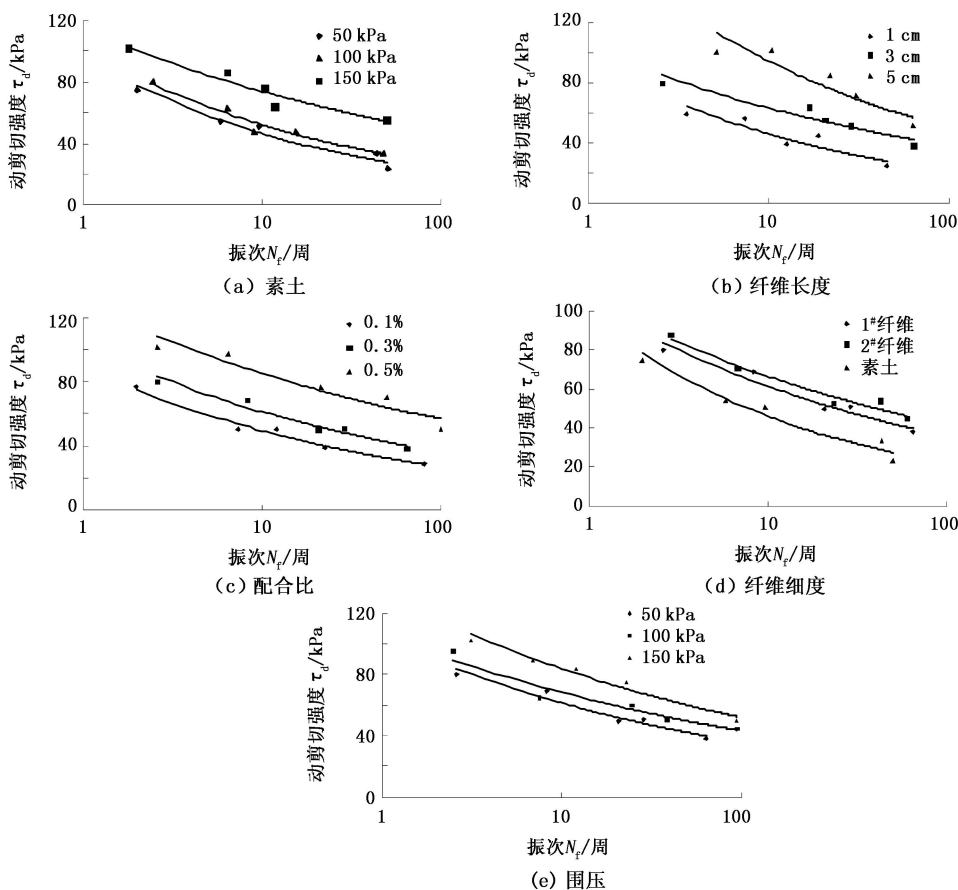


图6 纤维土 τ_d-N_r 关系曲线

Fig. 6 τ_d-N_r curves of TEXSOL

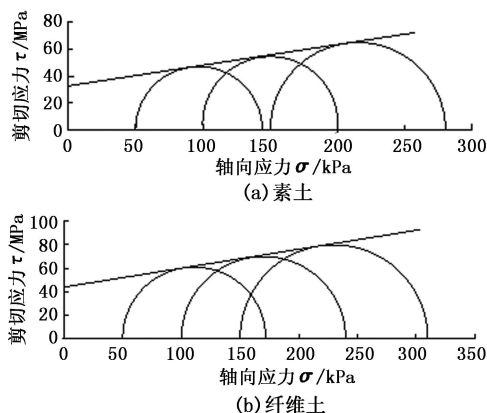


图7 动强度指标

Fig. 7 Dynamic strength index

3 结论

(1)纤维土的动应力-应变关系呈应变硬化型,可用双曲线模型描述;双曲线的试验常数与纤维长

度、纤维细度、配合比、围压及土的类型等有关。

(2)纤维土的动弹性模量和动强度均较素土高;与素土相比,纤维土抵抗动荷载的性能更好。

(3)与素土相比,纤维的掺入主要提高了土的动黏聚力。

(4)纤维土的性能与纤维的品种及性能有关,本次仅选取了聚丙烯纤维进行试验,纤维的种类较少,今后还要进一步对纤维及其他类型土混合情况进行研究。

参考文献:

[1] 黄文生. 纤维土:一种新的加固材料[J]. 国外公路, 1990(3):48-51.
 HUANG Wensheng. TEXSOL—a new reinforcement material[J]. Foreign Highway, 1990(3):48-51.
 [2] 孙遇祺, 马骥, 弗. 帕. 季托夫, 等. 铁路公路灾害防

- 治[M]. 北京:中国铁道出版社,1998.
- [3] BLIVET Jean-Claude. Laboratory measurement of the creep of TEXSOL [J]. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 1990(165):41-44.
- [4] MATOREN K, GIGAN Jean-Pierre. TEXSOL retaining walls: loading and failure tests and their interpretation [J]. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 1991(173):97-108.
- [5] CLAUDIO di Prisco, ROBERTO N. A constitutive model for soil reinforced by continuous threads [J]. Geotextiles and Geomembranes, 1993, 12:161-178.
- [6] 李广信, 陈轮, 郑继勤, 等. 纤维加筋黏性土的试验研究 [J]. 水利学报, 1995(6):31-36.
LI Guangxin, CHEN Lun, ZHENG Jiqin, et al. Experimental study on fiber-reinforced cohesive soil [J]. Shuili Xuebao, 1995(6):31-36.
- [7] STAUFFER S D, HOLTZ R D. Stress-strain and strength behavior of staple fiber and continuous filament-reinforced sand [J]. Transportation Research Record, 1995(1474):82-95.
- [8] 介玉新, 李广信, 陈轮. 纤维加筋土和素土边坡的离心模型试验研究 [J]. 岩土工程学报, 1998, 20(4):12-15.
JIE Yuxin, LI Guangxin, CHEN Lun. Study of centrifugal model tests on TEXSOL and cohesive soil slopes [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998, 20(4):12-15.
- [9] 王伟, 王中华, 曾媛, 等. 聚丙烯纤维复合土抗裂补强特性试验研究 [J]. 岩土力学, 2011, 32(3):703-708.
WANG Wei, WANG Zhonghua, ZENG Yuan, et al. Experimental study of anti-cracking and reinforcement behaviors of polypropylene fiber composite soil [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(3):703-708.
- [10] PARK T, TAN S A. Enhanced performance of reinforced soil walls by the inclusion of short fiber [J]. Geotextiles and Geomembranes, 2005, 23(4):348-361.
- [11] 唐朝生, 施斌, 蔡奕, 等. 聚丙烯纤维加同软土的试验研究 [J]. 岩土力学, 2007, 28(9):1796-1800.
TANG Chaosheng, SHI Bin, CAI Yi, et al. Experimental study on polypropylene fiber improving soft soils [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(9):1796-1800.
- [12] CHAUHAN C M, MITTAL S, MOHANTY B. Performance evaluation of salty sand subgrade reinforced with fly ash and fibre [J]. Geotextiles and Geomembranes, 2008, 26(5):429-435.
- [13] ZAIMOGLU A S. Freezing-thawing behavior of fine-grained soils reinforced with polypropylene fibers [J]. Cold Regions Science and Technology, 2010, 60(1):63-65.
- [14] LOVISA J, SHUKLA S K, SIVAKUGAN N. Shear strength of randomly distributed moist fiber-reinforced sand [J]. Geosynthetics International, 2010, 17(2):100-106.
- [15] DIAMBRA A, LBRAIM E, MUIR W D, et al. Fiber reinforced sands: experiments and modeling [J]. Geotextiles and Geomembranes, 2010, 28(3):238-250.
- [16] LIRER S, FLORA A, CONSOLI N C. On the strength of fiber-reinforced soils [J]. Soils and Foundations, 2011, 51(4):601-609.
- [17] MAHESHWARI K V, DESAI A K, SOLANKI C H. Performance of fiber reinforced clayey soil [J]. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 16:1067-1082.
- [18] CONSOLI N C, CORTE M B, FESTUGATO L. Key parameter for tensile and compressive strength of fiber-reinforced soil-lime mixtures [J]. Geosynthetics International, 2012, 19(5):409-414.
- [19] 张小江, 周克骥, 周景星. 纤维加筋土的动力特性试验研究 [J]. 岩土工程学报, 1998, 20(3):45-49.
ZHANG Xiaojiang, ZHOU Keji, ZHOU Jingxing. Experimental study on dynamic properties of cohesive soil reinforced with fibers [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998, 20(3):45-49.

(编辑 沈玉英)