

使用 CTMAB 改良剂改良天然膨胀土的试验研究

王保田^{1,2}, 任 鹄^{1,2}, 张福海^{1,2}, 施建坤³

(1.河海大学 岩土工程水利部重点实验室, 南京 210098; 2.河海大学 岩土工程科学研究所, 南京 210098;
3.南京河川建设工程有限公司, 南京 210000)

摘 要: CTMAB 是一种新型的有机阳离子表面活性剂, 采用 CTMAB 对天然膨胀土进行了化学改良试验研究, 探讨了其改良机制和改良效果。试验结果表明: 经过改良剂改良后的膨胀土与原状土相比, 其塑性和膨胀性得到了明显降低, 水稳定性有了显著提高, 在经过不同次数的反复溶离后, 土样仍具有一定的强度。说明了 CTMAB 对膨胀土的工程性质有一定的改善作用。该成果已申请获得了国家发明专利。

关 键 词: 膨胀土; CTMAB 改良剂; 试验研究

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Experimental research on stabilizing expansive soil by CTMAB

WANG Bao-tian^{1,2}, REN Ao^{1,2}, ZHANG Fu-hai^{1,2}, SHI Jian-kun³

(1.Key Laboratory for Geotechnical Engineering of Ministry of Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2.Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3.River Construction Engineering Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: CTMAB is a new organic cationic surfactant. A chemical improved experiment is based on CTMAB towards to the natural expansive soil; and the improved mechanism and effect are studied. The result shows that the plasticity and expansibility of stabilized expansive soil decrease significantly compared with plain soil; and its water stability increases obviously. Soil samples remain enough strength after repeated dissolution different times, which indicates that CTMAB can effectly improve the engineering properties of expansive soil. The achievement patent has been authorized.

Key words: expansive soil; CTMAB improver; experimental study

1 引 言

膨胀土是一类具有吸水显著膨胀软化和失水急剧收缩硬裂的特殊黏性土, 它是在长期自然地质历史作用过程中形成的地质体^[1]。膨胀土胀缩引起建筑物的破坏常常具有多次反复性和长期潜在的危害性, 会给人类造成灾害。膨胀土改良的常用方法有: 换土、喷射桩和化学固化等, 其中化学固化因具有较好的性价比而受到人们广泛重视^[2]。目前, 化学固化的主要方法有掺石灰、水泥、粉煤灰、氯化钠、氯化钙和磷酸等^[3-4]。这些方法只适合于小范围的治理, 不能适用于膨胀土地区的大面积使用, 尤其是对高边坡、高路堤这样的长大土工构筑物, 无论是从处理方法上, 还是从技术成本上讲都不合适。

对于膨胀土填土边坡的填料, 可以通过掺加石灰的方法加以改良。而对于天然膨胀土边坡, 由于自然条件复杂, 挖填施工难以开展, 不能像填土边坡一样通过掺加石灰的方法来改良。同时由于石灰的溶解性较差, 石灰水中氢氧化钙的溶解量较小, 石灰水改良的效果不佳, 所以有必要寻找一种可溶于水的改良剂通过渗透改良的方法来改良膨胀土边坡表面的土性, 以抵抗风化和雨水冲刷等不良气候条件, 维持边坡的稳定性。为此, 作者采用了一种高效膨胀土改良剂 CTMAB, 对膨胀土进行改良, 并对改良前后土体的物理力学性质进行了相关试验研究, 得到了一系列的规律性试验结果。

2 CTMAB 的改良机制

膨胀土主要是由黏粒及胶粒组成的多相分散

体系,它具有较大的比表面积,并且具有较大的表面能,这使得土粒胶体的吸附、水化、凝聚、分散等一系列固有的表面性质决定着土的整个性质,因此膨胀土的改良主要是用化学、物理的手段来改变膨胀土表面的性质。

CTMAB 为阳离子型表面活性剂,由于土颗粒较小,并且具有较大的比表面能,具有较强的吸附能力,而 CTMAB 表面活性剂表面张力小,它能够在土体表面铺展开。加入 CTMAB 是利用表面活性剂的长碳链所具有的疏水性,使黏土由亲水性表面转变为疏水性表面,同时 CTMAB 阳离子进入层间后,以胶束状态存在于层间,使得膨胀土的层间距增大,但使部分小孔被堵塞,因此,造成膨胀土比表面减小,从而膨胀性就得以减弱^[6-7],同时 CTMAB 阳离子中和了部分土颗粒表面的负电荷,土体表面的负电荷量降低,土粒周围形成的静电引力场影响范围也降低,当土粒与孔隙中的水接触时形成的水化膜厚度也变薄,膨胀特性将得到减弱。

3 试验方案及试验过程

3.1 试验方案和试样制备

膨胀土填料改良和天然膨胀土边坡改良的主要差异为改良剂的掺加方式不一样,对于膨胀土填料可以直接将改良剂尽可能均匀地拌和在膨胀土中,而在天然地基改良施工中,除表层土体可以通过翻松后再喷洒改良剂外,深层土体的改良只能通过改良剂溶液慢慢渗入深层土体孔隙中来达到改良天然膨胀土地基的目的。改良效果依赖于改良剂要有良好的渗透性,而影响 CTMAB 改良剂渗透性的主要因素是溶解 CTMAB 的溶剂的渗透性。因此本试验方案拟研究使用饱和石灰水作为溶剂的 CTMAB (石灰水)改良剂溶液渗透改良原状膨胀土的效果,研究改良剂溶液在土体中的渗透能够达到的深度和不同深度处的改良效果。

(1) CTMAB (石灰水)改良剂溶液的配制

CTMAB (石灰水)改良剂溶液的配比为 CTMAB:Ca(OH)₂:H₂O=1:0.2:100。试验用水为自来水。配制时首先按 0.2:100 的比例配好饱和石灰水,然后加入对应比例的 CTMAB 溶液,进行充分搅拌,形成 CTMAB (石灰水)改良剂溶液。

(2) 试样制备方法

将试验土料风干,直至含水率降到 8 % 左右为止,碾碎全部过 5 mm 的筛并测定土的含水率;选用如图 1 所示的有机玻璃圆筒(高为 60 cm,直径为 15 cm),

将按照天然土的密实状态和含水率将素土放入筒中分层压实(压实度:85 %,含水率:23 %)。经计算,试样的初始饱和度为 65 %,设计喷洒完成后饱和度为 85 %,所需加水 1 030 ml。每次喷洒改良剂溶液 200 ml (间隔 1 d 进行下一次喷洒),共 5 次,最后一次喷洒完成 7 d 以后,分别在土柱高度的 20 cm 和 60 cm 处取土,制备试样,试样尺寸分别为 ϕ 3.91 cm $\times$ 8.1 cm (用于无侧限抗压强度试验用)和 ϕ 6.24 cm $\times$ 2.0 cm (用于无荷膨胀率的测定)。并将制备好的试样置于室内风干至最优含水率 22 % 左右。

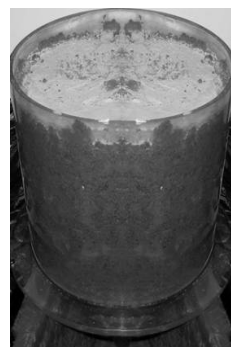


图 1 渗透改良膨胀土试验装置
Fig.1 Permeability tester of stabilized expansive soil

3.2 试验成果分析

3.2.1 界限含水率试验

在样筒中不同深度取出经过 CTMAB 改良的土样进行界限含水率试验,其试验成果见表 1。从表可以看出,经 CTMAB 在表面渗入改良后,整个土体的液限和塑限都有明显的变化,随着取土深度的增加改良效果略有下降,总体上经改良后的膨胀土的塑性指数有所降低,这说明在经过添加改良剂改良后,土颗粒的亲水性变弱。

表 1 改良前后土体的液塑限的变化情况

Table 1 Changes of liquid and plastic limits pre- and post-soil stabilization

试验项目	液限/%	塑限/%	塑性指数
素土	56.4	22.4	34.0
取土深度 20 cm	55.1	28.6	26.5
取土深度 60 cm	56.7	25.6	31.5

3.2.2 自由膨胀率试验

在样筒中不同深度取出经过 CTMAB 改良的土样进行自由膨胀率试验,其试验成果见表 2。由表可见:自由膨胀率随着深度的增加呈上升趋势,但改良后处土体的自由膨胀率均降低至 40 % 以下,已

低于《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112—87)中规定的膨胀土的判别标准:膨胀土的自由膨胀率 $\geq 40\%$ 。

表 2 改良前后土体的自由膨胀率的变化情况
Table 2 Changes of free swelling ratio pre- and post-soil stabilization

试验项目	素土	取土深度/cm	
		20	60
自由膨胀率/%	66	29	34

3.2.3 改良土的水稳定性

干湿循环过程中,在样筒中不同深度取出经过 CTMAB 改良的土样进行无荷膨胀率试验,其试验成果见图 2。由图可见,随着干湿循环的发展,素土和改良土的相对膨胀率呈下降的趋势。素土的无荷膨胀率在 3 次干湿循环后趋于稳定,而经过渗透改良后的土体在一次干湿循环后就趋于稳定了,且其相对膨胀率只有素土相对膨胀率的一半左右。这说明经过 CTMAB(石灰水)改良剂改良后土体的变形性质有了明显的改善。

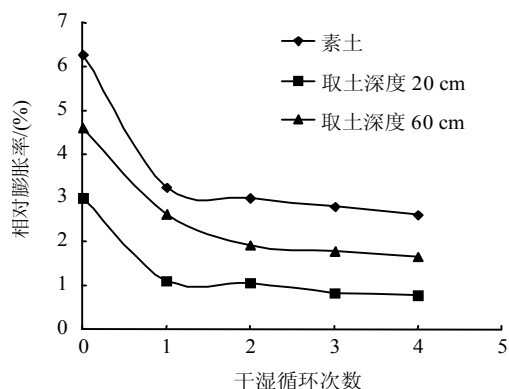


图 2 相对膨胀率随干湿循环次数的变化情况

Fig.2 Changes of relative expansive ratio with cyclic dry-wet process

表 3 干湿循环过程中改良土无侧限抗压强度试验成果表
Table 3 Test results of unconfined compressive strength in cyclic dry-wet process

取样位置	循环次数	无侧限抗压强度/MPa	强度损失/%	反复溶滴后状况
素土	0	0.140		第一次泡水 1h 发生断裂
	0	0.221		
取土深度 20 cm	2	0.192	13.1	整体完好,表面有少量细小裂纹
	4	0.181	18.1	
取土深度 60 cm	0	0.177		整体完好
	2	0.159	13.6	
	4	0.106	42.4	

3.2.4 改良土的无侧限抗压强度

改良土经历干湿循环后的无侧限抗压强度试验成果见表 3。由表可以看出,在经过不同次数的干湿循环之后,改良土的无侧限抗压强度都有一定程度的损失,其中取样深度为 60 cm 处土样的强度损失较大,在 4 次干湿循环后,强度折减了 42.4%。但是改良土在经过 4 次干湿循环之后,其土体表面还是基本保持完整,都没有明显的深裂纹,只是土样经历 4 次干湿循环后有少量细小裂纹产生,如图 3 所示。



(a) 第 1 次干湿循环照片(素土样)



(b) 第 2 次干湿循环照片(CTMAB(石灰水)改良土试样)

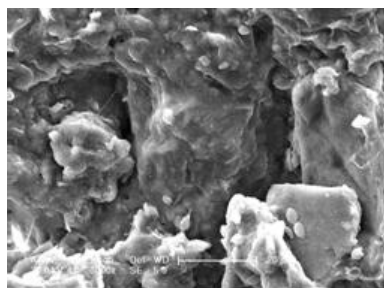


(c) 第 4 次干湿循环照片(CTMAB(石灰水)改良土试样)

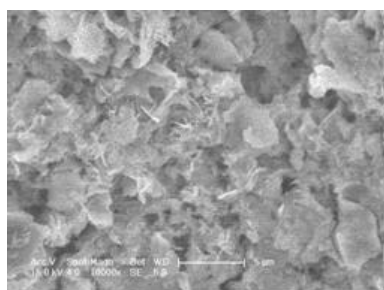
图 3 无侧限抗压强度试样经历干湿循环后试样外观照片
Fig.3 Photos of samples with unconfined compression test after cyclic dry-wet process

3.2.5 CTMAB 改良土的微观结构特性

为了观察到改良后土体微观结构中颗粒和孔隙的变化情况,笔者采用扫描电子显微镜对土体进行微观结构研究。试验选择电子显微镜放大倍数为 3 000 倍。



(a) 素土微观结构照片



(b) CTMAB(石灰水)改良土微观结构照片

图 4 素土和改良土微观结构照片

Fig.4 Photos of plain soil and stabilized soil in microstructure

由图 4 可见:素土在 3 000 倍扫描电镜下,显示出许多大小不一的板块状黏土团聚体,颗粒堆积分布,无定向性,大小大约为 5~10 μm 左右。矿物颗粒表现为叠聚体,团聚体间采用相互嵌结咬合

方式连接,颗粒间孔隙较大。改良土颗粒间分布了大量的针状晶体,这种晶体与土颗粒相互作用结合从而把土粒胶结成整体,提高了改良土的水稳定性和强度。这是因为随着饱和石灰水的加入,其中的有机阳离子和 Ca^{2+} 的配合使用,使得胶体吸附层减薄,从而使黏土胶体颗粒发生凝聚,颗粒间相互联结形成较大的聚集体。

4 结 论

天然膨胀土层经过 CTMAB (石灰水)改良后,土体的性质得到了明显的改善,改良土的膨胀性明显降低,强度大幅提高,水稳定性也能满足工程要求,因此,使用 CTMAB (石灰水)改良剂改良天然膨胀土边坡土体是可行的。

参 考 文 献

- [1] 胡曙光,李悦. 石灰石硅酸盐水泥的研究进展[J]. 新世纪水泥导报, 1997, 3(5): 11—13.
- [2] 贺行洋,陈益民. 膨胀土化学固化现状及展望[J]. 硅酸盐学报, 2003, 31(11): 1101—1106.
- [3] 廖世文. 膨胀土与铁路工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1987.
- [4] 陈剑雄,李鸿芳. 石灰石粉超高强高性能混凝土性能研究[J]. 施工技术, 2005, 34(4): 27—29.
- [5] 王浩. DAH 石灰混合溶液渗透方法改良膨胀土技术研究[硕士学位论文 D]. 西安: 长安大学, 2003.
- [6] 孟昭福,张一平,龚宁. 有机修饰改性土中含氧酸阴离子 CrO_4^{2-} 的吸附特征[J]. 土壤报, 2005, 42(2): 9—15.
- [7] 郭堃梅. 膨润土及有机膨润土对 Pb^{2+} 和对硝基苯酚的吸附[硕士学位论文 D]. 南京: 南京土壤研究所, 1997.