

土质对可溶盐危害影响的关系探究 ——以秦陵百戏俑坑为例

周莉莉¹, 夏寅^{2,3}, 张尚欣³, 付倩丽³, 孙满利⁴

(1. 广西文物保护与考古研究所, 广西南宁 530001; 2. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 陕西西安 710049;

3. 陶质彩绘文物保护国家文物局重点科研基地(秦始皇帝陵博物院), 陕西临潼 710600; 4. 西北大学文化遗产学院, 陕西西安 710069)

摘要:为探讨不同遗址土质对可溶盐危害影响的关系,以秦陵百戏俑坑为对象,对百戏俑坑包括温湿度等赋存环境、含水率、含盐种类、含盐量、土质及本体等进行调查分析。根据调查结果选取密度和粘粒含量两个影响土质的重要因素,制作不同密度及不同粘粒含量的模拟块进行温湿度循环实验,探讨这两个因素对遗址盐害的影响。从实验结果中得知,当这两个变量发生变化时,土块盐害程度呈现随着密度和粘粒含量的增大呈现先下降后升高,最后降低的趋势。并将实验得出的盐害规律与百戏俑坑土质对照,评估与讨论百戏俑坑的盐害程度及盐害风险。

关键词:土遗址;盐害;密度;粘粒

中图分类号: K854.3 **文献标识码:** A

0 引言

土遗址是以土为主要材料的古遗址,是人类生活、生产,进行宗教、军事活动的重要历史载体之一。但土遗址也是遗址文物中最难保存的一类文物之一,土质遇水易崩解、松散,水在土体中运移,往往附带可溶盐离子移动并在土体表面富集。可溶盐在土体表面富集,随着环境的干湿循环,重复地溶解结晶,使土体强度降低,造成酥碱、片状剥落、根部掏蚀,威胁土遗址安全。水盐运移产生的病害是土遗址普遍存在的一种病害,也是有待解决的一个难题。

国外对于盐害的研究起步较早并取得大量的研究成果,但主要集中在石质建筑、砖体、混凝土方面,土遗址的盐害问题还是涉及得比较少,这可能是由于他们的历史遗迹以石质建筑为主。关于盐的危害,目前都普遍认同以下三点:1)盐分随水分运移;2)盐在空隙中结晶膨胀是造成破坏的主要原因;3) Na_2SO_4 和 NaCl 是造成破坏的主要盐分,尤其是 Na_2SO_4 。土是由岩石风化形成的,土和岩石都属于多孔材料,盐在石质文物中的破坏机理研究,对土遗址盐害研究有一定的借鉴作用。早期的研究更多地关注影响盐结晶的某一单一因素,如环境、石材孔隙等,近些年却更多综合各方面因素,从结晶动力学、

热力学方面研究,运用更多的手段追踪盐分的分布和来源^[1-8]。

国内对于土遗址盐害及水盐运移方面也有一些相关的研究,但主要是针对西北部地区,并且研究起步较晚,实验室内研究较多,用于实践上还比较少。实验室内研究包括盐的定性分析^[9-10],以及不同含盐量的土块抗压、抗剪能力、抗风蚀能力变化实验以及声波传递速度变化实验^[11-15]。

土遗址盐害的影响因素可以分为外因和内因。外因即外在的环境因素,包括温湿度、地下水等;内因即是土本身的因素,包括密度、孔隙、土粒组成、团粒结构、矿物种类及含量、比重、塑性指数、湿陷性、盐的种类及含量、含水率等。关于盐对岩土的影响的研究涉及的方向比较多,但少有涉及土体本身的因素。本实验将从土本身的因素出发,研究土体本身对盐害的“抵抗能力”。土壤的孔隙大小对盐结晶有重要的影响^[2],但是土壤孔隙大小在实验中难以模拟,而密度可以反映土壤的孔隙率,在一定程度上也能反映孔隙大小。而且由于粘粒对自由水和絮凝作用的影响,使得粘粒含量对土的抗剪切力、塑性等有直接影响^[16]。由土壤有机无机胶体通过多价阳离子的静电作用黏结形成了土壤团粒结构^[17]。塑性指数则综合反映了土的粘粒或亲水矿物的含

收稿日期:2015-05-27;修回日期:2016-04-25

基金项目:国家科技支撑计划资助(2012BAK14B02)

作者简介:周莉莉(1989—),女,西北大学文化遗产学院硕士研究生,文物保护方向。E-mail: zhoulili19890508@163.com

通讯作者:夏寅(1974—),研究馆员, E-mail: xiayin2000@hotmail.com

量。土的湿陷性也是由于土壤中颗粒组成影响,遇水时水对土中各种胶结物的软化作用,土的强度突然下降便产生湿陷现象^[18]。含水率变化对盐分的迁移、溶解、结晶也有着重要影响,但由于含水率反映了土的干湿程度,受到地下水、蒸发量等外界因素影响,也可以通过外界环境控制来影响其变化。

综上所述,孔隙和颗粒组成是影响土的性质的两大重要因素,并且盐害有重要影响。本次实验中将以密度变化代表孔隙变化;土的粘粒含量对土质有重要影响,实验中将以粘粒变化代表颗粒组成变化。实验以百戏俑坑为对象,制作不同密度和粘粒含量的土块进行实验,得到不同土质对盐耐受力的规律,并作为评估百戏俑坑盐害程度及预测其盐害发展的依据。

1 百戏俑坑调查

百戏俑坑属于地下坑道式土木结构遗址,经夯筑而成。通过对百戏俑坑进行盐害调查,并对其所处的环境及其本体进行监测及取样分析,调查结果为盐害病害主要分布在南北两个隔墙上,对北壁中部潮湿泛白黄土进行 XRD 分析 NaCl 含量为 0.52%,Na₂SO₄ 含量为 0.37%;填土含盐量约为 0.06%;遗址所在环境一年的湿度变化大致在 35%~90% 范围内;温度变化大致在 10~25℃ 之间;土壤含水率大约为 10%~15%,表层含水率较深处低;在土质方面,秦陵遗址土样及填土土样密度都不高,孔隙率偏高,隔墙土样粘粒含量较低、塑性指数较低,为粉土,其它土样为粉质粘土。土工分析结果见表 1。

表 1 土工试验分析结果
Table 1 Results of geotechnical test

样品	干密度 /g·cm ⁻³	比重	孔隙率/%	液限/%	塑限/%	塑性指数	液性指数	颗粒组成/mm		
								2>d>0.075	0.075>d>0.005	d<0.005
南隔梁 1	1.55	2.70	41.6	39.0	30.1	8.9	<0	41.8	48.8	9.4
南隔梁 2	1.54	2.70	42	38.9	30.2	8.7	<0	34.6	54.2	11.2
北隔梁	—	—	—	37.7	28.7	9.0	<0	35.5	51.8	12.7
表面	—	—	—	28.5	17.9	10.6	<0	11.1	62.1	26.8
秦陵 (1.0~1.2m)	1.55	2.71	42.8	27.8	17.0	10.8	<0	—	粉质粘土	—
秦陵 (1.5~1.7m)	1.45	2.71	46.4	29.0	17.6	11.4	<0	—	粉质粘土	—

2 实验样品和方法

2.1 土块制作

取秦始皇帝陵百戏俑坑填土,将所得原始土样烘干后,用土工筛筛分为 d(直径)<0.05mm 的粘粒,0.05mm<d<0.075mm 的粉粒,0.075mm<d<0.25mm 的细砂粒以及土粒直径 d<0.5mm 的土。将土按所需比例混合,加入一定量的水和盐,搅拌均匀,放入塑封袋中静置 48h 以上,使水、盐、土充分混合。土过筛混合后,按每 100g 土加 1g 混合盐的量,含水率约为 15% 来制备实验用土。所用的盐为

NaCl 和 Na₂SO₄ 的混合盐,混合比例为 2:1。土块制作采用人工压样法,压样模具为圆柱体,直径 7cm,高 5cm。土块制作好后,用保鲜膜包裹土块侧面,防止水分从侧面蒸发,保证水分蒸发时单向向表面运移,盐分在表面结晶。

2.1.1 密度变化土块 密度变化组土块为探讨密度(孔隙率)变化对盐胀作用的影响,所用土样为过 0.5mm 土工筛土,分为有盐和无盐两组。由于是人工制样,经过尝试,密度小于 1.6 g/cm³ 的土块比较难成型,遂将密度组土块密度范围设置为 1.6~2.1g/cm³ 左右(表 2~3)。

表 2 密度变化组有盐土块
Table 2 The density change of the salted group of clod

编号	质量/g	密度/g·cm ⁻³	干密度/g·cm ⁻³	含水率/%	比重	孔隙率/%
1	301.8	1.634	1.435			47.82
2	317.4	1.718	1.509			45.14
3	338.0	1.831	1.608			41.53
4	357.3	1.934	1.698	13.87	2.75	38.24
5	376.2	2.036	1.788			34.98
6	414.4	2.197	1.929			29.84

表 3 密度变化组无盐土块

Table 3 The density change of the unsalted group of clod

编号	质量/g	密度/g · cm ⁻³	干密度/g · cm ⁻³	含水率/%	比重	孔隙率/%
①	301.8	1.634	1.435	13.87	2.75	47.82
②	317.8	1.720	1.510			45.07
③	338.0	1.830	1.607			41.56
④	358.3	1.940	1.704			38.05
⑤	375.2	1.990	1.748			36.45
⑥	406.8	2.157	1.894			31.12

2.1.2 粘粒变化土块 粘粒变化组主要为探讨粘粒含量对盐胀作用的影响,将粉粒与细砂粒等分混合,粘粒含量变化由 10% 到 100%,制作 10 个土块,土块数据见表 4~5。

表 4 粘粒变化组有盐土块

Table 4 Changes in salted clay group of clod

编号	粘粒含量/%	质量/g	密度/g · cm ⁻³	干密度/g · cm ⁻³	含水率/%	比重	孔隙率/%
1	10	304.1	1.646	1.437	14.52	2.74	47.54
2	20	302.2	1.707	1.487	14.82	2.75	45.94
3	30	306.6	1.660	1.443	15.01	2.75	47.51
4	40	306.7	1.660	1.445	14.87	2.74	47.26
5	50	306.6	1.660	1.449	14.53	2.73	46.92
6	60	305.0	1.686	1.468	14.88	2.73	46.24
7	70	305.0	1.686	1.471	14.65	2.74	46.33
8	80	305.9	1.622	1.411	14.93	2.75	48.68
9	90	307.1	1.663	1.441	15.44	2.75	47.61
10	100	304.1	1.646	1.442	14.18	2.74	47.39

表 5 粘粒变化组无盐土块

Table 5 Changes in unsalted clay group of clod

编号	粘粒含量/%	质量/g	密度/g · cm ⁻³	干密度/g · cm ⁻³	含水率/%	比重	孔隙率/%
①	10	301.7	1.633	1.423	14.73	2.75	48.24
②	20	302.8	1.639	1.436	14.14	2.74	47.59
③	30	306.0	1.623	1.409	15.21	2.75	48.78
④	40	303.9	1.645	1.434	14.68	2.75	47.84
⑤	50	303.5	1.609	1.404	14.64	2.74	48.78
⑥	60	304.8	1.650	1.435	14.95	2.73	47.42
⑦	70	306.1	1.657	1.450	14.30	2.75	47.28
⑧	80	304.8	1.650	1.439	14.67	2.75	47.67
⑨	90	304.9	1.650	1.449	13.87	2.74	47.12
⑩	100	301.4	1.632	1.420	14.93	2.76	48.55

对照遗址调查中百戏俑坑的土质分析数据,土样干密度在 1.45 ~ 1.55g/cm³ 左右,粘粒含量在 10% ~ 20% 左右,孔隙率在 42% 左右,但也有高达 46% 的。整体来看,密度组实验制作土块设置在合理范围内。

2.2 循环实验

土块放至气候箱中,通过调节气候箱温湿度变化,加速盐分溶解结晶循环,实现加速盐害生成目

的,气候箱型号为 Binder KBWF240。温湿度循环气候箱设置高温高湿和低温低湿两种模式,气候箱高温高湿设置为 $t = 30^{\circ}\text{C}$, $RH = 90\%$,低温低湿设置为 $t = 5^{\circ}\text{C}$, $RH = 10\%$ 。由人工进行切换,高温高湿与低温低湿循环一次设置的时间是 7 天,8 次循环,共计 56 天。由于气候箱由高温高湿与低温低湿之间的调节需要一定的时间,实际在最高值或最低值时间为 2 天;且由于气候箱高温高湿条件比较容易达

到,低温也很容易达到,但湿度较难下降,并且低湿条件一般只能达到 40% ~ 50%,很难降到 40% 以下。根据遗址赋存环境的调查结果,百戏俑坑赋存环境在冬季相对湿度在 35% ~ 68% 波动,气候箱这样的湿度条件进行实验也是可行的。

2.3 盐胀损坏量计算

无盐土块经温湿度循环实验后表面基本无变化,而有盐土块表面变疏松,大块的团粒“分解”成小颗粒。由于盐胀作用将表面的土顶起,表面产生一些“凸起”,表面由原来的相对平整变得凹凸不平。图 1 ~ 2 为密度有盐组 5 号土块实验前后照片。拍照工具为普通佳能相机。

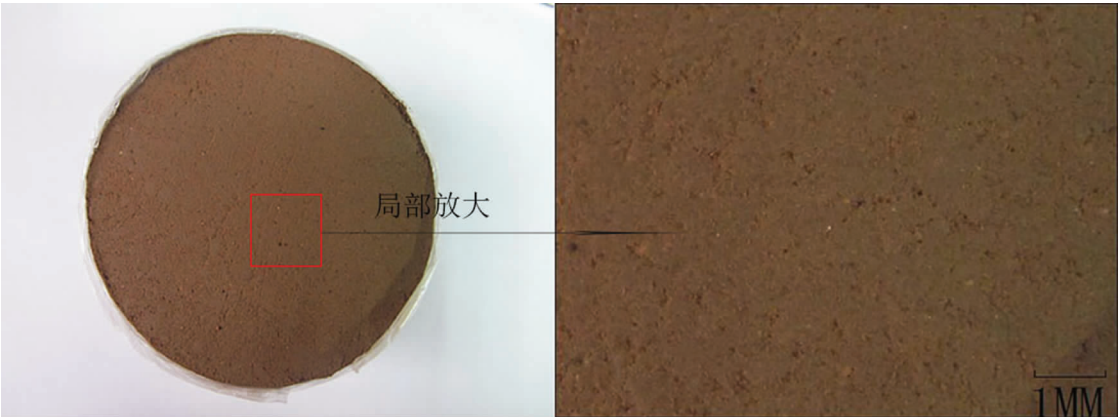


图 1 密度组有盐土块 5 号实验前
Fig. 1 Density group salt clod NO. 5 before the experiment

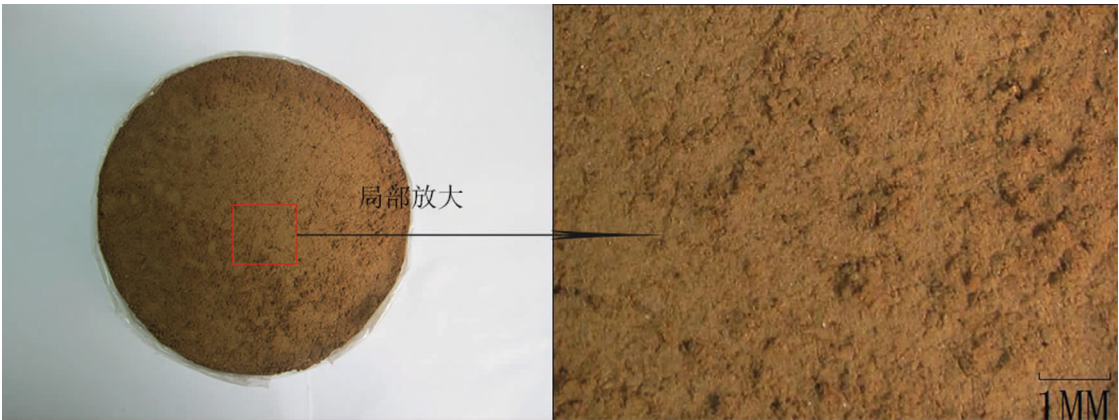


图 2 密度组有盐土块 5 号实验后
Fig. 2 Density group salted clod NO. 5 after the experiment

通过拍照虽然能观察到土块表面的盐害损坏,但无法定量。此前课题组探究土的安全含盐量时利用超景深显微镜评估盐胀破坏程度取得良好效果,丰富了土遗址研究方法^[19]。由于盐结晶体体积膨胀将土块表面的土顶起在表面形成高低不平的“凸起”,使用超景深三维扫描系统(型号 VHX - 5000, 倍率 200X)扫描土块表面得到土块的表面轮廓曲线,通过计算“凸起”面积定量盐害损坏量。三维扫描单次扫描的范围较小,因此采用 6 × 6 的方式进行 3D 拼接,获取一系列的表面数据,得到表面轮廓曲线,如图 3 所示。但是,经过 6 × 6 拼接后得到的轮廓线长度约为 13mm,对每个土块扫描多个点,得到多条轮廓线,将曲线导入 CAD 中统计每条轮廓线“凸

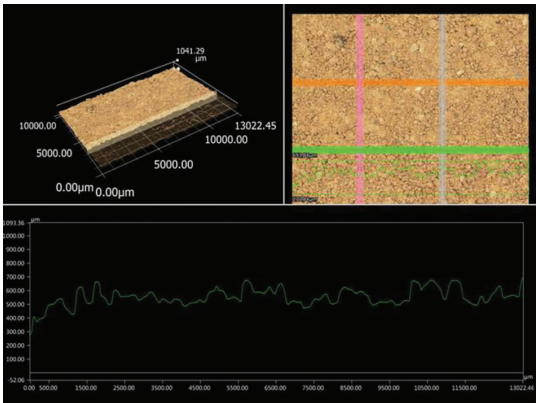


图 3 3D 超景深扫描得到土块轮廓曲线示意图
Fig. 3 The 3D microscope shooting surface contour diagram of the earth

起”的面积,如图 4 所示,再计算平均值。由于无盐土块表面基本无变化,有盐土块与无盐土块凸起面积的差值可视为“单位长度”(13mm)的盐胀损坏量。

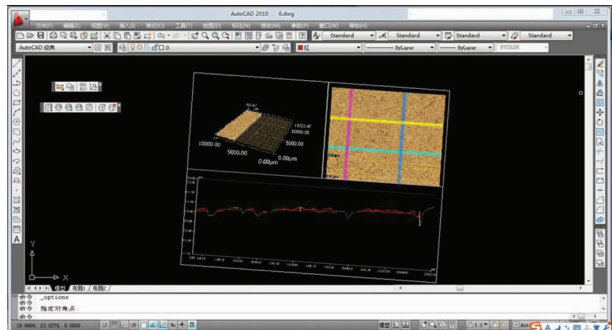


图 4 CAD 中计算轮廓线“凸起”面积

Fig.4 Calculation of uplift area in CAD

不同密度空白样品与盐胀样品表面单位长度横截面凸起面积计算结果见图 5,不同粘粒含量空白样品与盐胀样品表面单位长度横截面凸起面积计算结果见图 6。

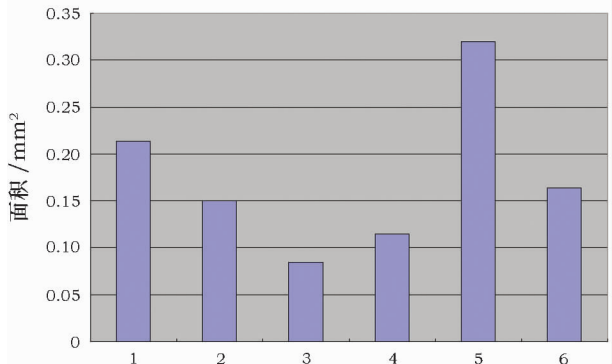


图 5 密度组盐胀差值

Fig.5 The difference of salt expansion in density group

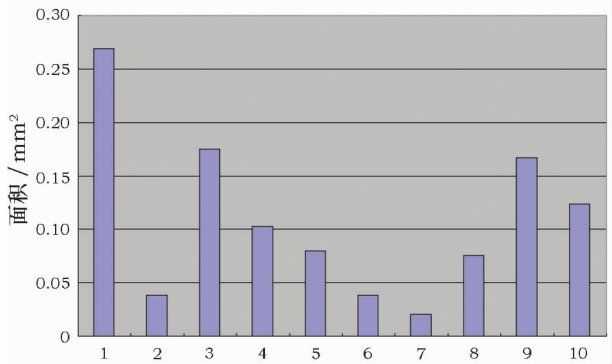


图 6 粘粒组盐胀差值

Fig.6 The difference of salt expansion in clay group

3 结果和讨论

从图 5 中可看出随着密度的增大,盐胀作用先

降低后升高再降低。在前人的研究中,土壤孔隙越大,盐结晶对孔隙壁产生的结晶压力就越小^[2]。随着密度的增大,土块的孔隙率会逐渐减小,强度逐渐增大。虽然盐结晶产生的压力越来越大,但是土块的强度也在变大。而这两者的变化率是不一致的,所以盐胀破坏作用并不随着密度增加而单调递增或递减。

从图 6 可看出当粘粒含量变化在 10% ~ 70% 间时,随着粘粒含量的升高,土块盐胀作用逐渐减少。当粘粒含量变化在 70% ~ 90% 时,盐胀作用组件增大。但当粘粒含量达到 100% 时盐胀作用又有所降低。在前人的研究中,不同类型的盐土其盐胀性状不同,通常粉土的盐胀量比粘土高一个数量级^[20]。土体颗粒是大量晶粒的团聚,较小的晶粒使得土体的灵敏度提高,容易随着土体干湿的波动,导致遗址表面开裂^[21]。故推断土体的盐胀作用先随着粘粒含量的增加而降低,但达到一定程度后,由于细小颗粒太多,土体灵敏度大大增加,盐胀作用反而增大。而当粘粒含量达到 100% 时,虽然灵敏度增加了,但是这时所有的土粒可以看成“一个整体”,相较于混合体系“各向异性”降低了,所以盐胀作用又有所降低。

粘粒组的 2 号样品的异常情况可能是在制作过程中多次打散重塑导致团粒结构发生变化。而土壤团粒结构对调节土壤水分及空气有重要作用^[17],因而影响了盐胀作用。但团粒结构对盐害作用的影响还有待研究。

4 结 论

通过循环实验,观测以密度、粘粒含量作为变量对土块盐害的影响,初步得到以下结论:

1) 在同一条件下,随着密度增大,土块盐害损坏量呈先降低再升高再降低趋势,土遗址密度过高或过低都容易发生盐害;随着粘粒含量的增加,盐害损坏量基本呈先降低后升高再降低趋势,最低点粘粒含量为 70%,最高点粘粒含量为 10%。可见,在对盐害的耐受力方面,土中粘粒含量过高或过低都是不利的。

2) 秦陵百戏俑坑的调查显示,百戏俑坑隔墙的干密度为 1.55g/cm³,粘粒含量为 10% 左右。结合百戏俑坑的调查结果与实验得出盐害规律,百戏俑坑隔墙的土质为较容易发生盐害的土质,这也有可能是隔墙较于其他部位更容易发生盐害的原因之一。通过安全含盐量实验得知,土壤含盐量小于 0.1% 时遗址是相对安全的^[19],对比百戏俑坑的

分析数据,普通填土的含盐量为 0.06%,泛白部位的潮湿黄土含盐量为 NaCl:0.52%、Na₂SO₄:0.37%。由此可判断百戏俑坑属于整体盐害程度不深但局部盐害比较严重类型。将来如果要对百戏俑坑进行盐害治理,隔墙部分应该是重点关注对象。

参考文献:

[1] Rodriguez-Navarro C, Doehne E. Salt weathering: influence of e-vaporation rate, supersaturation and crystallization pattern [J]. Earth Surf Proc Landforms, 1999, **24**(3):191-209.

[2] Scherer G W. Crystallization in pores[J]. Cement Concrete Res, 1999, **29**(8):1347-1358.

[3] Scherer G W. Stress from crystallization of salt[J]. Cement and Concrete Res, 2004, **34**(9):1613-1624.

[4] Rijniens L A, Pel T L, Huinink H P, et al. Salt crystallization as damage mechanism in porous building materials - a nuclear magnetic resonance study[J]. Magn Resonance Imag, 2005, **23**(2):273-276.

[5] Steiger M, So'nke Asmussen. Crystallization of sodium sulfate phases in porous materials; The phase diagram Na₂SO₄-H₂O and the generation of stress[J]. Geochim Cosmochim Acta, 2008, **72**(17):4291-4306.

[6] Espinosa R, Franke L, Deckelmann G. Model for the mechanical stress due to the salt crystallization in porous materials[J]. Constr Build Mat, 2008(22):1350-1367.

[7] Ludovico Marques M, Chastre C. Effect of salt crystallization ageing on the compressive behavior of sandstone blocks in historical buildings[J]. Eng Failure Anal, 2012, **26**(26):247-257.

[8] Grossi C, Brimblecombe P, B. Menéndez, et al. Climatology of salt transitions and implications for stone weathering[J]. Sci Total Environ, 2011, **409**(13):2577-2585.

[9] 王永进,马涛,阎敏,等. 汉阳陵地下博物馆遗址表面白色物质分析研究[J]. 文物保护与考古科学, 2011, **23**(4):59-63.

WANG Yong-jin, MA Tao, YAN Min, et al. Analysis of white materials on the surface of a tome site, Hanyang underground museum[J]. Sci Conserv Archaeol, 2011, **23**(4):59-63.

[10] 黄四平,李玉虎,赵岗,等. 唐皇城含光门土遗址盐分病害分析与研究[J]. 土壤通报, 2012, **43**(2):407-411.

HUANG Si-ping, LI Yu-hu, ZHAO Gang, et al. Study and analysis on salt damages of earthen archaeological sites in Tang Hanguangmen Entrance Remains Museum[J]. Chin J Soil Sci, 2012, **43**(2):407-411.

[11] 沈云霞,谌文武,杜伟飞,等. 干湿循环下含盐量变化对遗址土剪切强度影响的试验研究[J]. 西北地震学报, 2011, **33**(增刊):227-230.

SHEN Yun-xia, CHEN Wen-wu, DU Wei-fei, et al. Testing study on influence of salt contents on shear strength of ancient relics soil at dry-wet cycle[J]. Northwestern Seismol J, 2011, **33**(suppl):227-230.

[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.

HAN Lin, CHEN Wen-wu, CUI Kai, et al. Influence of salt content and salt category on the elastic wave velocity of soil samples from ancient ruins in Shandan county[J]. J Lanzhou University (Nat Sci), 2010, **46**(6):18-22.

[13] 王晶,匡静. 特定盐分及含量遗址土盐渍化风蚀效应试验研究[J]. 甘肃科技, 2012, **28**(16):41-44.

WANG Jing, KUANG Jing. Experimental study on the effect of salt erosion of soil salinization and its content in ruins soil[J]. Gansu Sci Technol, 2012, **28**(16):41-44.

[14] 匡静,谌文武,沈云霞,等. 含氯盐遗址土盐渍风蚀效应试验研究[J]. 西北地震学报, 2011, **33**(增刊):209-212.

KUANG Jing, CHEN Wen-wu, SHEN Yun-xia, et al. Experimental study on saline wind erosion effect of chlorine-contained site soil[J]. Northwestern Seismological J, 2011, **33**(suppl):209-212.

[15] 陈雨,王旭东,杨善龙,等. 冻融循环作用下不同含盐土体微观结构变化初步研究[J]. 敦煌研究, 2013, **137**(1):98-107.

CHEN Yu, WANG Xu-dong, YANG Shan-long, et al. A preliminary study of the freeze-thaw cycle on the structure of earthen sites with different salts[J]. Dunhuang Res, 2013, **137**(1):98-107.

[16] 胡华. 粘粒含量对淤泥质软土流变参数的影响及其机理分析[J]. 岩土工程界, 2005, **8**(11):34-36.

HU Hua. Analysis of influence on the content of clay silt soft soil rheological parameters and its mechanism[J]. Geotech Eng World, 2005, **8**(11):34-36.

[17] 侯高礼. 土壤团粒结构及其促进形成[J]. 西北园艺, 2013(1):52-53.

HOU Gao-li. Soil aggregate structure and its promote formation[J]. Northwest Horticul, 2013(1):52-53.

[18] 高向阳. 土力学[M]. 北京:北京大学出版社, 2010.

GAO Xiang-yang. Soil mechanics[M]. Beijing. Peking University Press, 2010.

[19] 张晓英,夏寅,周莉莉. 秦陵陪葬坑土遗址安全含盐量探究[J]. 文物保护与考古科学, 2016, **28**(4):19-25.

ZHANG Xiao-ying, XIA Yin, ZHOU Li-li. Soluble salt content and safety level in the Qin Mausoleum complex earthen site pits[J]. Sci Conserv Archaeol, 2016, **28**(4):19-25.

[20] 蔺青涛,王旭东,郭青林,等. 银川西夏陵 3 号陵、6 号陵盐害现状初步分析[J]. 敦煌研究, 2009(6):75-80.

LIN Qing-tao, WANG Xu-dong, GUO Qing-lin, et al. Preliminary analysis of salt damage of 3 Ling and 6 Ling in West Xia Ling, Yinchuan[J]. Dunhuang Res, 2009(6):75-80.

[21] 蔺青涛,郭青林,王旭东,等. 南京报恩寺遗址土工程地质特征[J]. 敦煌研究, 2011(6):76-81.

LIN Qing-tao, GUO Qing-lin, WANG Xu-dong, et al. The relationship between the engineering-geological characteristic and the deterioration of the earth at Nanjing Baoensi Temple[J]. Dunhuang Res, 2011(6):76-81.

Research on the influence of soil characteristics on the damage caused by soluble salt
—— “Acrobat figures” pit at the Emperor Qin’s Mausoleum as an example

ZHOU Li – li¹, XIA Yin^{2,3}, ZHANG Shang – xin³, FU Qian – li³, SUN Man – li⁴

- (1. Guangxi Institute of Heritage Preservation and Archaeology, Nanning 530000, China;
- 2. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi’an Jiaotong University, Xi’an 710049, China;
- 3. Key Scientific Research Base of Ancient Polychrome Pottery Conservation(Emperor Qinshihuang’s Mausoleum Site Museum), State Administration for Cultural Heritage, Lintong 710600, China;
- 4. Northwest University, Xi’an 710069, China)

Abstract: To evaluate the influence of site soil on damage caused by soluble salts, the “Acrobat figures” pit in the Emperor Qinshihuang’s Mausoleum were used as an example. The site environment, including temperature and humidity and the water content, salt types, soil components were surveyed. To do the research, density and clay content were selected as two important properties of soil. Simulation studies using blocks of soils having various densities and clay contents were designed. The blocks were subjected to specific temperature and humidity cycling conditions to investigate how these two factors affect the damage caused by the salt. It is found that when soil density and clay content change, the damage caused by the changes accordingly. The results with the damage caused salt at the “Acrobat figures” site were compared and the damage degree and risks were evaluated.

Key words: Earthen sites; Salt caused damage; Density; Clay

(责任编辑 谢 燕)