

纤维素纤维和石灰粉对上海黏土抗压强度的影响

璩继立, 孙中明

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要:为改良上海黏土强度低、易变形的特性,将纤维素纤维和石灰粉以不同的质量加筋率加入到上海黏土中并在不同养护龄期下养护,然后对试样进行无侧限抗压强度试验,来探究纤维素纤维和石灰粉对上海黏土抗压强度的影响。试验结果表明:石灰粉能够有效的提高上海黏土的抗压强度,同时也提高了土体的脆性;纤维素纤维对提高黏土抗压强度效果不明显,但提高了土体的延性;同时掺加纤维素纤维石灰粉时,土的抗压强度显著提高,土的脆性降低,延性增加;抗压强度最适宜的加筋率为0.8%纤维素纤维和10%石灰粉。

关键词: 纤维素纤维; 石灰粉; 黏性土; 养护龄期; 抗压强度

中图分类号: TU432

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)02-0211-05

Influence of cellulose fiber and lime powder on compressive strength of cohesive soil in Shanghai

QU Jili, SUN Zhongming

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to overturn low strength and high deformation characteristics of Shanghai clay, the paper mixed cellulose fiber and lime powder into Shanghai clay with different weight reinforcement ratios, and maintained the clay under different curing age. Through unconfined compressive strength test, it investigated the impacts of cellulose fiber and lime powder on compressive strength of Shanghai clay. The result indicated that lime powder can effectively improve the compressive strength of Shanghai clay as well as soil residual strength; cellulose fiber has no obvious impact on soil compressive strength, but can obviously improve the ductility of soil; when both cellulose fiber and lime powder are mixed into the clay, the compressive strength and ductility of the soil have been enhanced and its brittleness has been reduced; the most suitable reinforcement ratio for compressive strength of soil is 0.8 percent of cellulose fiber and 10 percent of lime powder.

Key words: cellulose fiber; lime powder; cohesive soil; curing period; compressive strength

1 研究背景

在工程建设中,经常会遇到一些土体不能直接满足工程地基的要求,如冲积平原地形等。上海市处于长江三角洲东缘,系江河湖海动力作用下形成的广褒堆积平原。严学新等^[1]发现上海地区埋深75m内工程地质土层多为黏性土。李晓^[2]通过对上海地区晚新生代地层划分与沉积环境演化的研究发现上海地区浅层分布着厚度较大的软黏土层。

黏土本身具有强度低、易变形的特点^[3],如不

进行固化处理无法满足工程建设的强度和变形要求。多数学者研究表明:在土中加入一定量的纤维能够改善土体强度。唐朝生等^[4]通过对聚丙烯纤维加固软土的研究发现纤维能够提高土体的强度;Khattak等^[5]通过对纤维加筋水泥土物理力学特性的研究发现:纤维加筋对水泥土的抗压强度没有明显提升,但指出抗压强度的提升很大程度上与土壤和纤维的种类有关。Akbulut等^[6]通过在黏性土中加入废弃的橡胶、聚乙烯、聚丙烯纤维均能有效增加无侧限抗压强度,并得出最优掺加量和长度。璩继

收稿日期:2015-07-16; 修回日期:2015-09-27

作者简介:璩继立(1964-),男,河南孟州人,博士后,副教授,硕士生导师,主要从事岩土工程、水文地质等方面的研究。

通讯作者:孙中明(1991-),男,山东枣庄人,硕士研究生,主要从事加筋土研究。

立等^[7]通过在上海黏土中加入棕榈丝,土体的抗拉强度和抗压强度均得到提高,并得出最佳加筋长度和最优长宽比。

纤维加筋是一种新型的土体改良技术^[8-9]。本文中的纤维素纤维是采用一种高寒地区特殊植物物种为原料,经过一系列的特殊化学处理和机械加工而成的人工合成纤维,具有天然的亲水性、巨大的纤维比表面积、较高的韧性和强度等特性。目前采用纤维素纤维作为加筋材料的研究很少。为了解纤维素纤维对黏土的加固效果以及龄期对加筋土的影响,文中对素土、纤维加筋土、石灰土、纤维石灰土进

行无侧限抗压强度试验,通过对比分析,进而得到改善上海黏土的最优加筋方案,并分析加固机理。

2 材料和试验

2.1 材料选取

本次试验土样取自张江高科某大型基坑项目施工现场,取回后对土样进行室内风干粉碎,其物理特性见表 1;用于本次试验的纤维为纤维素纤维,其物理力学性质见表 2;石灰粉为“塞利科”牌碳酸钙,有效钙镁含量为 70% 并且在使用前过 2 mm 筛,石灰粉的物理性质指标见表 3。

表 1 黏性土的物理力学性质

比重	液限 W_L /%	塑性指数 I_p	最佳含水率 W_{opt} /%	最大干密度 ρ_d /(g · cm ⁻³)	塑限 W_p /%
2.71	42.34	21.78	20.72	1.62	20.56

表 2 纤维素纤维物理力学参数

直径/ μm	长度/mm	比重	抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa	耐酸碱性	亲水性
15 ~ 20	2 ~ 3	1.0 ~ 1.2	500 ~ 1000	8 ~ 10	强	良

表 3 石灰粉的物理性质指标

外观	氧化钙/%	氧化镁/%	氢氧化钙/%	配料/%	白度/%	活性氧化钙/%
325 目余筛 < 0.5%	70.27	3.64	> 65	1	90	> 30

2.2 试样制备与仪器

试样制备中,选取了 0.6% 和 0.8% 风干土重的纤维、6%、10% 和 14% 风干土重的石灰粉同素土均匀混合,共配置 3 组试样(表 4),共 144 个。按照最佳含水率配置混合料,然后用三瓣模、击实锤分 3 层压制成型,样品高为 80 mm,直径 39 mm,制备好的试样均用保鲜袋密封装好置于标准养护箱内养护,养护时间分别为 7,14,21,28 d。以上制备试样时,均按 JTGE40-2007《公路土工试验规程》^[10]。为了避免其他因素的影响,本次试验所用的仪器均为南京水利电力仪器工程有限责任公司生产的 PY-3 型应变控制式无侧限压缩仪,控制加载速率为 2.5 mm/min,位移测量范围为 0 ~ 30 mm,直到试样破坏。实验中对 4 组试样进行无侧限抗压试验,记录每组试样的无侧限抗压强度(UCS)。

3 结果与讨论

表 4 为土样在不同纤维和石灰粉掺加量及不同龄期下的无侧限抗压强度。

表 4 试样的无侧限抗压强度值

土样	纤维 含量/ %	石灰 粉含 量/ %	养护 7d 强度/ MPa	养护 14d 强度/ MPa	养护 21d 强度/ MPa	养护 28d 强度/ MPa
素土			0.88	0.92	1.00	1.03
纤维素	0.6		0.96	0.99	1.04	1.06
纤维土	0.8		0.90	0.94	1.01	1.04
石灰土		6	0.97	1.05	1.13	1.21
		10	0.99	1.07	1.15	1.25
		14	1.08	1.12	1.23	1.31
	0.6	6	0.95	1.01	1.09	1.12
纤维	0.6	10	0.97	1.03	1.14	1.20
素纤	0.6	14	1.03	1.12	1.21	1.24
维石	0.8	6	1.00	1.07	1.15	1.27
灰土	0.8	10	1.16	1.20	1.29	1.33
	0.8	14	1.07	1.10	1.18	1.26

3.1 石灰粉对土样强度的影响

图 1 为 7 d 养护龄期下不同含量石灰土的应力

应变曲线图。由图 1 可见:轴向应力均随着轴向位移的增大先上升再减小,石灰土的抗压强度明显高于素土。与素土相比,石灰土应力增加的速度明显快于素土,并且随着石灰粉含量的增加而加快;当石灰土的轴向应力达到峰值后,曲线急剧下降,呈现较低的残余强度,且随着石灰掺加量的增加,下降段曲线越陡峭,强度下降越快,说明石灰粉含量越高,土体的脆性破坏越明显。在同一养护龄期内,相对于素土,加筋率为 6% 和 10% 的无侧限抗压强度增加量不高;加筋率为 14% 的石灰土无侧限抗压强度却有显著提高。图 2 为养护龄期对石灰土无侧限抗压强度的影响曲线。随着养护龄期的增加,土样的轴向应力均随之增大,并且均大于素土,具体表现为:养护龄期为 7、14、21、28 d 时,对于 6% 石灰土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.10、1.14、1.13、1.18 倍,平均为 1.14 倍;对于 10% 石灰土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.13、1.16、1.15、1.21 倍,平均为 1.16 倍;对于 14% 石灰土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.23、1.22、1.23、1.27 倍,平均为 1.24 倍。可见在每个养护龄期内,14% 的石灰土提高土体抗压强度的效果最为明显。

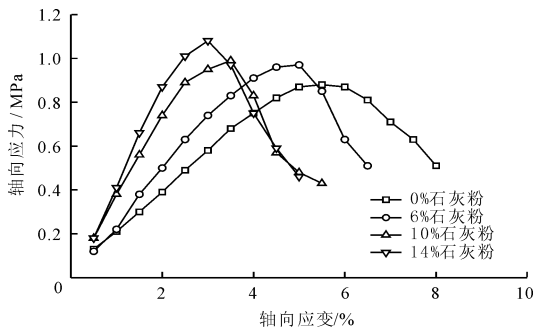


图 1 7 d 养护龄期下不同含量石灰土应力应变曲线

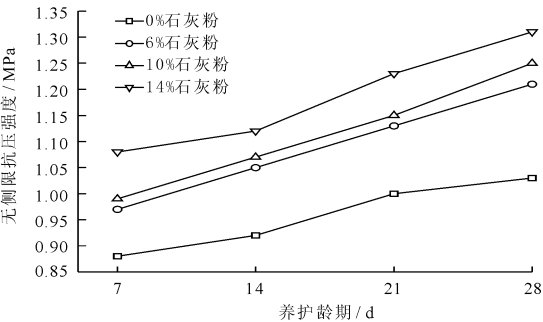


图 2 养护龄期对石灰土无侧限抗压强度的影响

综上可见:石灰粉的加入虽然提高了土体的抗压强度,但也增加了土体的脆性,降低了残余强度;抗压强度随着养护龄期的增加而增加,且石灰粉含量为 14% 时,对土样强度影响最为明显。从微观层

次上对石灰粉的加固机理进行简要分析。由于石灰粉颗粒相对于素土要更加均匀,粒径较小,因此石灰粉颗粒的加入填补了土中颗粒的缝隙,使土颗粒排列更加紧密,大孔隙在数量和尺寸上明显减少,说明石灰粉的加入提高了土体的密实性;此外,石灰粉的加入降低了黏土的塑性指数,使得土样在轴向压力作用下易发生脆性破坏。

3.2 纤维素纤维对土样强度的影响

图 3 为 7 d 养护龄期下不同含量纤维加筋土的应力应变曲线。由图 3 可见:纤维加筋土的轴向应力随着轴向应变的增加先增大后减小,在加载前半段内,纤维土的强度均低于素土,但随着荷载的增加,当素土达到峰值应力后,纤维土则继续上升,并超过素土。图 4 为养护龄期对纤维无侧限抗压强度的影响。土样的强度均随着养护龄期的增加而增加,在各个养护龄期内,纤维土的强度高于素土的强度,0.6% 纤维土的强度高于 0.8% 纤维土的强度,具体表现为:在养护龄期为 7、14、21、28 d 时,对于 0.6% 纤维土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.1、1.12、1.11、1.09 倍,平均为 1.11 倍;对于 0.8% 纤维土,抗压强度分别为素土的 1.05、1.10、1.06、1.04 倍,平均为 1.06 倍。除此之外,与素土相比,纤维土的轴向应力达到峰值后,下降趋势更加缓慢,呈现较高的残余强度。

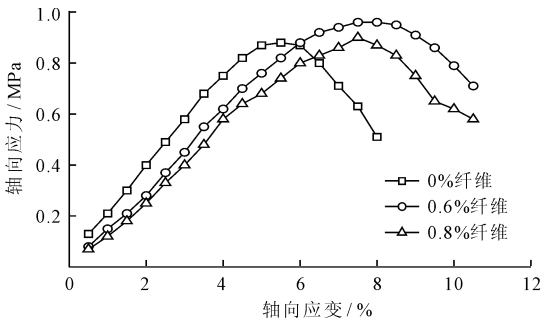


图 3 7 d 养护龄期下不同含量纤维加筋土应力应变曲线

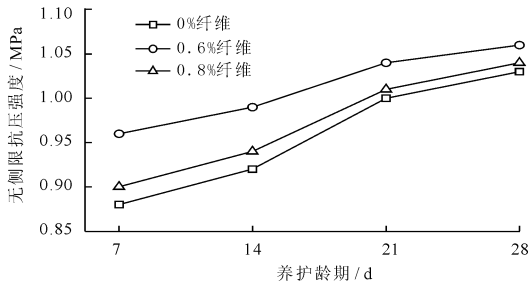


图 4 养护龄期对纤维土无侧限抗压强度的影响

综上可见:纤维素纤维能够改善黏土抗压强度,改善效果劣于石灰粉;0.6% 的纤维加筋率要优于

0.8% 纤维加筋率。加筋土是土与筋材组合的复合体,纤维加筋效果主要取决于筋/土界面作用强度,筋/土界面之间的力学作用主要有两种形式:即摩擦力和黏结力^[8]。当加筋率较小时,纤维表面会黏附一定的黏土矿物,对纤维产生一定的黏结力和摩擦力,从而使随机分布的纤维在土样中形成网状结构,约束了土颗粒的位移和变形,承担了土样在荷载作用下的部分拉应力,纤维的量越多,能承担的拉应力越大;但加筋率较大时,由于加入筋材本身在增加摩擦力的同时,也增大了土的孔隙率,过大的孔隙率将抵消筋材对土的摩擦力增加的作用^[11],而且纤维素纤维颗粒较大,自身没有黏性使土与土、土与筋材之间的联结作用降低,容易形成薄弱面,使得纤维加筋土的强度低于石灰土。

3.3 纤维素纤维和石灰粉对土样强度的综合影响

图 5 为 7 d 养护龄期下不同纤维素纤维石灰加筋率土样的应力应变曲线图。综合图 5 可以看到:在 7 d 养护龄期时,纤维石灰土的轴向应力均大于素土,并且当纤维素纤维加筋率均为 0.6% 时,石灰粉掺加量为 14% 时,土的抗压强度最大;当纤维素纤维的加筋率为 0.8% 时,石灰粉掺加量为 10% 时,土的抗压强度最大。相对于素土,纤维石灰土在达到峰值应力的速度更快,土样达到应力峰值后,石灰粉含量高的土样下降趋势更加急剧,石灰粉含量为

14% 时表现最为明显。图 6 为不同养护龄期下对纤维石灰土无侧限抗压强度的影响曲线图。从图 6 (a) 中可以看出,土样的轴向应力均随着养护龄期的增加而增加,并且均明显高于素土,具体表现为:在养护龄期为 7、14、21、28 d 时,对于 0.6% 纤维 6% 石灰粉的纤维石灰土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.08、1.1、1.09、1.1 倍,平均为 1.09 倍;对于 0.6% 纤维 10% 石灰粉的纤维石灰土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.08、1.12、1.14、1.10 倍,平均为 1.11 倍;对于 0.6% 纤维 14% 石灰粉的纤维石灰土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.17、1.22、1.21、1.20 倍,平均为 1.20 倍。可见在各个养护龄期内,石灰粉含量为 14% 时,土样的强度提高幅度最大。图 6(b) 中可以看出,土样的轴向应力均随着养护龄期的增加而增加,并且不同的纤维石灰土均大于素土,具体表现为:在养护龄期为 7、14、21、28 d 时,对于 0.8% 纤维 6% 石灰粉的纤维石灰土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.14、1.16、1.15、1.23 倍,平均为 1.17 倍;对于 0.8% 纤维 10% 石灰粉的纤维石灰土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.32 倍、1.30 倍、1.29 倍、1.33 倍,平均为 1.31 倍;对于 0.8% 纤维 14% 石灰粉的纤维石灰土,与素土相比,抗压强度分别为素土的 1.22、1.20、1.18、1.26 倍,平均为 1.22 倍,可见在

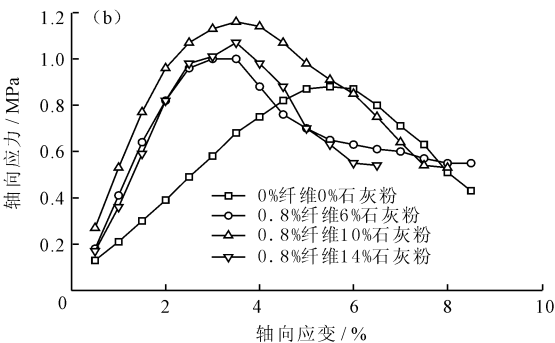
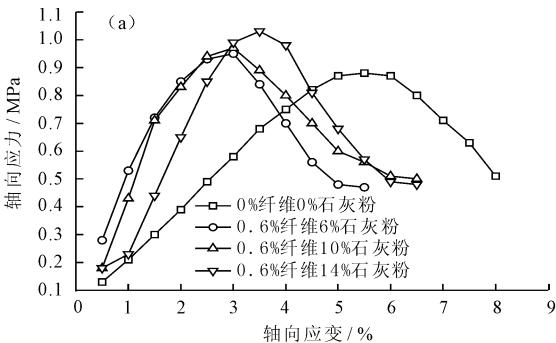


图 5 7 d 养护龄期下不同纤维素纤维石灰粉加筋率土样的应力应变曲线

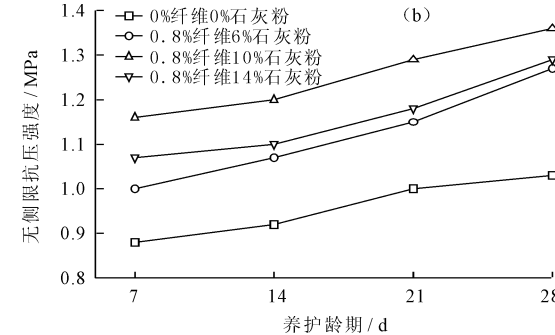
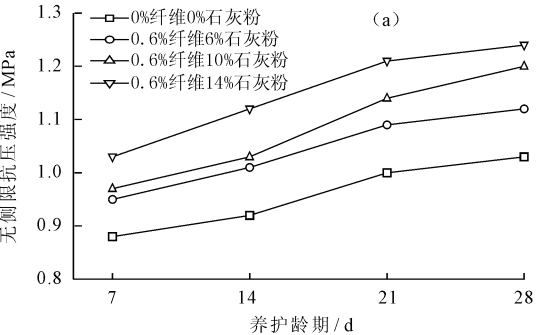


图 6 不同养护龄期下对纤维石灰土无侧限抗压强度的影响

各个养护龄期内,石灰粉含量为10%时,土样的强度提高幅度最大,并且看出最优的加筋方案是0.8%纤维素纤维和10%石灰粉。

综合观察图5、6,轴向应力达到峰值后,相对于石灰土,曲线下降相对缓慢;相对于纤维土,轴向应力得到明显的提高。可以看出,在加入纤维素纤维和石灰粉后,充分发挥出两种材料的特点,土的抗压强度得到提高,脆性降低,残余强度增加。纤维掺入石灰土后,在碳酸钙的胶结作用,纤维土在土体中形成一种空间“网状结构”,对土颗粒的变形和位移产生约束,增加了土体的结构强度;同时石灰土的密实度也极大地提高了纤维在土体中的抗拉能力,使纤维能够承担起土样在复杂应力作用下的很大一部分拉应力,延缓了裂缝的发展和防止整个结构的瞬间破坏,从而改善了石灰土的脆性破坏模式,并表现出较高的残余强度。

4 结 论

(1)石灰粉能够有效提高上海黏土的抗压强度,且随着养护龄期的增加而增加;但提高了土体的脆性。

(2)纤维素纤维对提高上海黏土的抗压强度效果不明显,但提高了土体的延性。

(3)纤维素纤维和石灰粉共同作用时,能够有效的提高上海黏土的抗压强度,且随着养护龄期的增加而增加,与石灰土相比脆性降低,延性增加;与纤维土相比强度明显提高。

(4)当土中加入0.8%纤维素纤维、10%石灰粉时,土的抗压强度最高,并且在养护龄期为28 d时达到最大值。

从上述的结论可以看出,将纤维素纤维、石灰粉掺入到黏土中可以较好地改善黏土的工程性质,明显提高了上海黏土的抗压强度,因而从试验研究上

来讲,该改良方法是行之有效的。但是,作为一种改良方法,它的工程可行性(如工程造价和施工工艺等问题)还需要进行系统的研究,所以本论文只是提供了提高上海黏性土强度的办法,希望起到一定的参考作用。

参考文献:

- [1] 严学新,史玉金.上海市工程地质结构特征[J].上海地质,2006,27(4):19-24.
- [2] 李 晓.上海地区晚新生代地层划分与沉积环境演化[J].上海地质,2009,30(1):1-7.
- [3] 周学明,袁朗英,蔡坚强,等.上海地区软土分布特征及软土地基变形实例浅析[J].上海地质,2005(4):6-9+61.
- [4] 唐朝生,施 斌,高 玮.聚丙烯纤维和水泥对黏性土强度的影响及机理研究[J].工程地质学报,2007,15(1):108-113.
- [5] Khattak M J, Alrashidi M. Durability and mechanistic characteristics of fiber reinforced soil - cement mixtures [J]. International Journal of Pavement Engineering,2006,7(1):53-62.
- [6] 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.
- [7] 璩继立,赵冬雪,李贝贝.加筋条件对棕榈加筋土强度的影响[J].工业建筑,2015,45(3):115-119+129.
- [8] 刘宝生,唐朝生,李 建,等.纤维加筋土工程性质进展研究[J].工程地质学报,2013,21(4):540-547.
- [9] 包承纲,丁金华.纤维加筋土的研究和工程应用[J].土工基础,2012,26(1):80-83.
- [10] 交通部公路科学研究院.JTGE40-2007公路土工试验规程[S].北京:人民交通出版社,2007.
- [11] 张瑞敏,王晓燕,柴寿喜.稻草加筋土和麦秸秆加筋土的无侧限抗压强度比较[J].天津城市建设学院学报,2011,17(4):232-235.