

掺纤维固化土强度变化的研究^{*}

闫宁霞, 姜宗科

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 以杨凌黄土为供试对象, 测定了不同固化剂用量和不同聚丙烯纤维掺量对固化土抗压强度的影响。结果表明, 掺加聚丙烯纤维能够显著提高固化土的抗压强度, 当固化剂掺量为1:8、纤维掺量为0.9 kg/m³时, 固化土的28 d 抗压强度最高, 较同条件下不掺纤维的固化土强度提高29%。经济性分析表明, 该配比固化土较同配比水泥土具有更高的经济效益。

[关键词] 杨凌黄土; 固化剂; 聚丙烯纤维; 水泥土; 抗压强度

[中图分类号] TU 432; TU 58⁺ 1.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)08-0146-03

土壤固化剂以自然土体为固结对象, 在常温下能将土壤颗粒表面黏结并与颗粒中的铝硅酸盐矿物发生化学反应生成胶凝物质^[1-2], 与传统的石灰土和水泥土相比, 其具有更高的强度和水稳定性, 从而被大量应用于水利、交通、环境、港口、机场等基础设施的建设中^[3-4]。许多研究和应用实践^[5-6]表明, 以固化土作为渠道衬砌材料, 具有就地取材、减少砂石用量、无环境污染、节省工程造价等优点, 表现出良好的应用前景, 引起人们越来越多的关注, 并成为当前的研究热点。然而, 天然土体自身活性差、塑性收缩大, 将其作为现场铺筑的渠道护面材料时, 衬砌体强度低, 容易发生龟裂, 如何提高固化土的强度, 防止发生收缩裂缝, 已经成为固化土应用研究中急需解决的主要问题之一。

改性处理的聚丙烯纤维与水泥具有良好的粘结力和分散性, 在混凝土或砂浆中掺入纤维, 可大大提高其抗裂防渗性能, 有效增强混凝土韧性, 明显减少混凝土塑性收缩引起的裂缝^[7-8]。土壤固化剂与水泥具有比较相似的组成结构, 在固化土中掺入聚丙烯纤维则有可能提高固化土的力学性能和抗裂能力。为此, 本试验以我国分布极为广泛的黄土为对象, 研究掺入聚丙烯纤维后固化土抗压强度的变化规律, 以期对固化土的工程应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材 料

试验用土为杨凌黄土, 其流限 $W_L = 32\%$, 塑限

$W_P = 17.25\%$, 塑性指数 $I_P = 14.75$, 标准击实后测得素土最大干密度为 1.663 g/cm^3 , 最优含水率 19.2% ; 固化剂采用河南产的高强、高耐水土体固结剂 HEC (High Strength & Water Stability Earth Consolidator), 其凝结时间、安定性等技术性质均符合现行国家标准的规定; 聚丙烯纤维为白色、半透明、束状单丝, $L = 16 \text{ mm}$, 抗拉强度 286 MPa , 密度 0.9 g/cm^3 , 拉伸极限 12% , 不吸水, 对皮肤无刺激; 水为地下饮用水。

1.2 方 法

1.2.1 试验设计 根据以往的试验结果, 选取聚丙烯纤维掺量和固化剂用量(用掺入比表示, 即固化剂与素土的质量比)为试验因素, 以抗压强度为考核指标。试验分两批进行, 第一批试验固定固化剂用量为1:8, 聚丙烯纤维掺量设0, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5 kg/m³ 8个处理水平, 分别以 $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7$ 和 N_8 表示。同时, 将其结果与同配比水泥土(CK)的试验结果进行比较, 目的在于考察纤维掺量对固化土力学特性的影响规律。在第一批试验的基础上, 固定纤维掺量, 变化固化剂用量, 分别以 N_9, N_{10}, N_{11} 表示固化剂用量为1:6, 1:8和1:10, 考察纤维掺量和固化剂用量的适应性。

1.2.2 试件制作 制作试件前, 按照标准的击实试验方法, 确定各配比时固化土的最大干密度和最优含水量。根据试模尺寸和预定的干密度称取每个试件所需的固化土用量。按照《固化类路面基层和底基

^{*} [收稿日期] 2006-02-15

[基金项目] 国家“863”节水重大专项(2002AA 2Z4211); 西北农林科技大学科研专项(042M 075)

[作者简介] 闫宁霞(1965-), 女, 陕西杨凌人, 讲师, 在读硕士, 主要从事材料力学性能研究。

层技术规程》(CJJ/T 80-89)的要求,采用静压法分2次将固化土装入试模。试件从试模内脱出后,立即放入密封的湿气箱内进行保温保湿养生。整个养生期间的温度严格控制在20~25℃,养生龄期28 d。

2 结果与分析

2.1 纤维掺量对固化土抗压强度的影响

从表1可知,所有掺纤维的固化土强度均较水泥土(CK)的强度高。随着纤维掺量的增加,固化土28 d抗压强度表现出先升后降的变化趋势,在纤维掺量为0.9 kg/m³时出现了峰值5.95 MPa,较不掺

纤维的固化土强度提高了29%。当纤维掺量小于0.9 kg/m³时,随着纤维掺量增加,固化土28 d抗压强度在不断增大,且增长幅度越来越高;而当纤维掺量超过0.9 kg/m³后,随着纤维掺量的增加,固化土28 d抗压强度又在不断减小,且降幅越来越大。特别是纤维掺量达到1.5 kg/m³时,固化土的强度反而比不掺纤维时还低。这可能是由于纤维掺量过大时,纤维本身在固化土中分散不够均匀,固化剂难以对其很好粘着,从而导致其强度降低。

表1 纤维掺量对固化土抗压强度的影响

Table 1 Effect of compressive strength on fiber amount

编号 Number	纤维掺量/(kg·m ⁻³) Fiber amount	固化剂掺量 Stabilizer amount	28 d 抗压强度/MPa Compressive strength	强度增幅/% Increasing rate
N ₁	0	1:8	4.61	0/7.5
N ₂	0.3	1:8	4.79	3.9/11.9
N ₃	0.5	1:8	4.90	6.3/14.2
N ₄	0.7	1:8	5.09	10.4/18.6
N ₅	0.9	1:8	5.95	29.0/38.7
N ₆	1.1	1:8	5.93	28.6/38.2
N ₇	1.3	1:8	5.47	18.6/27.5
N ₈	1.5	1:8	4.50	-2.4/4.9
CK	0.9	1:8	4.29	

注:① CK的固化剂为水泥,表2同;② 强度增幅中斜线左侧是以N₁(纤维掺量为0,固化剂为HEC)为基准的结果,斜线右侧是以CK(纤维掺量为0,固化剂为水泥)为基准的结果。

Notes: ① The stabilizer of CK is cement; ② In the increasing rate, the left results was based on N₁, the right results was based on CK.

以上分析表明,在固化土中掺加聚丙烯纤维可以大幅度提高其抗压强度,是改善固化土力学特性的重要途径,但纤维的适宜掺量应根据给定的条件通过试验确定,不可随意提高。对本试验供试的杨凌黄土而言,聚丙烯纤维的适宜掺量为0.9 kg/m³。

2.2 固化剂掺量对固化土抗压强度的影响

由表2可见,在掺用0.9 kg/m³聚丙烯纤维的条

件下,随着固化剂用量的减小,固化土3 d抗压强度也在不断减小。固化剂用量为1:6时固化土强度最高,1:8时次之,1:10时最小,但相差不大。而固化剂掺量为1:8的水泥土与1:8的固化土相比,二者3 d抗压强度相差更小,以固化土略高。以上结果说明,固化剂品种对固化土早期强度影响不大,要提高固化土的早期强度,必须加大固化剂的掺量。

表2 固化剂掺量对固化土抗压强度的影响

Table 2 Effect of compressive strength on stabilizer content

编号 Number	纤维掺量/(kg·m ⁻³) Fiber amount	固化剂掺量 Stabilizer amount	3 d 抗压强度/MPa Compressive strength	28 d 抗压强度/MPa Compressive strength	强度增幅/% Increasing rate
N ₉	0.9	1:6	2.15	5.08	18.4
N ₁₀	0.9	1:8	1.86	5.95	38.7
N ₁₁	0.9	1:10	1.62	4.56	6.6
CK	0.9	1:8	1.73	4.29	

随着固化剂用量的增大,固化土28 d抗压强度先升后降。当固化剂用量为1:8时,固化土强度最高,达到了5.95 MPa,较同配比的水泥土强度提高

了38.7%。固化剂对土壤后期的固化效果明显优于水泥,要使土壤达到相同的强度,所需的固化剂用量必然小于所需的水泥用量。当固化剂用量小于1:8

时,固化土的强度不断增大;当固化剂用量超过1:8时,固化土的强度反而下降。这说明并不是固化剂的掺量越多,对土壤的固化效果就越好。对选定的供试土壤,实际工作中应当通过试验确定固化剂掺入量。对杨凌黄土而言,固化剂掺量以1:8最佳。

2.3 经济性分析

将强度最高的第5号配比(聚丙烯纤维掺量0.9

kg/m^3 ,固化剂用量为1:8)和水泥土各取单位体积(1 m^3),对其造价进行分析比较,结果见表3。由表3可知,虽然新型土壤固化剂HEC的价格远高于水泥,但由于固化剂与自然土体粘结能力强,固化土的28 d抗压强度大于相应龄期的水泥土,因而其产投比大于水泥土。由此可见,采用新型土壤固化剂和聚丙烯纤维固化土体是可行的,也是经济合理的。

表3 纤维固化土与水泥土单位体积造价比较

Table 3 Cost comparison of polypropylene fiber solid soil and cement stabilized soil

序号 Number	固化剂种类 Stabilizer	纤维掺量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) Fiber amount	固化剂掺量 Stabilizer amount	28 d 抗压强度/ MPa Compressive strength	造价/元 Cost	产投比 Producing rate
N5	HEC	0.9	1:8	5.95	130.19	0.046
CK	水泥 Cement	0.9	1:8	4.29	120.17	0.036

注:产投比=抗压强度/造价。

Note: The producing rate is the compressive strength on cost

3 结论与讨论

1)在一定范围内,掺用聚丙烯纤维可明显提高固化土的抗压强度。对试验所用的杨凌黄土,当纤维掺量为0~0.9 kg/m^3 时,固化土强度不断增大;当纤维掺量为0.9~1.5 kg/m^3 时,固化土强度不断减小;掺用0.9 kg/m^3 聚丙烯纤维时,固化土强度较不

掺纤维的固化土提高了29%。实际工程中,纤维掺量的最优值应通过试验确定。

2)同配比条件下,固化土强度高于水泥土强度。固化剂用量并非越多越好,存在最优掺量。对选定的供试杨凌黄土,固化剂用量宜为1:8。

3)采用新型土壤固化剂和聚丙烯纤维固化自然土体是合理可行的,较水泥土有更高的投资效益。

[参考文献]

- [1] 何真,梁文泉,李亚杰.土体固结剂(HEC)固化三峡工程弃渣试验[J].人民长江,1999,30(7):4-6
- [2] 王鸣真.土壤固化剂在水利工程中的应用[J].东北水利水电,1997(5):35-39
- [3] 侯瑜京,邓艳.土壤固化技术及其应用实例[J].中国水利水电科学研究院学报,2001,5(1):88-94
- [4] 刘凤梧,董峰亮,李栋梁.土壤固化剂在道路基层中的应用[J].市政技术,2003,21(5):308-309
- [5] 刘惠忠,贾文春.土壤固化剂在渠道防渗中的开发应用[J].内蒙古水利,2001(2):31-32
- [6] 朱步祥,王慧,冉建新.土壤固化剂在葛沟灌区节水改造工程中的应用[J].水利水电科技进展,2002,22(1):41-43
- [7] 王罡,潘江津,张胜利,等.国家大剧院工程C30P16纤维混凝土的研制与应用[J].建筑技术,2004,35(2):116-118
- [8] 陈弘.聚丙烯纤维在混凝土抗裂中的应用[J].新型建筑材料,2002(6):7-8

Study on strength variation of the mixed polypropylene fiber solid soil

YAN Ning-xia, LOU Zong-ke

(College of Water resource and Architecture Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effect of stabilizer amount and fiber amount on compressive strength was studied. The results suggested that fiber content deeply influenced the characteristics of stabilized soil, an addition of 1:8 stabilizer amount, 0.9 g/m^3 fiber amount produced the highest compressive strength. The increase rate of compressive strength was 29% for stabilized soil. The economic value of the mixed polypropylene fiber solid soil were higher than cement-stabilized soil.

Key words: Yangling loess; stabilizer; polypropylene fiber; cement-stabilized soil; compressive strength