

文章编号: 1673-5196(2015)01-0145-04

砂类盐渍土起胀含盐量的试验探讨

米海珍¹, 陈高锋¹, 杨鹏¹, 黄建明¹, 刘亚峰²

(1. 兰州理工大学 岩土工程研究所, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃省电力设计院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 目前对盐渍土起胀含盐量的判定多是通过不同学者拟合的盐胀率计算公式反推算求得的, 其结果莫衷一是, 因此需采用试验方法予以明确. 试验选择 8 种不同孔隙率(级配)的土样, 在单次降温条件下观测其是否发生盐胀变形. 通过试验发现: 砂土起胀含盐量随着孔隙率增长呈现出先长后降的规律, 这一规律在不同含水量条件下都有体现. 这一现象与盐分在土颗粒间的结晶位置发生改变有关. 孔隙率较小时, 土壤饱和度较高, 盐分多在孔隙内部结晶析出; 当孔隙率增加后, 土饱和度降低, 盐分则转移到水膜较厚的颗粒接触点位置析出, 因此启动盐胀所需盐分减少, 起胀含盐量下降.

关键词: 粗颗粒; 硫酸盐; 盐渍土; 起胀含盐量

中图分类号: TU443 **文献标识码:** A

Experimental exploration of salt content for swelling initiation of sandish saline soil

MI Hai-zhen¹, CHEN Gao-feng¹, YANG Peng¹, HUANG Jian-ming¹, LIU Ya-feng²

(1. Institute of Rock-Soil Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. Gansu Electric Power Design Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract: At present, the discrimination of the salt content for initiating the saline soil swelling is made generally by reverse calculation on the basis of formula of salt swelling rate fitted by different scholars, so that it is difficult to decide which is right. Therefore, the decision shall be made by using experimental method. In the experiment the soil samples with eight kinds of void ratio were chosen and it was observed whether swelling deformation occurred in single cooling condition. It was found that with the increase of void ratio, the salt content for swelling initiation would increase at first and then decrease, and this phenomenon would occur in the case of different water content. This phenomenon was related to the position change of salt crystals. When void ratio was low, the soil saturation degree would be higher, the salt crystals would occur almost inside the void. But with the increase of void ratio and lower soil saturation degree, the salt crystals would occur on the particle contacting point on the thicker water film, so that the salt content for swelling initiation would decrease.

Key words: coarse particles; sulphate; saline soil; salt content for swelling initiation

硫酸(亚硫酸)盐渍土的盐胀量受含盐量的直接影响, 明确起胀含盐量是判定其是否发生盐胀变形的最直接、有效的方法. 目前, 国内学者关于含盐量对盐胀量影响的定量研究不断取得新的成果, 如袁红、李斌等^[1]对细颗粒硫酸盐渍土起胀含盐量和允许含盐量进行过实验研究; 张莎莎、杨晓华^[2-4]、包卫星等^[5]对天然粗颗粒盐渍土多次冻融循环下的盐胀

变形规律进行了详细的研究; 王俊臣等人^[6-7]对硫酸(亚硫酸)盐渍土盐胀与冻胀变形建立了预报模型, 并与原位观测进行对比; 牛玺荣、高江平等^[8]建立了硫酸盐渍土纯盐胀、期盐胀关系式. 这些研究都试图建立含盐量与盐胀量之间的数学关系, 并通过实验或计算来获知起胀含盐量或允许含盐量值. 但是上述成果对一些问题仍未解决. 本次研究起胀含盐量与孔隙比之间的相互关系, 在不同含水量情况下呈现相似性, 因此盐分在土颗粒中结晶析出的位置会随着孔隙比的增加而改变.

收稿日期: 2013-12-31

作者简介: 米海珍(1956-), 男, 甘肃镇原人, 博士, 教授.

1 试验目的与方法

1.1 试验目的

从敦煌地区采集了 28 份土样,并从中选取 8 组代表性级配,采用 $d=159\text{ mm}$, $h=300\text{ mm}$ 的土柱试样(砂类土膨胀量不能用膨胀仪测试,体量过小试验数据偏差较大),分别测定各种级配土样的孔隙比 e . 通过单次降温试验测量土样的盐胀率 η . 评价土样是否发生盐胀的标准为 $\eta=0.1\%$ (试验仪器精度较高,任何微小扰动均有可能影响百分表测的读数). 能使土样盐胀率 $\eta=0.1\%$ 的含盐量就是各类砂土的起胀含盐率 ω_0 .

1.2 试验设备

试验设备包括 3 部分:装样桶、降温装置和测量装置. 装样桶内径 15.9 cm ,高 30 cm ,内壁光滑;桶壁为一空腔水槽,用来循环制冷液对土样降温,样桶外包保温材料以减少温度损失;样桶盖为厚 1.0 cm 的不锈钢圆盖. 降温装置为 DL2010 型低温槽,变温幅度为 $-20\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$;温控精度为 $0.1\text{ }^\circ\text{C}$. 测量装置分为变形测量和温度测量两部分,测量变形所用的仪器为百分表,每个样桶安装 3 支百分表,等距离安

装在样桶顶端,通过测量顶盖的抬升来测量土体胀量;3 只表的平均值为土样的盐胀量;温度测量采用 YH5000 系列温度测量仪,测量为 $-40\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$,精度为 $0.1\text{ }^\circ\text{C}$;温度探头布置在土样 15 cm 高度处,通过读数仪测量土核温度. 试验装置如图 1 所示.



(a) 装样桶及低温槽 (b) 温度测量仪

图 1 试验装置

Fig. 1 Experimental device

1.3 试样制备

对在野外采集的土样进行清洗(至清洗液滴定 BaCl 溶液无显色反应为止),烘干,筛分,按粒组成分盘待用. 试验选取了 8 个典型级配,各级配土样的物理指标如表 1 所示. 试验土样孔隙比 e 按表 1 配置. 土样的含水量均为 7% (因为此类土的最佳含水率约为 6.8% ,而且含水量高于此值时将引起冻胀变形).

表 1 试验土样级配及孔隙率情况

Tab. 1 Gradation and void ratio of soil samples

级配 编号	级配				孔隙比 e	饱和度 /%	干密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
	0.075~0.25	0.25~0.50	0.50~1.00	1.00~2.00			
1	15	15	20	50	0.43	47.5	1.80
2	15	15	30	40	0.47	42.1	1.78
3	10	10	20	60	0.53	38.5	1.71
4	10	10	10	70	0.55	35.6	1.75
5	10	20	30	40	0.57	31.5	1.64
6	80	0	10	10	0.58	31.0	1.58
7	0	0	50	50	0.59	30.8	1.64
8	0	50	50	0	0.63	29.2	1.61

1.4 试验条件

土样制备好后,将养生 24 h 的土样分 3 层填入装样桶,每层土用标准击实仪击实 25 次,待温度计和百分表安装完毕后静待 1 h 之后开始降温. 试验发现经击实的土样在装样后 1 h 会发生微小胀量,此现象应与土体回弹有关. 单次降温过程 $20\text{ }^\circ\text{C}\rightarrow 5\text{ }^\circ\text{C}\rightarrow 0\text{ }^\circ\text{C}\rightarrow -5\text{ }^\circ\text{C}\rightarrow -10\text{ }^\circ\text{C}$. 每一级降温过程持续 12 h,共经历 48 h,待土样变形稳定后,读取数据并撤样.

2 试验结果与分析

2.1 含水量 7% 时各级配土起胀含盐率试验结果

试验测试了每一种级配土样在 5 个不同含盐量情况下,单次降温过程中的盐胀率 η . 试验结果如表

2 所示. 因为试验很难准确找到起胀含盐量,所以,当满足盐胀率 $\eta=0.1\%$ 的含盐量落在某两个含盐量区间内,起胀含盐量就在这两个含盐量之间用插值法取值.

表 2 中所列的测量值为平行试验中两次测量值的平均值,试验未舍弃相关试验数据. 从图 2 中的这些曲线可以看出,当土样的含盐量尚未达到起胀含盐量 ω_0 时,土体的盐胀率 η 随含盐量 ω 的增加增幅较小,曲线往往较为平滑;而当土样的含盐量 ω 超过起胀含盐量 ω_0 之后,土样的盐胀率 η 会出现较为剧烈的增长. 观察发现,几乎每一条曲线的最初段都有一小段较为水平的区间,之后曲线开始抬头,拐点恰好位于胀率 $\eta=0.1\%$ 附近. 这也说明在盐胀率 $\eta\leq 0.1\%$ 时,含盐量的增长并没有引起胀率 η 的显著

增长. 判定砂类土是否发生盐胀的界限应该定义为盐胀率是否达到 0.1%.

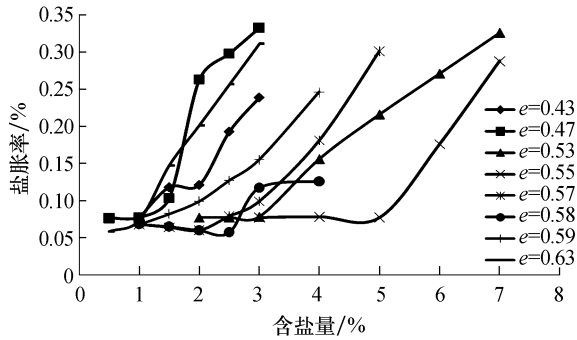


图 2 各级配土样的盐胀率

Fig. 2 Salt swelling rate of various types of graded soil samples

2.2 起胀含盐量与孔隙比的关系

结合表 1、2, 可以绘制出起胀含盐量 ω_0 与孔隙比 e 之间的关系曲线, 如图 3 所示. 土样孔隙比 e 和起胀含盐量 ω_0 的关系可用分段函数来表达. 起胀含盐量 ω_0 的最大值出现在孔隙比 e 等于 0.55 处. 当孔隙比 e 低于此值时, 土样的起胀含盐量 ω_0 随着孔隙比 e 的增加而增加, 两者呈现二次抛物线单调递增关系; 当孔隙比高于此值时, 土样的起胀含盐量 ω_0 反而随着孔隙比 e 的增加而降低, 两者呈现二次抛物线单调递减关系. 由此也可以看出, 对砂类土而言, 起胀含盐量 ω_0 并不随着孔隙比 e 增加呈现单调递增的趋势. 方程组如下所示.

当土样孔隙比 $e < 0.55$ 时:

$$\omega_0 = 394.07e^2 - 356.95e + 81.937 \quad (1)$$

$$R^2 = 0.9613$$

当土样孔隙比 $e > 0.55$ 时:

$$\omega_0 = 636.36e^2 - 800e + 252.54 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.9801$$

式中: ω_0 为起胀含盐量, %; e 为孔隙比; R^2 为公式相关系数.

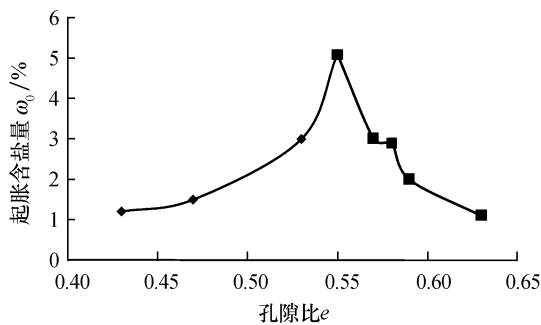


图 3 含水量 7% 时孔隙比与起胀含盐量的关系

Fig. 3 Relationship of void ratio to salt content for swelling initiation under condition of 7% water content

表 2 各类砂土起胀含盐量试验结果

Tab. 2 Experiment result of salt content for swelling initiation of various types of sand

土样级配	含水率 %	含盐量 /‰	盐胀率 /%	起胀含盐量 /‰
1	7	1.0	0.076	1.2
	7	1.5	0.118	
	7	2.0	0.121	
	7	2.5	0.193	
	7	3.0	0.239	
	7	0.5	0.076	
	7	1.0	0.077	
	7	2.0	0.077	
2	7	1.5	0.103	1.5
	7	2.0	0.263	
	7	3.0	0.333	
	7	2.0	0.077	
	7	3.0	0.078	
	7	4.0	0.156	
	7	5.0	0.216	
3	7	7.0	0.326	3.0
	7	3.0	0.077	
	7	4.0	0.078	
	7	6.0	0.176	
4	7	7.0	0.288	5.1
	7	5.0	0.077	
	7	6.0	0.176	
	7	7.0	0.288	
5	7	1.0	0.068	4.3
	7	2.0	0.060	
	7	3.0	0.099	
	7	4.0	0.181	
	7	5.0	0.301	
	7	1.0	0.068	
6	7	2.0	0.060	3.3
	7	2.5	0.057	
	7	3.0	0.117	
	7	4.0	0.126	
7	7	1.0	0.068	2.2
	7	1.5	0.082	
	7	2.0	0.099	
	7	3.0	0.155	
8	7	4.0	0.245	1.2
	7	0.5	0.058	
	7	1.0	0.073	
	7	1.5	0.143	
7	7	2.0	0.201	
	7	3.0	0.311	

从图 3 可以看出, 含水量为 7%, 当孔隙率小于 0.55 时, 起胀含盐量会随着孔隙比的增大而增大; 当孔隙率大于 0.55 时, 起胀含盐量会随着孔隙比的增大而减小.

2.3 含水量 4% 和 10% 时各级配土的起胀含盐量

为了验证砂类土的起胀含盐量在孔隙比超过一定限值后会停止上升并出现明显下降的趋势, 试验还对以上 8 个级配土样在 4% 含水量和 10% 含水量情况下进行对比试验. 两种含水量情况下砂土起胀含盐量随孔隙比的变形曲线如图 4 所示.

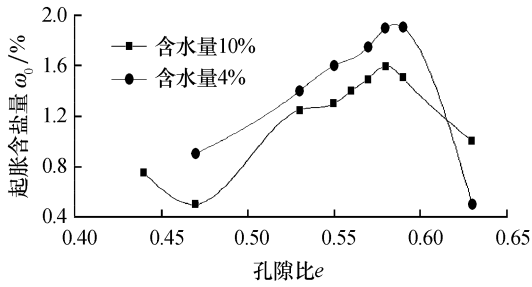


图 4 其他含水量时孔隙比与起胀含盐量的关系
Fig. 4 Relationship of void ratio to salt content for swelling initiation with other water content

从图 4 中也可以看出,当砂土孔隙比 e 高于一定值时,起胀含盐量会随着孔隙比 e 的增加出现下降趋势,这一变化规律已经较为明显.出现这种现象的原因与盐分结晶位置发生改变有关.当含水量一定时,土样孔隙率越低,其饱和度越高,大量盐溶液存在于颗粒孔隙中,由降温引起的盐分结晶析出多发生在颗粒孔隙之中,所以孔隙的多少决定着盐胀变形的大小;此时,启动盐胀变形所需的含盐量随着孔隙率的增加而增加.但是,当孔隙率高过一定限度时,其饱和度就会相应变小,颗粒之间的孔隙中不易保留水分,此时的盐溶液多以结合水膜的形式附着在土颗粒表面,盐分的结晶析出多发生在水膜较厚的颗粒接触点位置;此时虽然土体的孔隙比 e 增加了,但盐胀变形反而更加剧烈,启动盐胀变形所需要的含盐量也反而降低了.

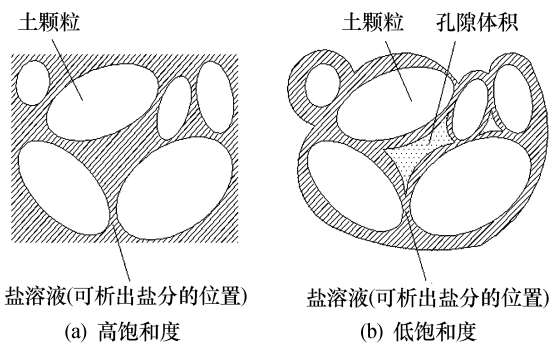


图 5 盐分结晶位置示意图

Fig. 5 Schematic diagram of salt crystallization locations

3 结论

试验选用孔隙比 e 在 0.43~0.63 内的砂土土样,具有一定的代表性.通过单次降温试验测定土样的起胀含盐量 ω_0 .通过对试验结果进行分析,可得

如下结论.

1) 通过试验,发现在砂类土盐胀率 $\eta \leq 0.1\%$ 时,各条“盐胀率 η -含盐量 ω ”变化曲线都有一小段较为水平的阶段,之后曲线出现抬头增长趋势,拐点恰好位于 $\eta = 0.1\%$ 附近.说明在砂土盐胀率大于 0.1% 之后,含盐量对盐胀率的影响才逐渐显现,所以,盐胀率 $\eta = 0.1\%$ 可作为砂类土发生盐胀变形的判据.

2) 砂类土的起胀含盐量 ω_0 与孔隙比 e 的关系可用分段函数表示, e 在 0.55~0.58 内时,砂土的起胀含盐量最高; e 低于此值时, ω_0 随着 e 增加而单调递增; e 高于此值时, ω_0 随 e 增加而单调递减.

3) 因为砂类土为透水性较好的土类,其持水性较差,所以含水量不可能较高,其饱和度也相应较低.起胀含盐量在孔隙比超过一定界限之后会出现下降的态势,其原因与盐分结晶析出位置改变有关.试验中当孔隙比 e 小于 0.55 时,盐分多在颗粒孔隙中结晶析出,起到骨架作用;而当孔隙比 e 高于 0.58 时,盐分则多在水膜较厚的土颗粒接触点位置结晶析出,增加了颗粒间的斥力,此时孔隙比虽然增加了,但盐胀变形更为剧烈,启动盐胀变形所需要的含盐量也降低了.未来拟就此开展进一步的试验研究.

参考文献:

- [1] 袁红,李斌.硫酸盐渍土起胀含盐量及容许含盐量的研究[J].中国公路学报,1998,8(3):10-15.
- [2] 张莎莎,杨晓华,戴志仁.基于均匀设计的砾类硫酸盐渍土盐胀特性试验研究[J].公路交通科技,2009,26(5):25-34.
- [3] 张莎莎,杨晓华,戴志仁.天然粗颗粒盐渍土多次冻融循环盐胀试验[J].中国公路学报,2009,22(4):28-32.
- [4] 张志萍,杨晓华,朱占台.多次冻融盐渍土含水量对盐渍盐胀量的影响[J].山西建筑,2006,32(10):67-68.
- [5] 包卫星,杨晓华,谢永利.典型天然盐渍土多次冻融循环盐胀试验研究[J].岩土工程学报,2006,28(11):1991-1995.
- [6] 王洪葵,王俊臣,李劲松.硫酸(亚硫酸)盐渍土盐冻胀变形预报模型及与原位观测对比研究[J].东北水利水电,2009(8):1-3.
- [7] 王俊臣,李劲松,王常明.硫酸(亚硫酸)盐渍土单次盐胀和冻胀发育规律研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,26(3):410-416.
- [8] 牛玺荣,高江平.硫酸盐渍土纯盐胀期盐胀关系式的建立[J].岩土工程学报,2008,30(7):1058-1061.
- [9] 张以晨,李欣,张喜发,等.季冻区公路路基粗粒土的冻胀敏感性分类研究[J].岩土工程学报,2007,29(10):1522-1526.