

盐渍土冻胀性的试验研究*

李 振¹, 邢义川², 张 宏¹

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

[摘 要] 在室内采用低温冰箱对抗动盐渍土和洗盐后盐渍土的冻胀性进行了研究。结果表明, 扰动盐渍土和洗盐后盐渍土在温度高于 -4 时的冻胀率变化最大, 在温度低于 -4 时, 其冻胀率趋于稳定。冻胀率不但与温度有关, 而且与含水量、易溶盐含量、粉粒含量有很好的线性关系, 可用线性方程初步估算盐渍土的冻胀率。

[关键词] 盐渍土; 冻胀性; 冻胀率; 温度; 含盐量; 含水量; 粉粒含量

[中图分类号] TU 411

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)07-0073-04

盐渍土的分布规律总是与干旱、半干旱和半湿润地区的水分状况相联系。我国干旱、半干旱和半湿润地区较多, 从东到西、从南到北都有盐渍土的分布。据估计^[1], 盐渍土的分布面积约为 0.27 亿 hm^2 , 涉及范围多达 23 个省、市、自治区。盐渍土分布比较集中的地区有滨海地带、黄淮海平原、松辽平原、晋陕山间河谷盆地、宁夏、内蒙古河套平原、青海柴达木盆地、甘肃的河西走廊以及新疆等地。盐渍土按含盐性质分为氯盐渍土、亚氯盐渍土、亚硫酸盐渍土、硫酸盐渍土和碱性盐渍土; 按含盐量分为弱盐渍土、中盐渍土、强盐渍土和超盐渍土^[1]。

盐渍土的三相组成与一般土不同, 液相中含有盐溶液, 固相中含有结晶盐, 特别是易溶的结晶盐。当盐渍土中的盐遇水后, 盐渍土的固、液相发生变化, 使土的物理和化学性质指标均发生变化, 其强度指标明显降低, 变形增大而产生工程灾害^[2]。灾害的主要表现形式有: 第一, 盐渍土地基浸水后, 由于盐溶解而使地基产生溶陷^[3]; 第二, 盐渍土中的盐溶液会导致建筑物和地下设施的材料腐蚀^[4]; 第三, 某些盐渍土地基, 在温度或湿度变化时, 会产生体积膨胀, 对建筑物和地面设施造成危害, 特别是在寒冷地区, 这种破坏更加明显^[5]。对于盐渍土的冻胀特点, 国外从 20 世纪 30 年代便开始进行研究, 到 50 年代, 前苏联、美国、加拿大等国家已经研究用盐来消除或减少土体的冻胀; 前苏联利用人工盐渍化防止土冻胀, 以利冬季的建筑物基础施工, 取得了显著效果^[6]。我国已往在盐渍土地区修建建筑物, 大都按非

盐渍土的最大冻结深度设计、施工, 而没有考虑盐渍土含盐量对土冻结深度的影响因素, 致使各项建筑工程基础埋置过深, 增加了工程投资^[7]。影响盐渍土冻胀的因素很多, 主要归纳为水、土、盐、温等 4 种因素。在这些因素中, 温度是造成土冻胀的外因, 水则是影响土冻胀的内因, 但对盐渍土而言, “盐”对土冻结起着一种抑制作用^[8]。合理地确定盐渍土地区的冻结深度, 开展对盐渍土冻胀特点的研究, 对各种类型的建筑工程非常必要, 而且具有现实的经济意义。本试验以某干渠渠基盐渍土为例, 通过冻胀试验, 研究盐渍土的冻胀量与含水量、含盐量、温度及土质之间的变化规律, 以期对盐渍土地基工程的施工、设计提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料 1、2、3、4 号土样取自某干渠工程渠基表面回填盐渍土。其物理组成见表 1, 化学组成见表 2。

1.2 试验方法

1.2.1 洗盐方法^[9] 对 1 至 4 号盐渍土样用蒸馏水进行洗盐处理, 洗盐后相应土样的编号为 5、6、7、8。洗盐时, 将试样放入调土杯内, 注入适量蒸馏水, 拌和均匀, 迅速倒入贴有滤纸的漏斗中, 并注入蒸馏水冲洗过滤, 附在调土杯上的土粒应全部洗入漏斗; 然后将漏斗中的试样再倒入调土杯内, 加适量蒸馏水, 拌和均匀后倒入贴有滤纸的漏斗中, 加蒸馏水过

* [收稿日期] 2004-09-20

[基金项目] 水利部“948”技术转化与创新项目(CT200408)

[作者简介] 李 振(1969-), 男, 陕西华县人, 工程师, 在读硕士, 主要从事土工试验研究。

滤;按上述方法重复几次。检查易溶盐清洗程度时,取 2 个试管,分别在 2 个试管中盛入 3~5 mL 的试样滤下溶液,然后向其中一个试管中加入数滴 100 mL/L 硝酸和 50 mL/L 硝酸银溶液,向另一个试管中加入数滴 100 mL/L 盐酸和 50 mL/L 氯化钡溶

液,观察两试管中是否有白色沉淀,如有则继续用蒸馏水进行洗盐,并按上述检验方法进行检查,直至不再出现白色沉淀为止,表明盐分清洗干净,然后制样备用。

表 1 扰动盐渍土样的物理组成

Table 1 Physical component of disturbed salty soil sample

土样编号 Number	颗粒组成/% Particle component			不均匀系数 Coefficient of uniformity	液限/% Liquid limit	塑限/% Plastic limit
	2~0.05 mm	0.05~0.005 mm	<0.005 mm			
1	20.6	52.0	27.4	9.59	30.8	18.6
2	15.2	55.0	29.8	12.69	29.5	17.7
3	11.7	42.8	45.5	6.93	38.8	20.9
4	16.0	45.8	38.2	9.15	31.0	18.6

表 2 扰动盐渍土样的化学组成

Table 2 Chemical component of disturbed salty soil sample

土样编号 Number	易溶盐总量/ (g·kg ⁻¹) Total amount strongly soluble salt	易溶盐阴离子/(mmol·L ⁻¹) Strongly soluble salt negative ion			易溶盐阳离子/(mmol·L ⁻¹) Strongly soluble salt cation			难溶盐/ (g·kg ⁻¹) Salt hard dissolve CaCO ₃
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ , Na ⁺	
1	1.22	0.31	5.50	25.82	5.56	11.80	10.04	23.1
2	0.18	0.41	1.00	2.72	1.20	1.74	1.30	27.0
3	0.59	0.31	1.48	13.90	7.10	5.34	2.52	28.5
4	0.91	0.31	5.45	17.78	5.22	8.14	7.97	27.5

1.2.2 冻胀试验方法 试验在低温冰箱中进行。试样面积为 50 cm², 高度为 2 cm, 试样干密度为 1.40~1.50 g/cm³。将制备好的试样放入饱和缸内, 抽气饱和, 并静置 24 h 后装入固结仪内, 试样表面覆盖一张与试样面积同样尺寸的薄纸板, 代替容器的盖板, 以便百分表测记试样的冻胀变形。由于饱和试样较软, 装入百分表后表杆会插入试样中而影响试验结果, 所以先将试样放入冰箱内, 在 0℃ 放置 4 h, 待试样变硬后, 再在其表面装置百分表, 用来测量土的冻胀量, 试验过程中注意保持试样表面纸板被一层薄冰覆盖, 以使试样内部的含水量基本保持不变。此系统为无外来水供给的封闭系统, 试样冻胀后其内部形成层状结构。由于试样的高度仅为 2 cm, 所以在一定负温条件下, 须等冰箱的温度稳定后 2 h 再开始读数, 以 4 h 冻胀量不大于 0.01 mm 为稳定标准, 试验的温度控制在 0~-22℃, 逐级降温进行试验。

对 1~8 号土样及含水量分别为 157, 184, 220, 256, 284 和 311 g/kg 的 1 号非饱和盐渍土进行冻胀试验, 并按下式计算冻胀率:

$$\eta/\% = (\Delta h/H_f) \times 100\% \quad (1)$$

式中, η 为冻胀率(%), Δh 为试样总冻胀量(mm), H_f 为试样原始高度(mm)。

2 结果与分析

2.1 温度对扰动盐渍土及洗盐后土样冻胀率的影响

由表 3 可以看出, 温度高于-4℃ 时, 冻胀率随着温度降低而增大, 当温度低于-4℃ 时, 冻胀率几乎稳定在一定数值; 但从总的试验结果可以看出, 不论是扰动盐渍土还是洗盐后的土样, 温度在高于-4℃ 时, 其冻胀率变化最大。从表 3 还可以看出, 含盐量越大, 其冻胀率越小, 洗盐后的冻胀率比洗前的冻胀率均有所增大。

2.2 含水量对盐渍土冻胀率的影响

由表 4 可以看出, 温度高于-4℃ 时, 冻胀率随着温度降低而增大, 当温度低于-4℃ 时, 冻胀率也几乎稳定在一定的数值上, 并且温度在高于-4℃ 时, 其冻胀率变化也最大。由表 4 还可以看出, 随着含水量的增大, 其冻胀率也有所增大。

表 3 温度对扰动盐渍土及其经洗盐后的试样冻胀率的影响

Table 3 Disturbed salty soil and frozen heave rate experiment of desalinized soil

土样编号 Number	温度/ Temperature					
	0	- 4	- 8	- 12	- 18	- 22
1	4.90	6.30	5.59	5.45	5.40	5.36
2	13.06	18.94	19.01	19.06	19.06	19.09
3	6.33	10.40	10.61	10.64	10.68	10.69
4	2.61	9.44	9.46	9.40	9.40	9.40
5	10.50	19.44	19.44	19.38	19.33	19.30
6	13.32	20.45	20.50	20.56	20.66	20.70
7	8.11	11.45	11.50	11.52	11.54	11.54
8	9.06	13.21	13.30	13.35	13.48	13.50

表 4 不同含水量 1 号土样的冻胀率试验结果

Table 4 Frozen swelling experiment of sample No. 1

含水量/ (g · kg ⁻¹) Water content	温度/ Temperature					
	0	- 4	- 8	- 12	- 18	- 22
157	1.61	2.37	2.41	2.50	2.55	2.60
184	1.85	3.10	3.10	3.15	3.30	3.40
220	2.30	4.36	4.41	4.46	4.51	4.50
256	2.61	4.86	5.06	5.10	5.20	5.20
284	3.66	5.51	5.55	5.58	5.57	5.58
311	4.80	6.25	6.28	6.30	6.31	6.31

以含水量为横坐标, 试样最终冻胀率为纵坐标, 点绘含水量与冻胀率的关系, 结果见图 1。由图 1 可以看出, 随土样中含水量的增加, 其冻胀率增大。用线性曲线进行拟合, 得到含水率与冻胀率的关系为:

$$\eta = 0.23\omega - 0.96 \quad (2)$$

式中, η 为冻胀率(%); ω 为含水量(g/kg)。从拟合的结果来看, 其呈明显的线性规律, 相关系数为 0.995。

2.3 易溶盐含量对盐渍土冻胀率的影响

以易溶盐含量为横坐标, 试样在 - 22 时的冻

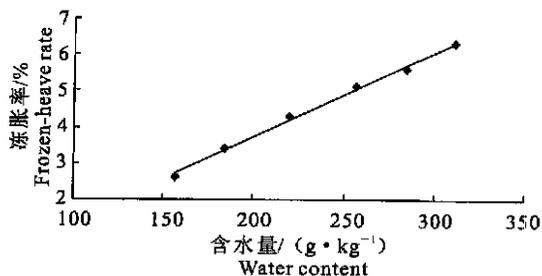


图 1 1 号土样含水率与冻胀率的关系曲线

Fig 1 Curve of water content and frozen-heave rate

2.4 土质对冻胀率的影响

影响盐渍土冻胀率的因素除温度、含水率及含盐

胀率为纵坐标, 绘制易溶盐含量与冻胀率关系的曲线, 结果见图 2。由图 2 可以看出, 随易溶盐含量的增加, 其冻胀率逐渐降低。由于易溶盐含量与冻胀率的线性规律较好, 故对易溶盐含量与冻胀率关系曲线进行线性拟合, 得到的关系式为:

$$\eta = - 13.06\alpha + 21.18 \quad (3)$$

式中, η 为冻胀率(%); α 为易溶盐含量(g/kg)。关系式的相关系数为 0.997, 表明二者呈显著的线性相关关系。

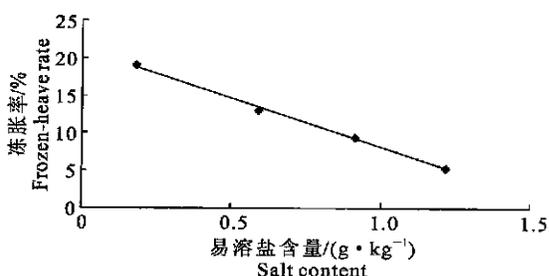


图 2 易溶盐含量与盐渍土冻胀率的关系曲线

Fig 2 Curve of strongly soluble salt content and frozen-heave rate of salty soil

量外, 土质也是主要影响因素。由表 1 可知, 1 号和 2 号土样的粉粒含量分别为 52% 和 55%, 均为重粉质壤

土, 3 号和 4 号土样为粘土和粉质壤土。以粉粒含量为横坐标, 试样在 -22 时的冻胀率为纵坐标, 绘制粉粒含量与冻胀率的关系曲线, 结果见图 3。

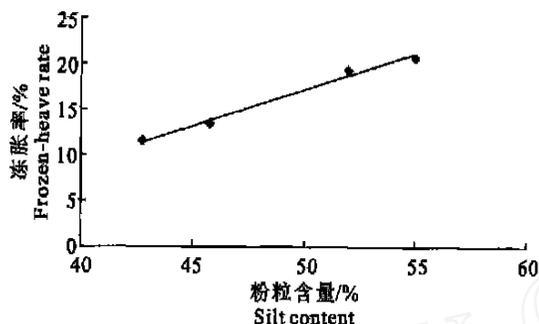


图 3 粉粒含量与盐渍土冻胀率的关系曲线

Fig 3 Curve of silt content and frozen-heave rate of salty soil

由图 3 可以看出, 随着粉粒含量的增加, 其冻胀率增大, 也就是说, 盐渍土越细, 其冻胀率越大。同样

对其进行线性拟合, 得到的关系式为:

$$\eta = 0.79\beta - 22.31 \quad (4)$$

式中, η 为冻胀率(%), β 为粉粒含量(%). 其相关系数为 0.990, 表明二者呈显著的线性相关关系。

3 结 论

1) 在温度高于 -4 时, 盐渍土的冻胀率变化最大, 当温度低于 -4 后, 冻胀率几乎稳定在一定数值。含盐量越大, 盐渍土的冻胀率越小; 洗盐后的土样冻胀率一般比洗前的冻胀率有所增大。

2) 盐渍土的冻胀率随含水量增大, 其冻胀率增大, 并呈现很好的线性关系。

3) 盐渍土的冻胀率随着易溶盐含量的增加而逐渐降低, 易溶盐含量与冻胀率的线性规律较好。

4) 盐渍土的土质也是影响其冻胀率的主要因素。粉粒含量占优势的盐渍土, 其冻胀性较强; 随着粉粒含量的增加, 冻胀率增大。

[参考文献]

- [1] 徐俊在. 盐渍土地基[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993: 36- 40
- [2] 郑志华, 王玉田. 盐渍土地基引起结构破坏的实例分析[J]. 土工基础, 1998, 12(1): 63- 64
- [3] 建功. 我国渠道防渗工程的冻害及其防治措施(待续)[J]. 防渗技术, 2002, 8(2): 1- 4
- [4] 隆威, 刘永球, 曹增国. 盐渍土工程特性分析及地基处理方法探讨[J]. 岩土工程界, 2002, 5(4): 43- 45
- [5] 建功. 我国渠道防渗工程的冻害及其防治措施(待续)[J]. 防渗技术, 2002, 8(3): 1- 5
- [6] 铁道部第一勘测设计院. 盐渍土地区铁路工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1988: 78- 80
- [7] 石元春. 盐碱地的综合治理[A]. 中国综合农业区划[C]. 北京: 农业出版社, 1981: 86- 92
- [8] 郑志华, 王玉田. 盐渍土地基引起结构破坏的实例分析[J]. 土工基础, 1998, 12(1): 63- 64
- [9] SL 237-1999, 土工试验规程[S]. 北京: 水利水电出版社, 1999: 49- 56

Research on the frozen-heave character of salty soil

LI Zhen¹, XING Yi-chuan², ZHANG Hong¹

(1 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: The frozen-heave character of the salty soil and desalinated soil is researched in low temperature freezer indoors. The outcomes indicate, when temperature is higher than -4 , the frozen-heave rate reaches the largest; when the temperature is lower than -4 , the frozen-heave rate inclines to be steady. Not only is the frozen-heave rate of salty soil relevant with the temperature, but also there is great linear relation with water content, soluble salt content and silt content. And the frozen-heave rate of salty soil can be figured out with linear formula.

Key words: salty soil; frozen-heave character; frozen-heave rate; temperature; salt content; water content; silt content