

文章编号:1673-2049(2007)03-0061-04

阳离子型添加剂改良膨胀土研究

惠会清¹, 张生录²

(1. 长安大学 理学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 基建处, 陕西 西安 710064)

摘要:根据膨胀土颗粒表面的带电原理、膨胀土的胀缩机理,用自行研制的阳离子型添加剂对膨胀土进行改性,详细分析了改性膨胀土的改性机理,通过不同条件对改良后的膨胀土进行保养前和保养后的强度及水稳定性试验,并和素膨胀土进行了对比。试验结果表明:改良膨胀土的水稳定性大大优于素膨胀土,浸水后的强度高于对应素膨胀土;从添加剂的特性看,它对提高土体强度的作用不明显,但能大幅度地提高膨胀土的水稳定性;在加入添加剂的初期,土体的水稳定性不是很高,但随着龄期的增长,添加剂的作用愈加显示出来,并有良好效果。

关键词:膨胀土;阳离子型添加剂;水稳定性;土体强度

中图分类号: TU443

文献标志码: A

Study of Expansive Soil Improved by Cationic Additive

HUI Hui-qing¹, ZHANG Sheng-lu²

(1. School of Science, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Department of Building, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: According to the electric charge distributing the soil particle surface and the mechanism of swelling-shrinking of expansive soil, one kind of cationic additive was synthesized by the author. Adding it to expansive soil, maintaining these specimens made of expansive soil improved by cationic additive, the specimens were submerged under water in one container; no lateral constrain compression and simple shear test were carried out. Test results indicate that stable and strength of expansive soil improved by chemicals after submerged are better and greater than those of pure expansive soil respectively. From the properties of the additive, the cationic additive contributes to increasing water-stability of the expansive greatly, and does not to that of strength. With the development of maintaining the soil specimen, the cationic additive affecting on expansive soil shows function evidently. The results from tests are useful to engineering practice.

Key words: expansive soil; cationic additive; water-stability; soil strength

0 引言

在中国的西北、西南分布着大量的膨胀土,膨胀土是在自然地质演变过程中形成的一种多裂隙并具

有显著胀缩性的地质体。黏土成分主要由强亲水性矿物蒙脱石与伊利石组成。膨胀土具有吸水膨胀、失水收缩并且反复变形的性质,以及土体中杂乱分布的裂隙,对建筑物尤其是对轻型建筑、路基、机场、

收稿日期:2007-03-27

基金项目:国家自然科学基金项目(59479017);陕西省自然科学基金研究计划项目(2001C01);陕西省交通科技项目(06-01K);

地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室开放基金项目(GZ2005-03)

作者简介:惠会清(1968-),女,陕西澄城人,工程师,E-mail:hxjys@chd.edu.cn.

渠道边坡以及堤坝等都有严重的破坏作用,特别是对建筑物所产生的变形破坏作用往往具有长期潜在危险的特点^[1-4]。20 世纪 70 年代,中国对膨胀土进行改良的方法除了换土垫层外,还采用水泥灌浆、拌石灰、石灰灌浆、电化加固等方法。换土垫层土方工程量;水泥改良膨胀土虽然有相当的强度和耐水性,但其收缩大,易裂缝,与周围膨胀土的变形协调性差;石灰土强度低,耐水性差,且这些方法均适合于小范围的治理,成本高,不具有广泛应用性,并且施工过程中粉尘弥漫于空气中,给施工人员的健康带来危害。从 20 世纪 90 年代起,中国开始引进和研制土壤改良剂,一般有电离子类、生物酶类、水化类等,因其添加量少,施工简单,适应性强,改良效果好,逐步得到了应用。

笔者用自行合成的一种阳离子型添加剂,对膨胀土进行改良,并对改良后的膨胀土进行了不同养生时间和浸水后有关物理力学性质的试验,得到了一系列规律性资料。

1 性能机理

1.1 膨胀土颗粒表面带电性

膨胀土有 90% 以上是黏土,其工程性质是与它的矿物成分,特别是与其黏粒部分的矿物成分密切相关,正是由于黏粒部分与水的物理-化学作用才使其具有了膨胀与收缩的性质。

Reuss 早于 1807 年通过试验已证明黏土颗粒表面是带有负电荷的。黏土颗粒表面带电的原因可以解释如下。

边缘破键电荷的不平衡:在理想晶体的内部,正负电荷是平衡的,但在外部边缘处,晶格的连续性被破坏,从而造成了电荷的不平衡。这些破键使黏土颗粒带有净负电荷,但在局部地方也会出现净正电荷。

同晶格置换作用:硅氧四面体中的硅被铝或其他低价离子置换,氢氧化铝八面体中的铝被铁、镁等所置换。置换后,黏土表面产生了过剩的未饱和负电荷,使土粒表面带负电荷。

水水解离作用:如次生二氧化硅表面与水作用,形成一层偏硅酸,偏硅酸在水中解离为 H^+ 及 SiO_3^{2-} 离子。 H^+ 向水溶液扩散,而硅酸根离子与二氧化硅晶格不分离,因而表面带负电。实际上黏土矿物是由三氧化二物(如三氧化二铝及三氧化二铁)和二氧化硅所组成,它的带电性则较为复杂。三氧化二物具有两性性质,即它的带电符号随水溶液的 pH 值而变化,有时带正电,有时带负电。当不带电时水

溶液的 pH 值为两性体的等电 pH 值,以 pH_E 表示。当水溶液的 pH 值大于 pH_E 值,两性体带负电荷;pH 值小于 pH_E 值,两性体带正电荷。pH 值与 pH_E 值之差愈大,两性体带电荷愈多。高岭石的 pH_E 值为 5,蒙脱石的 pH_E 值为 2。一般天然水溶液 pH 值为 7,故一般黏土颗粒均带负电荷,并且蒙脱石比高岭石带的负电荷多。

土中结合水的量取决于土粒的带电性,膨胀土是以蒙脱石或蒙脱石-伊利石为主要矿物成分的高塑性黏土,土壤矿物表面带有大量负电荷^[5-7]。

1.2 改良膨胀土的性能机理

膨胀土吸水膨胀、失水收缩的基本原因在于土粒与水的相互作用,土粒中的黏土矿物晶格扩张和土中结合水膜厚度的变化引起土粒间距离的增大和缩小,从而导致土体积的增大和缩小。换言之,土体中含水量的变化是膨胀土产生膨胀与收缩及强度变化等重要特性的基础。膨胀土吸水后与地下水积极地相互作用,形成较厚的水化膜或表面溶剂化层,表面溶剂化层或水化膜越厚,土粒间吸引力越小,表面溶剂化层的发育程度主要受土粒的亲水性和分散程度制约。

膨胀土中结合水量取决于土粒的带电性,而土粒的带电性和土粒的矿物成分、粒径组成、阳离子交换量以及溶液成分等有关系。土粒的矿物成分不同,亲水程度也不同,矿物亲水性越强,土中结合水量越多;黏粒越多,土粒越小,土的亲水性越强;土中水溶液的 pH 值越大, ξ 电位越大,结合水的量越大。

双电层理论认为,在土颗粒的接触面上,特别当土与水相互作用时,在胶体颗粒表面上,晶格置换均可形成双电层。在双电层中的粒子对水分子具有吸附能力,在黏土矿物颗粒周围,形成表面水化膜。由于结合水膜加厚将固体颗粒“楔”开,使固体颗粒之间的距离增大,从而导致土体积产生膨胀。当介质条件发生改变时,使土中结合水膜厚度变薄或消失时,则土粒间距离缩小,从而使土体积收缩。因此土粒表面双电层中结合水膜厚度的变化是膨胀土膨胀与收缩的主要原因。

膨胀土土壤矿物表面带有大量负电荷,当有机阳离子型土壤添加剂和它相遇后就会与其紧密结合,降低了土壤颗粒表面的吸附水膜厚度, ξ 电位下降,使土壤颗粒进一步靠近,封闭各土团之间的孔隙,土的塑性降低,减少了吸水性和膨胀性,土对水的敏感性减弱,促进土粒的相互聚集,土经干燥不再受潮,使膨胀土性能得到提高。该添加剂为有机阳

离子化合物,它和土粒结合后,膨胀土的阳离子交换量会大大减小而成为一个疏水微粒。

2 试验材料、仪器及试验方法

2.1 试验材料和仪器

试验用土为陕南安康膨胀土,取自路堑坍塌处,颜色呈现棕色、淡黄色。液限 $w_L = 42.48\%$,塑限 $w_p = 23.64\%$,最大干密度 $\gamma_{dmax} = 1.73 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,最优含水量 $w_{opt} = 19.6\%$,土粒级配曲线如图1所示。

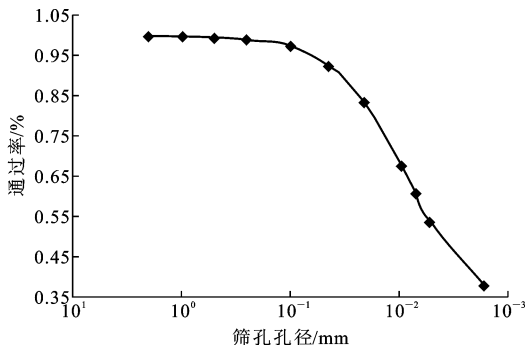


图1 土粒级配

Fig. 1 Gradation of Soil Particle

阳离子型添加剂为笔者在实验室合成的,呈亮棕色液体,是一种阳离子型表面活性剂,弱碱性,气味微芳香,水稀释后基本无味,无毒性、无污染。水为自来水,无特殊要求。

试验所用天平为上海天平仪器厂生产的电子天平(精度为1 mg);无侧限试验用南京土壤仪器厂生产的应变式三轴仪,直剪试验用该厂生产的直接剪切仪。

2.2 试验方法

按比最优含水量少两个百分点配置膨胀土土样,添加剂的添加量按干土质量的千分之四(此量为试验确定)称取,用土样中还欠的两个百分点的水稀释添加剂,搅拌均匀,喷洒到膨胀土试样中,充分拌和均匀后,压实度取0.95,制样。膨胀土试样尺寸为 $\Phi 3.91 \text{ cm} \times 8.1 \text{ cm}$ (无侧限试验用), $\Phi 6.24 \text{ cm} \times 2.0 \text{ cm}$ (直剪试验用)。将制好的试样保存在底部有水的玻璃干燥器中进行保湿养生,按养生静置时间不同,进行试样泡水崩解试验、无侧限抗压强度试验、直剪快剪试验、一维渗水及三维渗水试验和渗水后的强度试验。

3 试验结果分析

3.1 水稳定性试验

此试验用 $\Phi 3.91 \text{ cm} \times 8.1 \text{ cm}$ 试样做素膨胀土

的浸水试验、改良膨胀土的一维浸水和三维浸水试验,并做改良膨胀土浸水后的无侧限抗压强度试验。

将素膨胀土试样泡进水里,土体崩解很快,迅速泥化成一团散泥,外形完全丧失,没有强度。

将改良后的膨胀土试样泡进水里进行三维浸水试验,土体几乎没有崩解,形状基本不变,用手可以拿起来,用布擦干外表面后,随即进行无侧限抗压强度试验。将改良后的膨胀土试样套上橡皮套泡进水里进行一维浸水试验,经过一定时间泡水后,去掉橡皮套,发现试样没有变化,随即进行无侧限抗压强度试验。

将改良后的膨胀土试样按保养时间不同作一维浸水后无侧限抗压强度试验。

试验表明:改良膨胀土经浸水后不崩解,外形不发生变化,具有一定的强度,随着保养时间的延长,浸水后改良土的强度增加;而素膨胀土试样浸水后外形和强度完全丧失。

3.2 直剪试验

直剪试验用 $\Phi 6.24 \text{ cm} \times 2.0 \text{ cm}$ 试样。将试样按浸水、不浸水、养护、不养护分组做对比试验。试验结果如图2所示。

由图2可得到膨胀土及改良膨胀土的强度指标 c 、 φ 值。通过图2可以看出:膨胀土浸水后,黏聚力及内摩擦角分别减少了15 kPa、 15.74° ;改良膨胀土黏聚力增大了31 kPa,而内摩擦角减少了 7.09° ,当浸水4 h 20 min后,与自身相比,黏聚力及内摩擦角分别减少了58.10%、17.11%,内摩擦角减少量很少;与素土的相应情况相比,黏聚力减少了27.12%,而内摩擦角却增加了5.516%,与素土的不浸水情况相比,黏聚力及内摩擦角分别减少了41.89%、40.22%。

当改良土保养40 h,再浸水4 h 20 min后,与不保养的相应情况相比,黏聚力减少了11.62%,而内摩擦角却增加了5.634%。由此可见:经过保养,可以提高土在浸水情况下的内摩擦角;与素土的浸水情况相比,黏聚力减小了35.59%,而内摩擦角却大幅度增加,增加了115.31%,保养可以很大程度上提高浸水后的土内摩擦角。

素土、改良土和经过养生后的改良土,经浸水后并做强度试验,通过比较发现,经养生后的改良土的内摩擦角最大,不经养生的改良土次之,素土的最小,因此保养是非常重要的。进一步结合工程实践,将添加剂添加到膨胀土体的表层,静置一段时间后,土体的强度提高了,如果逢上下雨,土体有一定的支

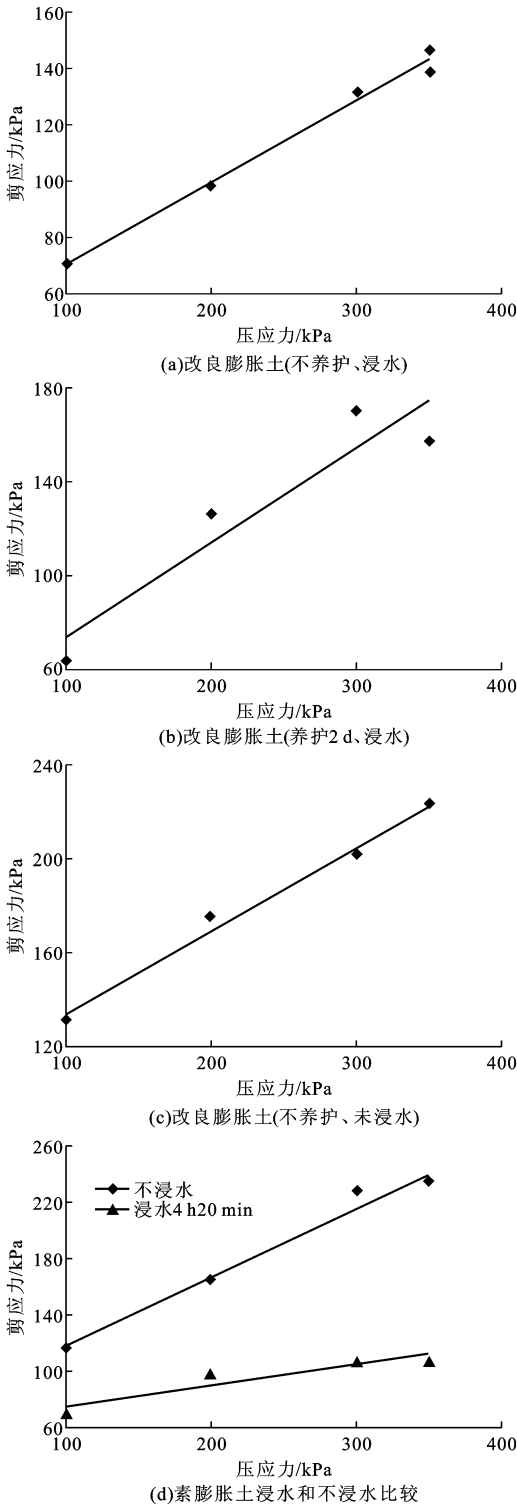


图 2 膨胀土及其改良膨胀土直剪试验结果
Fig. 2 Results from Direct Shear Tests for Expansive Soil and Improved One

持强度,这时候土体就不会坍塌,添加剂显示出了它的效用。

4 结 语

该膨胀土改良添加剂是一种新型化合物,无毒、

无味、无污染,具有一定的耐久性,改良后的膨胀土经水浸泡不发生泥化。从该添加剂的改良试验看,它对提高土体强度的作用不明显,但能大幅度地提高膨胀土的水稳定性,在加入添加剂的初期,土体浸水后强度不是很高,但随着龄期的增长,添加剂的作用就愈加显示出来,浸水后强度增加,并有良好效果。该膨胀土改良添加剂现处于开发初期,还需在添加剂性质改进、添加剂合理添加量等方面做大量探索、尝试工作,使其能更好地应用于工程实践。

参考文献:

References:

[1] 廖世文. 膨胀土与铁路工程[M]. 北京:中国铁道出版社,1987.
LIAO Shi-wen. Expansive Soil and Railway Engineering[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1987.

[2] 肖荣久. 陕南膨胀土及其灾害地质研究[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1995.
XIAO Rong-jiu. Studies on Expansive Soils and Its Hazard Geology of the South of Shaanxi[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Publishing House, 1995.

[3] 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997:5-8.
LIU Te-hong. The Problem of Expansive Soil in Construction Practice[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1997:5-8.

[4] 许 瑛. 膨胀土的加水变形、强度特性及结构变化的细观分析[D]. 西安:长安大学,2003.
XU Ying. Strength Properties, Deformation and Structure Change of Expansive Soils[D]. Xi'an: Chang'an University, 2003.

[5] 高国瑞. 近代土力学[M]. 南京:东南大学出版社,1990.
GAO Guo-rui. Modern Soil Mechanics[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1990.

[6] MITCHELL J T. Fundamentals of Soil Behavior[M]. New York: Wiley and Sons Inc, 1976.

[7] 马昆林, 谢友均, 刘运华, 等. 砂浆固化 Cl^- 性能的影响因素[J]. 建筑科学与工程学报, 2007, 24(1): 37-41.
MA Kun-lin, XIE You-jun, LIU Yun-hua, et al. Influence Factors on Performance of Mortar Solidifying Chloride[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2007, 24(1): 37-41.