

水泥固化重金属污染膨胀土力学性能试验研究

刘蔡静 刘畅 刘佳伟 刘翔 赵江

(南京工程学院, 江苏 南京 211167)

摘要 膨胀土是一种高塑性黏土,在我国分布非常广泛,如果没有有效措施来处理此类土,将会对建筑物产生严重危害,对人们的生活造成极大影响。本文为探寻水泥固化不同重金属污染膨胀土的力学性质的区别和效果差异,进行了扫描电镜实验和击实等试验,以此来测定膨胀土的膨胀率、无侧限抗压强度等性质,最终总结出水泥对不同重金属污染膨胀土的固化效果及对固化后膨胀土力学性能的改良。

关键词 膨胀土 重金属污染 水泥固化 力学性能 膨胀性能

中图分类号: TU521

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)03-0055-03

1 前言

膨胀土在我国大陆分布广泛,江苏、安徽、湖北、四川、广西、河南、陕西、云南、贵州等地均有不同范围的分布,这些地区膨胀土受到不同程度的污染,导致组成结构受到影响,进而改变了地质性质。在膨胀土地基地区,若不对膨胀土进行加固,可能会造成不可挽救的地质结构破坏。膨胀土受到重金属离子污染后存在着诸多弊端,如抗剪强度低、抗压性能弱等问题。经过多次试验研究分析,发现水泥对受重金属离子污染的膨胀土的固化效果明显优于其他一些固化材料^[1]。通过系统的实验,分析污染膨胀土的力学性质,讨论不同重金属离子对于固化后膨胀土的影响。

2 试验材料及基本组成

试验用土取自安徽合肥市某工地,土为深红色,对其做基本常规土工试验。膨胀土的内部组成成分通常是黏土矿物和碎屑矿物。碎屑矿物的主要成分包括石英(SiO_2)、云母及长石。

膨胀土可以按照黏土矿物分为两大类:

一类是以细粒的蒙脱石为主,另外一类则是以高岭土和伊利石土为主。一旦膨胀土的含水量有所增加,蒙脱石类的黏土就会出现膨胀。通常情况下,粗粒(碎屑矿物)的含量在膨胀土中是有限的,正因为是这样,粗粒对膨胀土的胀缩性质的影响并不会很大。相反,细粒部分的蒙脱石矿物才是影响膨胀土工程性质的主要因素。

3 膨胀土的物理性质

膨胀土的胀缩性相对于其他黏土来说较强。膨胀土常常呈现斑状,并且绝大多数的膨胀土内部含有钙质或者铁锰质。膨胀土中的裂隙一共有三种形式,分别是水平裂隙、竖向裂隙和斜交裂隙。在距离地表1~2米之处,常常会出现竖向的裂隙。张开裂隙面呈油脂或者蜡状的光泽,有时则会有擦痕或者水渍,还有铁锰氧化物薄膜等。

如果按照膨胀性分类的话,膨胀土可以分为三种,包括弱膨胀、中膨胀还有强膨胀。引起膨胀土发生变化的条件主要是:含水率、干容重。当膨胀土中的含水量增加时,它会产生垂直和水平两个方向上的体积膨胀,土体的抗剪强度会迅速降低,对工程项目有较大隐患。干容重是膨胀土的一项重要指标,膨胀土的干容重与它的天然含水量有关。

总的来说,膨胀土的变化既有它内在的因素存在,也有外在的因素。内在因素主要就是膨胀土它本身发生的膨胀和收缩性能,而外力因素则是压力和含水率的变化。对于建筑工程师来说,他们只有准确地把握并控制好影响膨胀土变化的因素和条件,才有可能把控在建造房子或地基时发生的状况,并提前拟出应对措施。

4 膨胀土的力学性能

4.1 抗压强度变化规律

影响因素: 重金属离子种类、离子浓度、养护龄期、养护期龄。

★基金项目: 大学生科技创新基金项目: 水泥固化重金属污染膨胀土力学特性试验研究, 基金项目编号: TB2021 09028。

(1) 土壤中的各类的重金属离子对土壤的潜在抗压强度有深远影响。有实验结果显示,当重金属离子的浓度比较低时,铅离子污染固化的膨胀土所具有的强度会低于镉离子污染固化的膨胀土所具有的强度。所以,在不同浓度的重金属离子种类的影响下,水泥的固化的速率也会有所不同,且影响的程度对于不同的金属种类也会有所不同。

(2) 通常情况下,由于之前的实验提出猜想,一般膨胀土的抗压强度也会受到重金属离子浓度的影响^[2]。根据实验数据和结果表明膨胀土的抗压强度会跟随重金属离子的数量的增加而增加,因此可以看出离子的浓度越高,对强度的影响也就会越大。

(3) 由于养护龄期的不同,对于强度也会有一定程度上的影响。根据实验研究,在水泥加入后,不同养护龄期下,发生过程所用的时间也不同,而且有些离子在非常特殊的情况下如碱性条件,经过一段时间以后其中会生成胶状氧化物沉淀,其强度会有所提高,且不同时期的效果不同。

(4) 根据过往的研究表明,水泥的掺量会对膨胀土抗压强度有影响,且影响效果与掺量之间成一定比例关系,在实验研究之中,大量离子在经过一系列化学反应以后,多部份吸附生成沉淀物,使膨胀土的强度增加。

4.2 抗剪强度的变化规律

影响因素: 重金属离子浓度、水泥掺量、养护龄期。

(1) 为了研究不同浓度的影响,铅污染扩散土壤的内部摩擦角随着铅离子浓度的增加而降低^[3]。结果表明,铅离子浓度的增加会降低土壤抗剪强度指数,产生的化合物将粘结在水泥表面,从而阻碍水化的进程,进而降低膨胀土的抗剪强度。

(2) 对不同水泥掺杂量下受污染土壤膨胀率进行了直接检测,受污染膨胀土扩张的剪切强度指标与水泥掺杂量之间有很大关联,水泥加入后,可扩张土壤抗剪的强度指标得到改善,水泥变化速度有所放缓,但稳定增长态势仍在继续。加入水泥后,其中的镉离子趋于稳定,随后膨胀土形成了一种叫胶结的结构,强度性质有了很明显的改善。

(3) 随着时间的推移,镉离子污染膨胀土细颗粒在生成的胶凝物^[4]下联结成整体,并且随着样品支持时间的增加,被镉污染的土壤小颗粒形成,抗剪强度提升,膨胀土的胶合力和内部摩擦的角度加强。

5 膨胀土的耐久性能

5.1 膨胀土的抗冻性能

伴随着我国基础设施建设的迅速发展,季节性冻土区膨胀土存在的问题越来越多。在工程建设中,季节性冻土区膨胀土不仅存在着浸水膨胀、失水收缩等因素诱发的问题,还存在着在冻融循环作用下耐久性能的变化。多次冻融作用容易导致土体结构的破坏,而膨胀土作为一种特殊性的粘土,其变形性能和强度会随着季节性冻融循环而有所降低。

冻融循环严重影响土壤的理化性质和微观结构等,膨胀土的冻融破坏程度与冻融循环有关。其中可能的影响因素有:冻融循环的次数、冻融持续的时间和冻融的深度等。赵晓东^[5]在封闭系统中对起始含水量较好的膨胀土进行了冻融循环的试验,在研究后发现,经过7次冻融循环后,其抗压强度降低了24%,膨胀力也降低了10%。赵晓东等人在冻结褐色膨胀土指数地面减压过程中,发现随轴向变形速率的衰减幅度与温度梯度关系不大。许雷^[6]等人在不同的冻结和融化时间通过无侧限的压缩试验测试了膨胀土的压缩性,发现冻融时间与膨胀土的压缩性存在正相关关系。时伟^[7]等人研究了人工配置的高含水量指数膨胀土(26.3%),发现随着冻结融化循环次数的增加,摩擦角、动剪切模量和结合力等都有所衰减,而膨胀土阻尼出现增大的情况。膨胀土在不同的初始湿度且所有实验湿度都低于最佳湿度时的试验中,朱斯伊^[8]等人发现,在冻融循环作用下,膨胀土的粘聚力先增加后减小,而摩擦角却是不断减小,剪切过程中应变呈现硬化趋势。

膨胀土土体强度^[9]与膨胀土的冻融方案有着密切的关系,在冻融程度相同时或没有冻融循环的条件下,膨胀土的抗压强度随着膨胀土含水率的增加而迅速减小,而应力应变曲线的线性增长在初始阶段通常随着含水率的增加而减小;在中期随着含水量的提高,应力应变曲线也有所提高。由此可见,应高度重视在季节性冻土区膨胀土地基上的工程建设,在冻融循环过程中,膨胀土存在的劣化问题也需得到高度重视。

5.2 膨胀土的抗震性能

我国大陆有很多多山且多地震的地区,此类地质灾害给我国带来了严重的经济损失。在膨胀土地基地区,若不对膨胀土边坡进行加固,就会造成不可挽救的地质结构破坏。在对膨胀土地基进行加固后,会在很大程度上提高其抗震性能。

为了应对膨胀土在地震等地质作用下造成的结构破坏,人们会对其进行加固。目前已有的膨胀土加固系统有以下几种: BPE模型、二阶段黏滑本构模型、三阶段软化型本构模型等。然而,在大量的实验研究下,证实了BPE模型是不合理的,三阶段软化型本构模型大部分用于理论实践中。所以,在实际应用中大多采用二阶段黏滑本构模型。

在地震作用下,膨胀土加固系统也会失效,主要造成其失效的原因有6种: 砂浆和土体界面间的破坏、杆体和砂浆界面间的破坏、锚固体两界面的破坏、锚固体被拉断、锚固体被压碎、锚固体被拔出。但是通过多项实验研究,发现造成膨胀土加固系统破坏的主要原因是界面间的黏性失效。

实际应用时,在实际加固模型中的大多是砂浆界面、土体界面和杆件,三者共同协调以提高膨胀土的抗震性能。

6 影响因素

6.1 水泥掺量对膨胀土的影响

为了研究在固化重金属污染过的膨胀土加入水泥的加入量对膨胀土的影响,本节对不同的水泥固化量固化的膨胀土进行了扫描电镜试验^[10]。在分析图像之后,得出结论: 在加入水泥后,会在表面形成絮状的薄膜再进行放大,絮状物为珊瑚状的白色物质。后期,随着水泥加入量的增加,絮状物^[11]之间的间隙变得越来越小。对比分析之后,发现随着水泥用量的不断增多,污染过的膨胀土分子间的空隙减少,经过长时间的固化,变成一个整体,使分子间的力变大,强度提高。

6.2 养护时间污染膨胀土的影响

为了探究在固化重金属污染过的膨胀土养护时间的长短对膨胀土的影响,对不同养护时间段的膨胀土进行了扫描电镜实验,其中保持重金属离子的浓度和水泥的加入量不变。在分析得到的图像后发现: 随着时间的推移,分子间的间隙由最初的无填充物到最后绝大部分都被物质填充,胶凝物质的增多,强度也得到了提升。得出伴随着养护时间的增加,污染膨胀土的强度也有所提高的结论。

7 结语

本文针对南京地区,通过实验室预制的重金属污染膨胀土,用水泥对其进行固化,研究分析固化后重金属污染膨胀土的力学性质,得到的结论如下:

(1) 在进行污染膨胀土的固化时,考虑到经济等

因素,采取水泥为固化剂,水泥的掺量会对膨胀土抗压强度有影响,且影响效果与掺量之间成一定比例关系。此外,大量离子在经过一系列化学反应以后,多部份吸附后生成沉淀物,使膨胀土的强度增加。

(2) 重金属污染后的膨胀土,伴随着(Pt^+ , Cr^{2+} , Cr^{3+} , 等)^[12]离子浓度的增加,对强度的影响就越大,具体表现为黏粒含量迅速减小,自由膨胀率^[13]也随之减小。

(3) 重金属污染的膨胀土,干密度增加,抗剪强度和抗压强度明显低于正常值,在定量水泥固化后,污染过的膨胀土分子间的空隙减少,经过长时间的固化变成一个整体,使分子间的力变大,污染膨胀土的力学性能得到提高。

参考文献:

- [1] 李喜林,张佳雯,陈冬琴,等. 水泥固化铬污染土强度及浸出试验研究[J]. 硅酸盐通报,2017,36(03):979—983,990.
- [2] 何建新,刘亮,杨力行,等. 含盐量与颗粒级配对接工程土稠度界限的影响[J]. 新疆农业大学学报,2008,31(02):85—87.
- [3] 张倩. 谈谈自由膨胀率试验的局限性[J]. 交通运输研究,2004(04):18,24—25.
- [4] 熊海帆. 膨胀土水泥改性试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学,2010.
- [5] 赵晓东,周国庆,李生生. 不同温度梯度冻结深部黏土偏应力演变规律研究[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(08):1646—1651.
- [6] 许雷,刘斯宏,鲁洋,等. 冻融循环下膨胀土物理力学性能研究[J]. 岩土力学,2016,37(02):167—174.
- [7] 时伟,张亮,杨忠年,等. 冻融循环条件下膨胀土力学性能试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版,2019,54(04):480—485.
- [8] 朱斯伊,王志俭,曹玲,等. 冻融循环下荆门膨胀土剪切试验研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2019,41(03):59—63.
- [9] 莫菲革,程峰. 重金属污染物侵入对土体强度影响的试验研究[J]. 矿产与地质,2015,29(01):114—118.
- [10] 宋泽卓. 重金属污染土的工程性质及微观结构研究[J]. 山西建筑,2016(22):91—92.
- [11] 陈蕾,杜延军,刘松玉,等. 水泥固化铅污染土的基本应力—应变特性研究[J]. 岩土力学,2011,32(03):715—721.
- [12] 许龙. 重金属污染土的固化修复及长期稳定性研究[J]. 合肥工业大学,2012.
- [13] 同[3].