

非饱和氯盐渍土抗剪强度特性试验研究

洪安宇,杨晓松,党进谦,孙杲辰

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:为研究非饱和氯盐渍土的抗剪强度特性,给工程应用提供理论基础,采用人工配置氯盐渍土,进行了室内三轴剪切试验。在定性分析的基础上,定量分析了非饱和氯盐渍土抗剪强度及其指标与含盐量的相互关系。结果表明:试验条件下存在临界含盐量9%,当含盐量小于9%时,非饱和氯盐渍土的抗剪强度及其指标随着含盐量的增加而减小;当含盐量大于9%时,抗剪强度及其指标随着含盐量的增加而增加。

关键词:非饱和氯盐渍土;抗剪强度;临界含盐量

中图分类号:TU 411.3

文献标志码:A

文章编号:1001-5485(2013)04-0052-04

1 研究背景

现行国家标准《岩土工程勘察规范》(GB50021—2001)中的6.8.1条规定:“岩土中易溶盐含量大于0.3%,并具有溶陷、盐胀、腐蚀等工程特性时,应判断为盐渍土”^[1]。我国盐渍土分布很广,在西北、华北、东北、内蒙古河套等地区有大面积的内陆盐渍土,在渤海西岸、东南沿海各省市则存在滨海盐渍土。盐渍土属于特殊土,其相性组成与一般土不同,液相中含有盐溶液,固相中含有盐结晶,尤其是易溶的盐结晶。因此,有学者认为,应该将盐渍土归为四相土体。笔者认为,盐渍土的相性应该以其中所含盐分的状态来划分,当所有盐分溶于孔隙水,呈离子态分布时,盐渍土为三相土体,即固相、盐溶液相、气相;当土体中存在盐结晶时,盐渍土为四相土体,即固相、液相、结晶盐相、气相。盐渍土相成分的复杂性使得其工程性质与含盐量、土体含水率、干密度、温度等诸多因素联系密切,任一因素的变化都将引起土体工程性质的改变。

随着我国经济建设的发展,越来越多的基础设施建设涉及到广大盐渍土地区的开发。然而,关于盐渍土工程特性已有的研究成果很难满足工程建设的需要,旧问题尚未解决,新问题又会出现。综合盐渍土地区工程建设过程中及工程后期的安全评价与养护中遇到的问题,可以认为,盐渍土作为一种特殊土,其工程危害性主要有地基不均匀沉降、墙身泛碱、墙皮脱落、钢筋锈蚀、混凝土结构构件破坏与盐胀等^[2-7]。

目前,对盐渍土基本工程性质的研究较少。赵

海艳等^[8]通过室内土工试验与数学分析相结合的方法,对滨海盐渍土含盐量与工程特性指标间的关系进行研究,认为氯盐渍土的抗剪强度随含盐量的增加出现一含盐量界限值,试验条件下,含盐量界限值为1.58%。雷华阳等^[9]探讨了超氯盐渍土的含盐量与工程特性指标间的关系,认为超氯盐渍土的抗剪强度随着含盐量的增加而增大。徐安花等^[10]分析了含多种盐分盐渍土在不同含水量下抗剪强度的变化规律,认为温度对盐渍土抗剪强度的影响较为显著,对于氯化物和硫酸盐混合的盐渍土,当氯化物(或硫酸盐)的含量小于一定值时,盐渍土的黏聚力随着含盐量的增加而降低,大于该值后,则黏聚力随着含盐量的增加而增大,但是对于不同条件下的界限含盐量并没有进行研究。

针对盐渍土工程特性的复杂性,本文以非饱和氯盐渍土为研究对象,通过室内三轴试验,定量研究抗剪强度及其指标与含盐量的相互关系,以丰富盐渍土力学理论,为盐渍土地区的开发与建设提供理论依据。

2 试验条件

2.1 试验材料

试验用土取自西北农林科技大学南区新宿舍楼工地地平面以下2 m处的扰动黄土,土样为黄褐色,具有较大孔隙,土质均匀,土体疏松,属马兰黄土(Q3)。对其进行化学性质测定,测得易溶盐含量为0.5 g/kg,可以用于人工盐渍土的配制。所用黄土的物理性质指标如表1所示。

表 1 土样的基本物理性质指标

Table 1 Basic physical properties of soil sample

土样名称	相对密度 G_s	液限 $W_L/\%$	塑限 $W_P/\%$	塑性指数 I_p	颗粒组成/ $\%$			不均匀系数 d_{60}/d_{10}	曲率系数 $d_{30}^2/(d_{60} \times d_{10})$
					砂粒 2~0.075 mm	粉粒 0.075~0.005 mm	黏粒 <0.005 mm		
低液限黏土	2.71	34.8	19.0	17.2	4.9	71.3	23.8	9.57	1.16

2.2 试验方案

试验所用氯盐渍土采用人工配置,氯盐为 NaCl。含盐量为土体内盐分的质量与干土的质量之比,用百分数表示;控制含盐量分别为 0%,2%,5%,8%,9%,10%,12%。根据击实试验结果,选用控制干密度 1.60 g/cm^3 ,控制含水率 17%。剪切强度试验为适用于工程施工较快条件下的非饱和和不固结不排水三轴剪切试验,围压为 100,200,300,400 kPa,剪切速率为 0.08 mm/min 。

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

试验结果见表 2。为了更加直观地描述非饱和氯盐渍土抗剪强度及其指标与含盐量的关系,根据表中数据,绘制抗剪强度、内摩擦角 φ 、黏聚力 c 、与含盐量的关系曲线,见图 1 至图 3。

表 2 剪切强度试验结果

Table 2 Results of shear strength test

含盐量/ $\%$	破坏强度/kPa				强度指标	
	100	200	300	400	c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$
0	204.0	254.4	297.4	379.4	105.7	21.4
2	181.7	231.6	267.0	313.0	103.3	17.5
5	140.1	168.6	199.6	214.3	95.2	11.7
8	79.0	90.9	100.3	106.5	64.4	4.6
9	71.0	86.0	90.0	105.0	62.0	3.6
10	82.7	97.1	103.7	112.2	65.3	4.8
12	85.5	99.5	109.0	119.5	71.4	6.2

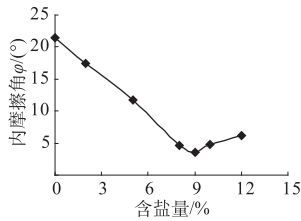


图 2 内摩擦角 φ 与含盐量关系曲线

Fig.2 Curve of internal friction angel φ vs. salt content

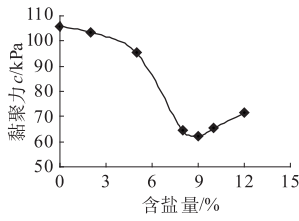


图 3 黏聚力 c 与含盐量关系曲线

Fig.3 Curve of cohesive force c vs. salt content

3.2 结果分析

由图 1 抗剪强度与含盐量的关系曲线可以看出,各级围压下,曲线走势大致相同。当含盐量小于临界含盐量时,抗剪强度随着含盐量的增加而减小,并且减小幅度很大,400 kPa 围压下两者近似线性,随着含盐量由 0%→2%→5%→8% 变化,强度减小幅度分别为 17.5%,31.5%,50.3%;当含盐量大于临界含盐量时,抗剪强度随着含盐量的增加而逐渐增加,但是幅度很小,随着含盐量由 9%→10%→12% 变化,强度增加的幅度仅为 6.9%,6.5%,远小于减小的幅度。在试验条件下,临界含盐量为 9%。图 2 中内摩擦角 φ 与含盐量的变化关系与图 1 相同,存在临界含盐量。含盐量小于临界含盐量时,内摩擦角 φ 随着含盐量的增加而减小,减小幅度较大;含盐量大于临界含盐量时,内摩擦角 φ 随着含盐量的增加而增加,增加幅度较小。在试验条件下,临界含盐量为 9%。

图 3 中,黏聚力 c 与含盐量的关系曲线变化规律在总的趋势上与图 1、图 2 相同,即存在临界含盐量 9%。含盐量小于 9% 时,黏聚力 c 随着含盐量的增加而减小;含盐量大于 9% 时,黏聚力 c 随着含盐量的增加而增加。不同之处在于黏聚力 c 随着含盐量向 9% 增加时,减小的幅度并没有像抗剪强度 τ 、内摩擦角 φ 那样变化剧烈。对表中数据进行分析,含盐量由 0%→2%→5% 变化时,黏聚力分别减小 2.3% 和 7.8%,远小于抗剪强度、内摩擦角 φ 随着含盐量的增加而减小的幅度;由图中关系曲线可以看出,当含盐量由 5% 增加到 8% 时,黏聚力 c 变化最为剧烈,由 95.2 kPa 减小为 64.4 kPa,减小了 32.4%。

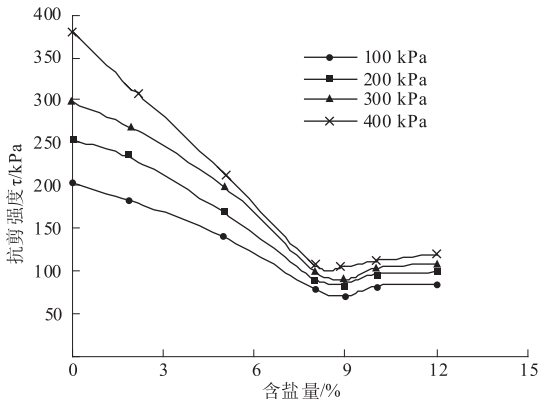


图 1 抗剪强度 τ 与含盐量关系曲线

Fig.1 Curves of shear strength τ vs. salt content

通过以上分析可以得出,非饱和氯盐渍土抗剪强度及其指标与含盐量的关系规律性比较明显,存在临界含盐量,且试验条件下,该临界含盐量为9%。

对非饱和氯盐渍土抗剪强度及其指标与含盐量变化关系的分析应从盐分的类别、盐渍土体的相性及结构性等方面进行。盐渍土体内部的连结包括接触连结、吸附水膜连结和胶结连结^[9-14]。

(1) 在相同的初始干密度和含水率的条件下,单位体积内土粒数量随着含盐量的增加而减小。随着含盐量的增加,土粒之间的接触连结进一步减小,盐渍土体的结构性减弱,抗剪强度逐渐减小。

(2) 试验所用氯盐为易溶盐,当土体中的含盐量较小,达不到土体含水量条件下的饱和需求时,氯盐将全部溶于土体溶液,此时,盐渍土为三相土体(固相、气相、盐溶液相)。随着含盐量的增加,溶液中的离子浓度增大,双电层厚度增加,钠离子的润滑作用逐渐加强,土颗粒之间达到的平衡力进一步减小,从而导致盐渍土的抗剪强度及其指标随着含盐量的增加而减小。

(3) 当土体中的含盐量进一步增加,土体盐溶液达到饱和时,多余的盐分不再继续溶于土体水分,而是以结晶盐的形式存在于土体之中。此时的盐渍土体相性由三相变为四相,即固相、盐溶液相、气相、结晶盐相。结晶盐的胶结作用加强了土体颗粒之间的连结,增强了土体的结构性,土体强度增加。含盐量继续增加,结晶盐的胶结作用对土体结构性的影响作用愈加明显,由于接触作用减少和吸附水膜增厚导致的强度减弱效应开始减少,力学特性上表现为抗剪强度及其指标随着含盐量的增加而增加。

结合试验结果可以认为:试验条件下,当含盐量小于临界含盐量9%时,接触作用减少和吸附水膜增厚对盐渍土体强度的减弱效应起着主要作用,此时,随着含盐量的增加,氯盐渍土的抗剪强度及其指标随着含盐量的增加而减小;当含盐量大于临界含盐量9%时,结晶盐的胶结作用对土体结构的增强效应开始起着主要作用,随着含盐量的增加,土体抗剪强度及其指标逐渐增大。

4 结 论

通过室内常规三轴剪切试验,对氯盐渍土抗剪强度及其指标与含盐量的变化关系进行研究。结果表明:当含盐量小于临界含盐量9%时,抗剪强度及其指标随着含盐量的增加而减小;反之,抗剪强度及

其指标随着含盐量的增加而增加。

本文仅是通过室内试验简单地分析与探讨非饱和氯盐渍土抗剪强度及其指标与含盐量的相互关系,实际工程中盐渍土的组构及影响其工程性质的因素都呈现多样性,使问题变得更为复杂。进一步的研究工作应以含多种盐分的盐渍土工程特性及其在工程上的实际运用为重点研究对象。

参考文献:

- [1] GB50021—2001, 岩土工程勘察规范[S]. (GB50021—2001, Code for Investigation of Geotechnical Engineering[S]. (in Chinese))
- [2] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993:130-136. (WANG Zun-qin, ZHU Shou-quan, YU Ren-pei, et al. Saline Soil in China[M]. Beijing: Science Press, 1993:130-136. (in Chinese))
- [3] 高福聚,俞然刚. 盐渍土地区墙体和饰面侵蚀的防治措施[J]. 工业建筑,2000,30(1):38-41. (GAO Fu-ju, YU Ran-gang. Some Preventive and Control Measures on The Corroded Wall and Base in Coastal Salted Soil Area[J]. Industrial Construction, 2000, 30(1):38-41. (in Chinese))
- [4] 王宗昌,屈芳民,蔡荣生. 盐渍土地基和墙体侵蚀及防治[J]. 全面腐蚀控制,2002,27(2):30-32. (WANG Zong-chang, QU Fang-min, CAI Rong-sheng. Erosion, Prevention and Control of Ground and Wall in Salt Soil[J]. Total Corrosion Control, 2002, 27(2):30-32. (in Chinese))
- [5] 王 鹰,谢 强,赵小兵. 含盐地层工程性能及其对铁路工程施工的影响[J]. 矿物岩石,2002,12(4):81-85. (WANG Ying, XIE Qiang, ZHAO Xiao-bing. Engineering Properties of Salt-Bearing Strata and Its Effects on Construction of Railway[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2002,12(4):81-85. (in Chinese))
- [6] 洪乃丰. 盐渍土对建筑物的腐蚀与防护[J]. 工业建筑,1998,28(1):5-7. (HONG Nai-feng. Corrosion and Protection of Saline Soil for Constructions[J]. Industrial Construction, 1998, 28(1):5-7. (in Chinese))
- [7] 陈 涛,李永红. 安西南干渠盐渍土地基的冻胀试验研究[J]. 防渗技术,2000,6(2):13-15. (CHEN Tao, LI Yong-hong. Experiment Research of Frost Heaving into Anxinan Trunk Canal's Saline Soil Foundation[J]. Technique of Seepage Control, 2000, 6(2):13-15. (in Chinese))
- [8] 赵海艳,韩文峰,张 渊. 滨海盐渍土的工程特性研究[J]. 天津城市建设学院院报,2004,10(3):161-164. (ZHAO Hai-yan, HAN Wen-feng, ZHANG Yuan. Research on Engineering Properties of Saline Soil in Littoral Area[J]. Journal of Tianjin Institute of Urban Construction, 2004, 10(3):161-164. (in Chinese))
- [9] 雷华阳,张文殊,张喜发,等. 超氯盐渍土的工程特性

指标研究[J]. 长春科技大学学报, 2001, 31(1):70 – 73. (LEI Hua-yang, ZHANG Wen-shu, ZHANG Xi-fa, *et al.* Study on Engineering Property Indexes of Ultrachlorine Saline Soil[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2001, 31(1):70 – 73. (in Chinese))

[10] 徐安花, 房建宏. 盐渍土抗剪强度变化规律的研究[J]. 交通标准化, 2005, (11):54 – 58. (XU An-hua, FANG Jian-hong. Study on Laws of Anti-shearing Intensity of Salty Soil[J]. Communications Standardization, 2005, (11):54 – 58. (in Chinese))

[11] 杨晓松, 党进谦, 王利莉. 饱和氯盐渍土抗剪强度特性的试验研究[J]. 工程勘察, 2008, (11):6 – 9. (YANG Xiao-song, DANG Jin-qian, WANG Li-li. Experimental Study on Behaviors of Shear Strength for Saturated Saline Soil[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2008, (11):6 – 9. (in Chinese))

[12] 杨晓松, 郑会科, 党进谦. 养护龄期对粉煤灰改良氯盐渍土强度特性的影响分析[J]. 中国农村水利水电, 2011, (7):78 – 80. (YANG Xiao-song, ZHENG Hui-ke, DANG Jin-qian. Analysis of the Influence of Curing Period on the Chlorine Saline Soil's Strength Properties Improved by Fly Ash [J]. China Rural Water and Hydropower, 2011, (7):78 – 80. (in Chinese))

[13] 李永红. 氯盐渍土的变形和强度特性研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2006. (LI Yong-hong. Research into the Deformation and Strength Properties of Chlorine Saline Soil [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2006. (in Chinese))

[14] 郭菊彬, 张 昆, 王 鹰. 盐渍土抗剪强度与含水量、含盐量及干密度关系探讨[J]. 工程勘察, 2006, (1):12 – 14. (GUO Ju-bin, ZHANG Kun, WANG Ying. Discussion on the Shear Strength of Chlorine-Salt-Bearing Soil Changing with Water Content, Salt Content and Dry Density [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2006, (1):12 – 14. (in Chinese))

(编辑:周晓雁)

Shear Strength Property of Unsaturated Chlorine Saline Soil

HONG An-yu, YANG Xiao-song, DANG Jin-qian, SUN Gao-chen
(College of Water Resources and Architectural Engineering,
Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract:To research the shear strength property of unsaturated chlorine saline soil and to provide fundamental basis for engineering application, we performed conventional triaxial shear strength test on artificial chlorine saline soil. On the basis of qualitative analysis, we quantitatively analyzed the relations of chlorine saline soil strength and its indexes with salt content. The test results indicated that the critical salt content was 9% under the test conditions. When the salt content was less than 9% , shear strength and its indexes decreased with the increase of salt content; when the salt content was more than 9% , shear strength and its indexes increased with the increase of salt content.

Key words:unsaturated chlorine saline soil; shear strength; critical salt content

(上接第 51 页)

foundation in middle Jinsha river as a research object, we selected 8 typical rock samples (argillaceous siltstone) from the dam foundation in the right bank and cut each sample into 3 parts to carry out dry uniaxial compressive test, indoor dry-wet cycle disintegration test, and outdoor natural disintegration test respectively on each part. By recording the initial disintegration time and describing the whole disintegration process, we quantitatively divided the disintegration into three levels: completely disintegrated, moderately disintegrated, and not disintegrated. Moreover, we compared the final state of disintegration of the rock samples under dry-wet cycling condition and natural condition. Subsequently, we measured the viscous granule content in the rock samples after wet disintegration. Test results showed that rock samples in dry-wet cycling condition disintegrated more thoroughly than those in natural conditions. The initial time and final state of disintegration are well correlated with the dry uniaxial compressive strength and viscous granule content.

Key words:soft rock; disintegration; compressive strength; viscous granule content