

纤维对石灰改良膨胀土性质的影响分析

李治朋^{1,2} 张宇亭^{1,2} 马希磊^{1,2}

(1 交通部天津水运工程科学研究所, 天津 300456; 2 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部
重点实验室, 江苏南京 210098)

【摘要】 首先对膨胀土基本性质做了试验分析, 通过天然膨胀土和掺入纤维前后的石灰土的击实试验, 得出了掺入少量纤维对石灰土的最优含水率和最大干密度影响很小。通过有荷膨胀率试验, 得出了纤维能够抑制石灰土的膨胀性, 纤维掺入量在 0.05%~0.1% 之间时, 线膨胀率随纤维掺入量的增多而降低显著, 在 0.1%~0.2% 之间时降低幅度减小。由无侧限抗压强度试验和承载比试验, 得出了纤维加筋能够提高石灰土的强度, 并干湿循环试验评价了该法的可行性。

【关键词】 纤维; 石灰; 膨胀土; 膨胀率; 强度; 加筋

【中图分类号】 TU 433

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2011.04.013

Analysis on the Impact of Fibers on the Property of Expansive Soil Reinforced with Lime

LI Zhipeng, Zhang Yuting, Ma Xilei

(1 Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

【Abstract】 The researcher first did experimental analysis on the basic property of expansive soil, and the compaction test on natural expansive soil and on lime soil with and without fibers. The conclusion is that the lime soil with a small quantity of fibers has little effect on optimum moisture content and the maximum dry density. According to the linear swelling ratio experiment, the researcher concludes that fibers can retain the expansion of the lime. The linear expansion rate decreases remarkably with the increasing of the mixing amount of fibers between 0.05%—0.1%, but slightly between 0.1%—0.2%. With the unconfined compaction test and CBR (California Bearing Ratio), fibers which are reinforced can increase the compressive press of the lime, and the practicability of the above method is evaluated in this paper.

【Key words】 fibers; lime; expansive soil; expansion rate; compressive press; reinforce

0 引言

天然膨胀土粘性高, 当平均含水率降至最优含水率附近时, 塑性指数大, 又由于天然膨胀土都是成大块状的, 含水率高, 外力不易破碎, 土块表面含水率低于塑限, 失去粘性, 因而碾压不能成型。如果仅掺入纤维, 是无法搅拌均匀的, 即仅用纤维加筋改良膨胀土在施工上是不现实的^[1-2]。

已有大量试验和实践证明, 将天然膨胀土掺入少量生石灰能够大幅度降低膨胀土膨胀性, 同时可以降低膨胀土粘性, 使大块状的自然膨胀土砂化, 降低土块表面含水率, 易于破碎, 利于碾压, 便于施工。我们将生石灰的这种作用称为对膨胀土的砂

化^[3-5]。同时这种方法也得到了实践的印证, 如宁淮高速公路路基处理工程和南水北调东线江苏段工程等, 都采用了生石灰对膨胀土进行改良和处理。

本文采用 2% 生石灰进行砂化, 掺入纤维加筋, 进一步抑制膨胀土膨胀性和提高其强度, 从而达到改良膨胀土效果。下面主要通过室内试验分析纤维加筋对石灰改良膨胀土性质的影响, 并作了可行性分析^[5-9]。

1 试验说明

本文试验用土取自宁淮高速公路淮安路段洪泽县境内下高速 1000 m 左右的出口处, 天然土样颜色呈黄褐色。土样的基本物理性质见表 1。试验标准

采用《土工试验方法标准》^[10]。

纤维采用聚丙烯单丝纤维,颜色为白色,长为9 mm,直径100 μm ,与土混合时,成束纤维被撕开,纤维细而多,能够与土体形成良好的接触。聚丙烯纤维是最常用的复合材料,用以提高混凝土和土的强度。这种材料价格低廉,强度高,韧性好,亲水性差,化学性质稳定,不易吸水或与水反应,不易发生渗漏^[11]。

表1 天然土样的室内试验成果表

液限/%	塑限/%	塑性指数	最优含水率 ω /%	最大干密度 ρ_d /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	自由膨胀率/%
54.8	26.8	28	16.4	1.806	69

1.1 土样制备

将土样中的礞石挑拣出来,土样保持天然含水率25%左右,密闭一昼夜并测定土样的含水率 ω ;干土的质量按 $m/(1+\omega)$ 计算,掺2%生石灰;将配好的土样放在塑料袋里焖料7 d;掺灰土样在室外风干至含水率10%左右,用木槌将土样敲碎过2 mm筛,并取代表性土样测定含水率。

将纤维掺入石灰土中,纤维掺入量分别为0.05%、0.1%和0.2%三种,最后配制成试验所需要的土样含水率。

1.2 击实试验

试样是采用质量控制法制得。要获得石灰土以及纤维加筋后的石灰土的最大干密度和最优含水量,笔者做了2%生石灰、2%生石灰+0.1%纤维和2%生石灰+0.2%纤维的击实试验,试验成果见图1和表2。

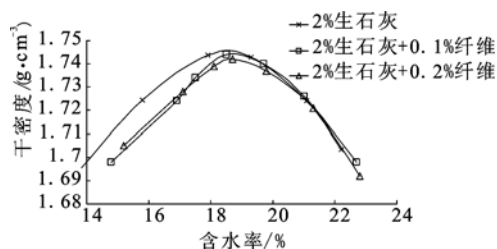


图1 不同纤维掺量的击实曲线

表2 不同土样的最大干密度和最优含水率

	素土	2%石灰土	2%生石灰+0.1%纤维	2%生石灰+0.2%纤维
最优含水率/%	16.4	18.6	18.7	18.6
最大干密度 ρ_d /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.806	1.747	1.744	1.742

由表2可以看出,天然土样加入生石灰后最大

干密度减小,最优含水率增大了2%左右;掺入少量纤维时,对最大干密度和最优含水量影响较小,但随纤维的掺入,最大干密度有减小的趋势。

本文试验的制样是采用质量控制法,最优含水率和最大干密度都按石灰土取值,分别取18.6%和1.747 g/cm^3 。

2 试样制备及试验操作方法

试样制备采用质量控制法,制样含水率为最优含水率18.6%,压实度分别取90%、93%和96%,只干湿循环试验的试样压实度为93%。有荷膨胀率试样为环刀样,无侧限抗压强度试样尺寸50 mm \times 50 mm,承载比试样尺寸120 mm \times 152 mm。制样完成后,环刀样放在制样剩下的土样中,上表面覆盖潮沙,养护28 d,无侧限抗压强度试样和承载比试样放置在地下室潮沙中养护28 d,养护期间尽量保持试样含水率不变。

做有荷膨胀率试验前一天,把放置在试样顶面和底面上的透水石放进土样袋中与环刀样一起密闭24 h,让透水石的含水率与试样含水率一致,试验仪器为固结仪;无侧限抗压强度试样在养护龄期前一天进行饱水24 h进行试验;承载比试样到龄期时,把试样放入水中,保持水面高于试样顶面2.5 cm,试样上表面放上内径与圆筒内径相同的总重5 kg的圆形荷载块,浸泡4昼夜后,取出试样,放在贯入仪上,进行贯入试验。

3 试验成果分析

3.1 有荷膨胀率试验

由图2—图4可以看出,纤维加筋后的石灰土比石灰土的线膨胀率以及膨胀力小。随着上覆压力的增大,4条曲线越来越接近,这点可由下文的加筋土强度较高来解释。0.2%和0.1%纤维掺量的改良效果比0.05%纤维掺量的更好,但纤维掺入量在0.05%~0.1%之间时,线膨胀率随纤维掺入量的增多而降低显著,在0.1%~0.2%之间时降低幅度有所减小,直到两者曲线相互接近。

图5可以看出胀缩总率随压实度增大而增大,在96%压实度下,石灰土、0.05%、0.1%和0.2%纤维掺量的改良土的胀缩总率分别为0.825%、0.686%、0.467%和0.403%。纤维掺量为0.1%和0.2%时的改良效果明显,远小于0.7%,满足规范要求的改良膨胀土作为填土的要求。

石灰在土中通过离子交换,明显减小土颗粒的亲水性,使土体吸水量明显减小,且吸水后体积基本不再膨胀。而纤维能够抑制膨胀土膨胀性可作如下

分析,假定纤维土在 H 深度时土层由于上覆土压力不发生膨胀,不妨将膨胀土地基从 H 处由下往上层,层厚为 ΔH ,共分 N 层,需知第 0 层土是不发生膨胀的,当第 1 层土体要发生膨胀时,由于层间纤维的连结,必然受到第 0 层土体的牵制,依次类推,下一层土体都受上层土体约束,这种层层连锁制约的结果,就可使膨胀土地基不产生膨胀变形,或者变形大大减小。这类似于铁路无缝钢轨的锁定原理,只要保持每段不动,就可以保证整体不动,从而起到控制变形的作用。从而认为,纤维加筋有抑制膨胀土膨胀性的效果。

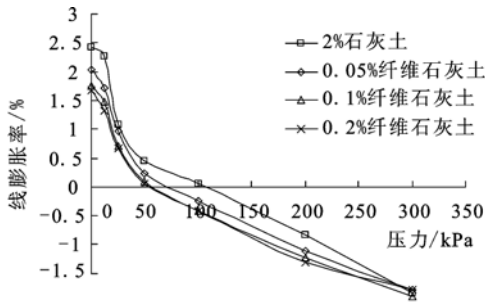


图 2 90%压实度下线膨胀率与上覆压力关系曲线

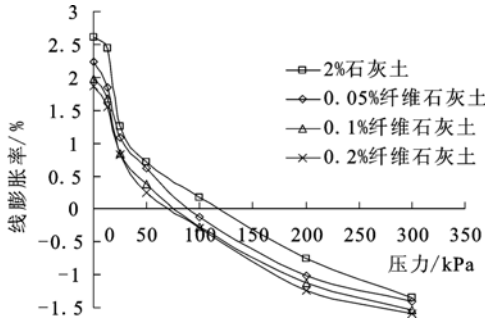


图 3 93%压实度下线膨胀率与上覆压力关系曲线

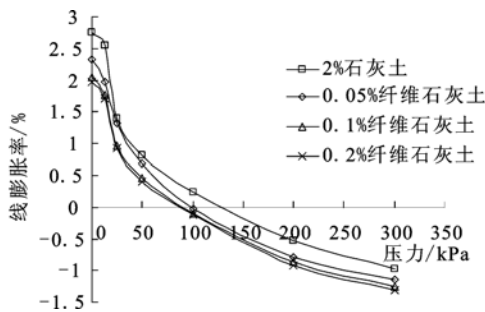


图 4 96%压实度下线膨胀率与上覆压力关系曲线

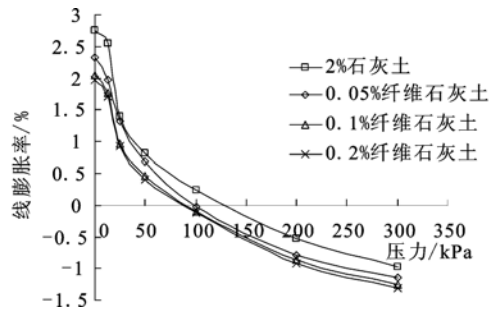


图 5 胀缩总率与压实度关系

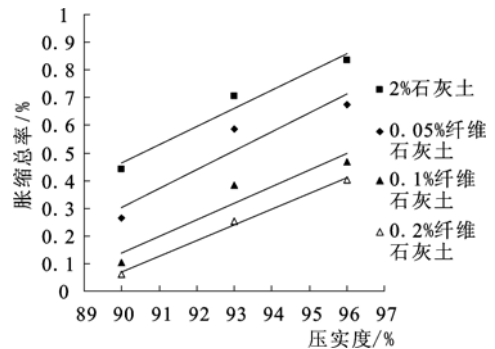


图 6 无侧限抗压强度与纤维掺入量关系

表 3 不同土样在不同压实度下的 CBR 强度/%

土类	压 实 度		
	90%	93%	96%
素土	3.1	3.7	4.1
石灰土	36.2	39.8	44.3
0.05%纤维石灰土	38.5	42.9	46.2
0.1%纤维石灰土	42.7	48.6	51.9
0.2%纤维石灰土	48.5	53.3	58.8

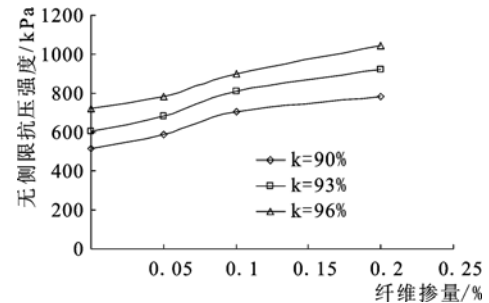


图 7 无侧限抗压强度与干湿循环次数的关系

3.2 强度试验

由图6可以看出,随着纤维的掺入,无侧限抗压强度有较大提高。同时,无侧限抗压强度随压实度的增大而增大,三条曲线接近平行,说明压实度对无侧限抗压强度影响较为平均,在96%压实度下,石灰土、0.05%、0.1%和0.2%纤维掺量的加筋土无侧限抗压强度分别为718.0、782.3、897.6和1042.8 kPa。

由表3知道,石灰土与纤维加筋土CBR值远大于素土,CBR值随着石灰土中纤维的掺入显著增大,随压实度的增大而增大。

素土试样经过4昼夜水中浸泡,土样吸水产生大量膨胀,土体中孔隙增大,土体结构遭到破坏,强度大幅度降低。纤维加筋石灰土强度的显著提高主要是因为纤维的加筋作用,加之石灰产生的胶结作用,膨胀量很小,土体结构影响较小,从而使改良土的CBR强度较之素土得到显著提升。

3.3 干湿循环对无侧限抗压强度的影响

为了研究纤维加筋石灰土在干湿循环过程中其工程特性的变化情况,验证其实际的可靠性,在室内模拟进行了干湿循环的变化对改良膨胀土的工程特性的试验研究。

试样从初始质量将试样放入与室温相同的水中浸泡48h让其充分吸水,然后把试样拿出放于阴凉处自然风干至初始质量(制样质量),再密闭24h使试样含水率均匀,至此完成一次干湿循环。

那么,由图7可以看出,随着干湿循环次数的增加,石灰土和纤维加筋土的无侧限抗压强度下降,强度降低主要发生在前3次干湿循环。经过3次干湿循环基本稳定的无侧限抗压强度仍然较高,0.1%和0.2%纤维掺量的强度仍在600kPa以上,较之石灰土仍然有所提高。强度降低主要发生在前3次干湿循环中,最初几次干湿循环时,强度变化较大,这可能是因为土体结构受干湿状态的影响,导致了土体的内部结构发生反复变化,随着干湿循环的增加,其结构变化速度减缓,强度的变化速度也有所减小,有逐步变小的趋势,但基本稳定。

4 结论

1) 膨胀土经过2%生石灰砂化后,最大干密度较天然地基土减小,最优含水率增大了2%左右,而石灰土掺入少量(如0.2%以内)纤维时,不影响其

击实特性。

2) 纤维掺入石灰土中能够进一步降低土体膨胀性,使线膨胀率及膨胀力进一步减小;同时能够提高土体强度;胀缩总率随压实度的增大而增大。经比较,得到纤维掺入量在0.1%~0.2%时,抑制膨胀性效果最佳,强度则随纤维量的增加而提高。

3) 纤维加筋石灰土在前3次干湿循环中强度折减最大,而后逐渐趋于稳定,0.1%和0.2%纤维掺量的无侧限抗压强度经过14次干湿循环仍在600kPa以上。

4) 石灰和纤维同时使用,通过试验得出,改良后的土体能够很好的作为填料,效果较为理想,但还有待于实践去证明,还需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 王保田,张福海. 膨胀土的改良技术与工程应用[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [2] 李治朋. 纤维改善石灰改良膨胀土性质试验研究[D]. 南京:河海大学,2010.
- [3] 丁万涛. 加筋膨胀土强度特性研究[D]. 西安:长安大学,2002.
- [4] 亓军强. 高速公路路基膨胀土纤维加固试验研究[D]. 南京:南京大学,2003.
- [5] 雷胜友,丁万涛. 加筋纤维抑制膨胀土膨胀性的试验[A]. 岩土工程学报,2005,27(4):482-485.
- [6] 张旭东,战永亮,张艳美. 纤维土强度特性的试验研究[J]. 路基工程,2001(1)期.
- [7] 土工试验方法标准[S]. 北京:中国计划出版社,1999.
- [8] Al Wahab, R. M. and M. A. El-Kedrah. Rsing Fibers to Reduce Tension Cracks and Shrink/Swell in a Compacted Clay[J], Geoenvironment 2000, ASCE Geotechnical Special Publication. 1995 (46):791-805.
- [9] Maher M. H., and Y. C. Ho. Mechanical Properties of Kaolinite/Fiber Soil Composite [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1994, (120):1381-1393.
- [10] Nataraj, M. S. and K. L. McManis. Strength and Deformation Properties of Soil Reinforced with Fibrillated Fibers[J], Geosynthetics International, 1997, 4 (1): 65-79.
- [11] 潘 军,王 楨. 纤维土的发展及其在膨胀土中的应用[J]. 路基工程,1996(5):12-15.

收稿日期:2011-05-16