

文章编号: 0455-2059(2015)03-0334-05

氯盐和硫酸盐对遗址土体颗粒级配和界限含水率影响的对比

湛文武¹, 吕海敏¹, 崔凯², 吴国鹏², 杜昱民¹

1. 兰州大学土木工程与力学学院 西部灾害与环境力学教育部重点实验室, 兰州 730000
2. 兰州理工大学 甘肃省土木工程防灾减灾重点实验室, 兰州 730050

摘要: 为了探讨盐分对遗址土体颗粒级配和界限含水率的影响, 通过室内试验, 对洗盐后的素土分别以0(素土), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%的梯度加入NaCl, Na₂SO₄两种可溶盐, 测试特定盐分质量分数和类别的含盐土的颗粒粒径分布和界限含水率的变化. 试验结果表明: 盐分对遗址土体的颗粒级配有一定的影响, 尤其对黏粒占比的变化影响显著, 随着盐分质量分数的增大, 分布在细粉粒和黏粒范围内的颗粒占比相对减小, 分布在粗粉粒和砂粒范围内的颗粒占比相对增加, 并且Na₂SO₄盐对土体颗粒级配的影响比NaCl盐的显著; 随着盐分质量分数的增大, 含盐试样的液限含水率、塑限含水率以及塑性指数均逐渐减小, 试样由粉质黏土变为粉土, 由于盐分的加入, 盐分作为电解质对土粒产生团聚作用, 黏粒被吸附, 使得试样中黏粒占比相对减少.

关键词: 遗址土体; 特定盐分; 颗粒级配; 界限含水率

中图分类号: TU411.2

文献标识码: A

DOI: 10.13885/j.issn.0455-2059.2015.03.005

Comparative study of the influence of chlorine and sulfate salt on grain size distribution and limit moisture content in site soils

Chen Wen-wu¹, Lv Hai-min¹, Cui Kai², Wu Guo-peng², Du Yu-min¹

1. Key Laboratory of Mechanics on Disaster and Environment in Western China with the Ministry of Education, School of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China
2. Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation in Civil Engineering of Gansu Province, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China

Abstract: In order to explore the influence of salt content on particle size distribution and limit moisture content on site soils, a test was carried out joining two soluble salts with the gradient of 0 (desalination soil), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% of NaCl and Na₂SO₄ to the desalination soil, to discover the distribution of particle size and the changes in moisture content. The results showed that salts had certain effects on particle size distribution, especially a significant effect on the change of clay content and the content of distribution within the scope of fine silt; clay particles decreased relatively and the distribution within the scope of coarse silt particles and sand content relatively increased with the increase of salt content; the salt of Na₂SO₄ had a more significant influence on grain size distribution than NaCl. The liquid limit moisture content, plastic limit moisture content and plasticity index of salt samples decreased gradually with the increase of salt content, and the samples of silty clay changed into silt. The addition of salt as an electrolyte had reunited effects on soil particles and clay adsorption and resulted in the relatively less content of clay in the soil samples.

Key words: soil of site; specific salt; particle size distribution; limit moisture content

收稿日期: 2014-01-05; 修回日期: 2014-03-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAK08B11-2, 2010BAK67B16-3); 国家自然科学基金项目(51208245)

作者简介: 湛文武(1966-), 男, 河南信阳人, 教授, 博士研究生导师, 博士, e-mail: sungp@lzu.edu.cn, 研究方向为地质工程、岩土工程和文物保护.

土遗址作为一种常见的不可移动文物是文化遗产的重要组成部分^[1-2]。在中国西北地区赋存有大量的土遗址,但是由于干旱、半干旱的特殊环境条件,加之集中降雨的影响,使得西北地区的土遗址正遭受着严重破坏,产生了多种类型的病害形式,这些病害的产生都离不开盐分的作用。土遗址病害形式主要以底部掏蚀凹进和表面片状剥离为主,在集中降雨和盐分共同作用的环境条件下,加速了土遗址病害的形成和演化。因而,含盐遗址土体基本物理性质的研究对土遗址保护工作中盐害^[3]的研究有一定的意义。本文主要探讨氯盐和硫酸盐两种含盐土的颗粒尺寸分布和界限含水率的变化,分析盐分的存在对遗址土体的颗粒级配和界限含水率的影响。

目前,对土遗址病害的研究主要集中在病害的形成原因、形成过程和形成机制等方面^[4]。赵海英等^[5-7]研究了土遗址的主要病害类型和成因,同时提出了PS试剂在土遗址中的应用;崔凯等^[8-13]研究了夯土遗址在干湿循环与盐渍复合效应的影响下土体强度的变化,提出了风蚀耗损与盐渍劣化效应,以及在外界环境条件的情况下,盐分的存在反而对土体起到胶结固化的作用;Dexter等^[14-16]研究了干湿循环作用下土体结构和强度的变化;柴寿喜等^[17-18]研究了含盐量对颗粒分析试验的影响。前人的研究主要集中在物理性质和力学性质方面,从物理性质方面出发,探讨含盐遗址土体的颗粒粒径分布和界限含水率的变化。

1 试验过程

1.1 试验材料

试验用土取自夯土遗址。将夯土碾碎后过2 mm的筛,用去离子水以水土体积比大于10:1的量对土样进行人工脱盐处理,使土样变为含盐量较少的素土,反复处理6次并测量滤液的电导率,当滤液的电导率 $< 300 \mu\text{s}/\text{cm}$ 时^[19],认为试样完成了脱盐过程。

1.2 试样制备

通过对新疆、甘肃、青海、宁夏等地多处土遗址的易溶盐分析测试,得知遗址土体中最常见的盐分为NaCl, Na₂SO₄。本次试验主要对洗盐后的素土以0(素土), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%的梯度加入NaCl, Na₂SO₄两种可溶盐,分别测试含盐土样的颗粒尺寸和界限含水率。

称取一定量的素土试样于托盘内,按质量分数为0(素土), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%的梯度分别配制成NaCl, Na₂SO₄的盐溶液,将盐溶液与素土充分搅拌,以使盐分与素土均匀接触,再将含盐溶液的土样烘干24 h后捣碎,制备成特定质量分数的氯盐和硫酸盐试样。

1.3 颗粒粒径分析和界限含水率测试

按四分法称取200 g特定质量分数的氯盐和硫酸盐试样,采用筛析法和比重计法对含盐土样进行颗粒分析试验。将氯盐试样和硫酸盐试样过0.5 mm的筛后,采用光电式液塑限联合测定仪测定试样的界限含水率。

2 试验结果

2.1 含盐试样的颗粒粒径分布

对氯盐试样和硫酸盐试样进行颗粒分析试验,试验结果见图1。

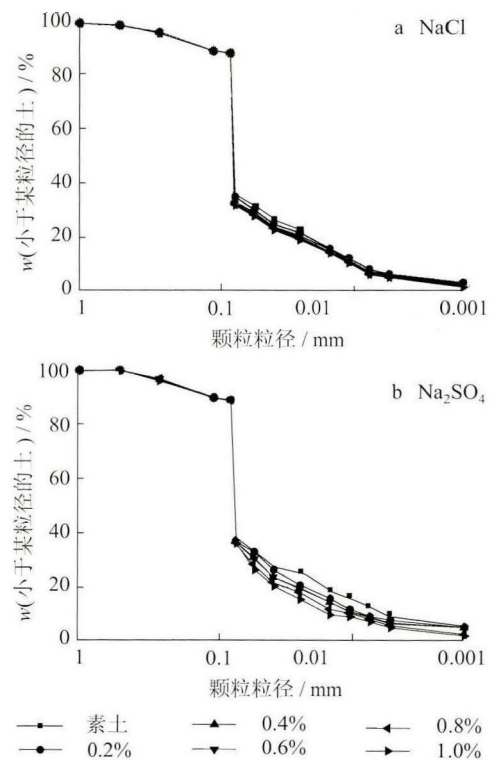


图1 试样颗粒分析曲线图

Figure 1 Grain composition of the samples

对于氯盐和硫酸盐试样,在砂粒范围(1~0.075 mm)内,曲线变化不明显,在粉粒范围(0.075~0.005 mm)内,曲线有一个陡降带,表明土颗粒大部分集中在该范围内,在黏粒范围($< 0.005 \text{ mm}$)内,含盐试样比素土试样的曲线表现出更明显的下降趋势,表明随着盐分质量分数的增加,黏粒占比逐渐减少。硫酸盐试样的颗粒

分析曲线比氯盐试样的变化明显,表明硫酸盐对土体颗粒粒径的影响比氯盐的显著.盐分的存在对土体的颗粒粒径有一定的影响.

2.2 含盐试样的界限含水率测试

土体的界限含水率主要取决于黏粒占比的多少,为了分析含盐土样中黏粒占比的变化,对含盐土样进行液限含水率测试,结果如图2-4所示.

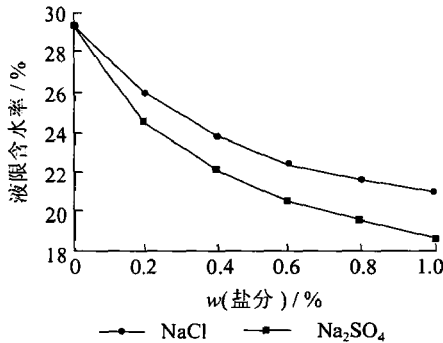


图 2 盐分质量分数与液限含水率的关系曲线图

Figure 2 Relationship between salt content and liquid limit moisture

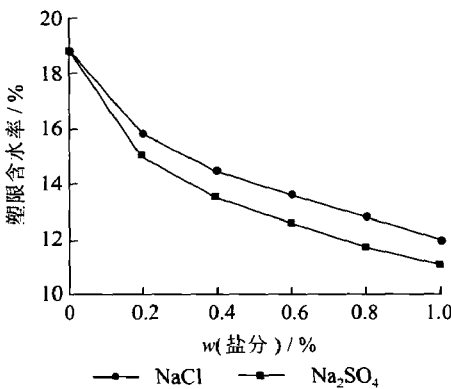


图 3 盐分质量分数与塑限含水率的关系曲线图

Figure 3 Relationship between salt content and plastic limit moisture

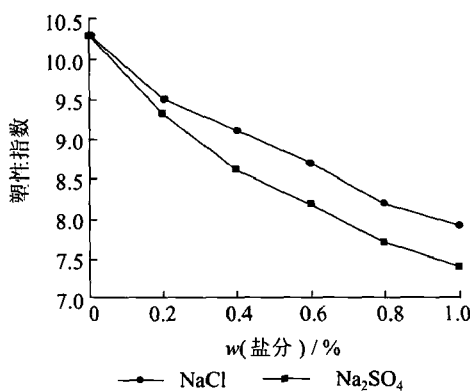


图 4 盐分质量分数与塑性指数的关系曲线图

Figure 4 Relationship between salt content and plasticity index

由图2-4可知,随着盐分质量分数的增加,试样的液限含水率、塑限含水率和塑性指数均逐渐

减小.硫酸盐试样对土体界限含水率的影响要比氯盐试样的显著.试验结果进一步说明,由于盐分的加入,导致土体中黏粒占比相对减少,粉粒占比相对增加,从而使试样的界限含水率减小,同时也说明硫酸盐对黏粒的影响比氯盐的显著.

3 分析与讨论

3.1 颗粒粒径分布试验结果

为了进一步分析盐分对土体颗粒粒径大小的影响,对各粒径成分在土中的占比进行数据提取,结果如表1-2所示.

表 1 NaCl 试样颗粒粒径占比分布

Table 1 Particle size percentage distribution of NaCl samples %

w/%	砂粒			粉粒		黏粒	
	中砂	细砂	极细砂	粗粉粒	细粉粒	粗黏粒	胶粒
0	3.496	7.705	0.107	69.764	6.621	5.686	6.621
0.2	3.497	7.708	0.121	71.188	6.599	4.486	6.401
0.4	3.499	7.712	0.211	72.020	6.507	4.365	5.686
0.6	3.502	7.715	0.318	72.918	5.975	4.286	5.286
0.8	3.505	7.719	0.329	73.335	5.823	4.272	5.017
1.0	3.508	7.721	0.331	73.843	5.528	4.194	4.875

表 2 Na₂SO₄ 试样颗粒粒径占比分布

Table 2 Particle size percentage distribution of Na₂SO₄ samples %

w/%	砂粒			粉粒		黏粒	
	中砂	细砂	极细砂	粗粉粒	细粉粒	粗黏粒	胶粒
0	3.496	7.705	0.107	69.764	6.621	5.686	6.621
0.2	3.498	7.711	0.196	72.788	6.584	3.958	5.265
0.4	3.501	7.723	0.227	73.871	5.675	3.788	5.215
0.6	3.511	7.728	0.324	74.098	5.507	3.627	5.205
0.8	3.514	7.732	0.428	78.413	3.683	3.592	2.638
1.0	3.518	7.737	0.448	80.514	2.633	3.018	2.132

由表1-2可知,对于氯盐和硫酸盐试样,在砂粒范围内,土颗粒占比变化不太明显,总体上呈现出增大的趋势,在粉粒范围内,随着盐分质量分数的增加,粗粉粒占比逐渐增大,细粉粒占比逐渐减小,在黏粒范围内,随着盐分质量分数的增加,土颗粒占比逐渐减小.硫酸盐对遗址土体颗粒级配的影响要比氯盐的显著.

在砂粒组,土颗粒占比的变化不明显,表明盐分对砂粒范围内的颗粒粒径作用不显著.整体上随着盐分质量分数的增加,砂粒组颗粒的占比呈现出增加的趋势.

在粉粒组,随着盐分质量分数的增加,粗粉粒占比逐渐增加,细粉粒占比逐渐减少.盐分对细粉粒具有团聚作用,使得细粉粒占比相对减少,粗粉粒占比相对增加,并且硫酸盐对土颗粒粒径的影

响比氯盐的显著。

在黏粒组,随着盐分质量分数的增加,粗黏粒和细黏粒的占比均减少。盐分对黏粒具有团聚作用,并且硫酸盐对黏粒的影响比氯盐的显著。

盐分对土体颗粒粒径的大小有影响,硫酸盐对土体颗粒级配的影响比氯盐的显著。由于盐分的加入,盐分作为电解质对细粉粒和黏粒产生的团聚作用,会对利用斯托克斯定理测试土体的颗粒级配产生影响。

3.2 界限含水率试验结果

由于盐分的加入,试样的液限含水率和塑限含水率明显降低,并且随着盐分质量分数的增加,试样的液限含水率和塑限含水率以及塑性指数均逐渐减小,说明由于盐分的加入,使得试样与水结合的能力减小,含盐土样在较低的含水率下即可达到可塑状态。遗址土体在含有盐分的情况下,由粉质黏土变为粉土,土体性状的改变会加速土遗址病害的形成和演化。因而,正确认识和预测界限含水率与含盐量的变化规律以及采取有效的治理措施,对防治土遗址病害的形成和演化具有重要意义。

基于含盐试样的界限含水率随盐分的增加呈现出减小的趋势,含盐量与界限含水率的相关分析结果如表3。

表3 含盐量与界限含水率相关分析

Table 3 Corresponding analysis between salt content and limit moisture content

盐分	W_L-w	W_p-w	I_p-w
NaCl	0.9310	0.9425	0.9882
Na ₂ SO ₄	0.9229	0.9221	0.9750

由表3可知,掺入NaCl, Na₂SO₄两种可溶盐,盐分质量分数 w 与界限含水率 W_L , W_p , I_p 均存在良好的相关关系。

运用回归分析法对含盐量与界限含水率进行回归分析,结果如表4。

表4 含盐量与界限含水率拟合关系

Table 4 Fitting relationship between salt content and limit moisture content

界限含水率	NaCl	Na ₂ SO ₄
W_L	$28.036e^{-0.324w}$	$27.423e^{-0.4254w}$
W_p	$17.891e^{-0.4276w}$	$17.481e^{-0.5067w}$
I_p	$10.147e^{-0.259w}$	$10.028e^{-0.3239w}$

掺入NaCl, Na₂SO₄两种可溶盐,盐分质量分数与界限含水率的回归方程都服从负指数法则,其判定系数均大于0.92,说明回归方程有效。

4 讨论

盐分的存在会对遗址土体的颗粒级配产生影响,盐分作为电解质对土粒产生团聚作用,使得黏粒被吸附,从而黏粒质量分数相对减少,进而影响到土体的界限含水率。由于盐分的加入,土体中孔隙水的盐溶液逐渐达到饱和,多余盐分则以晶体的形态存在于土颗粒之间,盐晶体的出现改变了土颗粒原有的粒度成分和排列方式,增强了土粒间的链接。盐晶体的存在也在一定程度上降低了土体可塑性。由于易溶盐溶解于土的孔隙水中,改变了水溶液的离子成分和浓度,当溶液浓度较高时,土颗粒表面的扩散层被压缩变薄,从而降低了土体的可塑性。这一结论与雷华阳等^[20]所做超氯盐渍土的结论一致。

土体的颗粒级配包括颗粒大小和各粒径成分在土中的占比,其中颗粒大小是影响土体性质的主要因素。土体中砂粒起着骨架作用,具有易透水、无黏性、遇水不膨胀、干燥时松散等特性;粉粒透水性小、湿时稍有黏性、遇水膨胀小、毛细上升高度较大较快、极易出现冻胀现象;黏粒的透水性很小,湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著,毛细上升高度大,但速度较慢。由于黏粒在土中的占比减少,使得试样的可塑性减弱,粉粒和砂粒在土中占比的变化,也将导致土体的渗透性、崩解性等水理性质和力学性质发生变化。

土遗址病害大多是由于盐分的存在而引发的盐害,由于盐分的存在会使土体的性状发生质的变化,土体由原来的粉质黏土变为粉土,在西北地区干旱、半干旱以及集中降雨的特殊环境条件下更容易诱发病害的产生。

5 结论

由于盐分的加入,盐分作为电解质对细粉粒和黏粒产生团聚作用,导致土体的颗粒级配发生变化,细粉粒和黏粒占比相对减少,粗粉粒和砂粒的占比相对增加,盐分对遗址土体的颗粒级配有影响。

硫酸盐对遗址土体颗粒级配的影响比氯盐的显著。

随着盐分质量分数的增大,含盐土样的液限含水率、塑限含水率和塑性指数均逐渐减小,土体的可塑性逐渐减弱,试样更容易进入可塑状态,由于盐分的加入,黏粒占比逐渐减少,土体由粉质黏土转变为粉土。

盐分质量分数与界限含水率存在较为良好的相关关系,回归方程服从负指数法则。

参考文献

- [1] 潘别桐,黄克忠.文物保护与环境地质[M].武汉:中国地质大学出版社,1992:15-50.
- [2] 丘富科.中国文化遗产词典[M].北京:文物出版社,2009:10-45.
- [3] 黄四平,李玉虎,赵玉杰.遗址土壤中盐分分布规律探索[J].陕西师范大学学报:自然科学版,2010,38(5):51-55.
- [4] 赵海英,李最雄,韩文峰,等.西北干旱区土遗址的主要病害与成因[J].岩石力学与工程学报,2003,22(增刊2):2875-2880.
- [5] 赵海英,王旭东,李最雄,等.PS材料模数、浓度对西北干旱区土遗址加固效果的影响[J].岩石力学与工程学报,2006,25(3):557-562.
- [6] 赵海英,李最雄,汪稔,等.PS材料加固土遗址风蚀试验研究[J].岩土力学,2008,29(2):392-396.
- [7] 孙满利,王旭东,李最雄.西北地区土遗址病害[J].兰州大学学报:自然科学版,2010,46(6):41-45.
- [8] 崔凯,谌文武,沈云霞,等.干旱、半干旱地区干湿与盐渍复合过程遗址土强度响应实验研究[J].中南大学学报:自然科学版,2012,43(11):4452-4456.
- [9] 崔凯,谌文武,韩琳,等.干旱区土遗址掏蚀区土盐渍劣化与风蚀耗损效应[J].岩土工程学报,2011,33(9):1413-1418.
- [10] 崔凯,谌文武,王旭东,等.干旱区夯土遗址干湿盐渍耦合劣化微观结构分析[J].中南大学学报:自然科学版,2013,44(7):2927-2933.
- [11] 崔凯,谌文武,匡静,等.干湿交替与盐渍双重作用下干旱和半干旱地区土遗址劣化效应[J].中南大学学报:自然科学版,2012,43(6):2378-2384.
- [12] 韩琳,谌文武,崔凯,等.盐分质量分数、含盐类别对山丹遗址土弹性波声速影响的实验[J].兰州大学学报:自然科学版,2010,46(6):18-22.
- [13] 张明泉,张琳,王旭东,等.考古现场土遗址保护中环境干湿度判定指标体系的建立与应用[J].兰州大学学报:自然科学版,2013,49(4):465-469.
- [14] Dexter A R, Kroesbergen B, Kuipers H. Some mechanical properties of aggregates and the effects of wetting and drying cycles[J]. Netherlands Journal Agric Sci, 1984, 32(2): 21-27.
- [15] Barzegar A R, Oades J M, Rengasamy P. Soil structure degradation and mellowing of compacted soils by saline-sodic solutions[J]. Soil Sci Soc Americ Journal, 1996, 60(2): 583-588.
- [16] Rao S M, Reddy B V V, Muttharam M. The impact of cyclic wetting and drying on the swelling behavior of stabilized expansive soils[J]. Engineering Geology, 2001, 60: 223-233.
- [17] 柴寿喜,王沛,魏丽,等.含盐量对滨海盐渍土物理及水理性质的影响[J].煤田地质与勘探,2006,34(6):47-50.
- [18] 张洪萍,张立松.新疆北部地区盐渍土基本性质试验的研究[J].山西交通科技,2006,179(2):10-12.
- [19] 中华人民共和国水利部. GB/T50123-1999. 土工试验方法标准[S].北京:中国计划出版社,1999.
- [20] 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.

(责任编辑:王春燕)