

文章编号: 0451-0712(2006)04-0216-04

中图分类号: U414.03

文献标识码: A

混凝土盐冻破坏的试验研究

陈少峰, 孙立, 李振宝

(北京工业大学工程抗震与结构诊治北京市重点实验室 北京市 100022)

摘要: 在分析了冻融与除冰盐共同作用下混凝土破坏机理的基础上,进行了清水、传统除冰盐溶液(3% NaCl 溶液)和新型除冰盐溶液(3% CaCl₂ 溶液)条件下的混凝土冻融循环试验研究。结果表明,除冰盐加快了混凝土的冻融破坏,但新型除冰盐对混凝土的冻融破坏影响小于传统除冰盐,一定程度上可以缓和盐冻破坏。

关键词: 混凝土; 冻融破坏机理; 除冰盐; 耐久性

城市交通系统,出于造价、维护、耐久性和结构空间等方面的考虑,大多采用混凝土构件为主结构,而我国北方地区冬季普遍采取洒除冰盐的方式清除路面积雪,防止路面结冰。然而,以往设计建造的混凝土桥梁,一般只考虑了抗冻性的要求,而没有注意到除冰盐的腐蚀作用,所以北方地区很多桥梁、路面系统出现了混凝土耐久性方面的问题。大量工程实践及调查发现,除冰盐的渗透及与冻融的复合作用极易引起混凝土剥落和钢筋的锈蚀,其典型例子是北京西直门立交桥(1979年建成,2003年拆除重建)与三元桥的盐冻混凝土剥落^[1]、秦皇岛与石家庄城市道路混凝土的破坏^[2]。这些问题不但造成了很大的直接经济损失,而且在修复和重建这些设施时,也严重影响了城市交通系统的正常运行。本文针对北京地区的混凝土桥梁结构,研究了冻融与除冰盐共同作用对混凝土的耐久性的影响。

1 混凝土在冻融与除冰盐共同作用下的破坏机理

1.1 混凝土冻融破坏机理

混凝土的冻害机理研究始于20世纪30年代,世界各国学者均做了大量工作,先后提出了静水压假说、渗透压假说等^[3~6]。但是,由于混凝土结构冻害的复杂性,至今还无公认的、能够充分反应混凝土冻害规律的理论。

一般认为,寒冷地区混凝土经常接触水的部位,当气温下降至混凝土中水的冰点以下时,水就会结冰,体积增加约9%。当水充满混凝土的孔隙时,水结

冰过程中体积的增大会对孔壁产生很大的压力,使混凝土产生微小的裂缝。

按照美国学者 P. C. Powers 提出的膨胀压和渗透压理论,吸水饱和混凝土(含水量达91.7%极限值)在冻融过程中遭受的破坏力主要由两部分组成:一是膨胀压力,当混凝土中的毛细水在某负温下发生物态变化,由水转化成冰时体积膨胀9%,因受毛细孔的约束而在混凝土中产生拉应力;二是渗透压力,由于表面张力作用,混凝土中毛细孔水的冰点随着孔径的减少而降低,因而在粗孔中的水结冰后,由冰与过冷水的饱和蒸汽气压差和过冷水之间盐分浓度差引起水分迁移而形成渗透压。另外,过冷水迁移渗透会使毛细孔中冰的体积不断增大,从而形成更大的膨胀压力。当混凝土受冻时,这两种压力会损伤混凝土内部的微观结构。但一次作用造成的损伤不足以使混凝土的宏观力学性能发生可以察觉的变化,只有当经过多次的冻融循环后,损伤逐步积累不断扩大,混凝土中的裂缝会相互贯通,导致混凝土强度逐渐降低,甚至强度完全丧失,使混凝土结构由表及里遭到破坏。

冻融破坏发生的必要条件是:(1)混凝土必须处于饱水状态,即其含水量不小于临界值的91.7%,如果混凝土的含水量小于临界值,当混凝土受冻时,毛细孔水结冰膨胀可被非含水孔体吸收,一般不会形成损伤混凝土体微观结构的膨胀压;(2)冻与融的反复发生,即发生冻融循环。以上两个必要条件决定了冻融破坏是从混凝土表面开始的,层层剥蚀破坏。冻

融循环最低气温越低,冻层越厚,混凝土的剥蚀层越厚。温降速度越快,冻融循环越多,剥蚀破坏越严重,发展也越快。

1.2 混凝土的盐冻剥蚀破坏机理

混凝土盐冻剥蚀破坏是指在冻融循环的条件下,因使用除冰盐而引起的混凝土表面起皮、剥落、开裂等破坏,其破坏速度远远大于普通混凝土的冻融破坏的速度。与单纯的冻融破坏不同,由于盐的存在,使混凝土内产生的渗透压增大,饱水度提高,结冰压力增大,因而加剧了混凝土的受冻破坏,这是混凝土的盐冻剥蚀破坏的主要原因。同时,因盐的作用而产生的过冷水最终在毛细孔中结冰而产生的内应力,以及混凝土表面和内部之间的盐浓度梯度使混凝土受冻时因分层结冰而产生应力差等,都使破坏力增加,导致混凝土的层层剥落。

表面剥蚀是盐冻混凝土剥蚀破坏的最主要特征。破坏从表面逐步向内部发展,使表面砂浆层剥落,骨料暴露,导致表面凹凸不平,但在剥落层下的混凝土依然保持坚硬良好。同时还发现在混凝土遭受破坏的界面上,可清楚地看到剥蚀破坏的痕迹和白色的结晶体,这可能是由于进入混凝土内的除冰盐很难排出,并不断聚集,即使不结冰时也会产生盐结晶压破坏。大量研究结果表明盐对混凝土的侵蚀,是物理作用及化学作用的综合效应^[4~10]。

2 除冰盐剥蚀破坏试验

传统意义上的除冰盐其主要成份是NaCl,这种除冰盐对道路与环境的破坏都很大,不但导致道路桥梁的混凝土破坏,还使绿化的花草树木遭到毁灭性的打击。北京市在2002年开始采用了新型的除冰盐,这种盐的CaCl₂含量不低于60%。本文针对这两种除冰盐,通过试验研究其对混凝土的腐蚀与冻融破坏。

2.1 试验内容

试验按照《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ 053-94)^[13]中有关混凝土抗冻性试验的要求采用快冻法进行。分别采用3%NaCl溶液与3%CaCl₂溶液代替传统除冰盐与新型除冰盐溶液。

将饱和水养护28d龄期的混凝土试件在清水浸泡、传统除冰盐水(3%NaCl溶液)浸泡、新型除冰盐水(3%CaCl₂溶液)浸泡条件下进行冻融试验,测定相对动弹性模量变化与质量损失。3个试验同时进行,采用同一批试件、同一冻融试验箱。

2.2 混凝土材料与试件

本试验采用的原材料均是北京地区工程常用材料。粗骨料采用碎卵石(粒径25mm),细骨料采用河砂,胶凝材料使用低标号水泥,加入JF-10引气剂。混凝土配合比如表1。

表1 混凝土配合比 kg/m³

水泥(C)	水(W)	砂(S)	石(G)	引气剂
437	166	539	1 204	3.933

注:配合比为W:C:S:G=0.38:1:1.357:2.755。

试件采用3组截面为100mm×100mm×400mm的棱柱体混凝土试件,每组3个。除制作冻融试件外,还制备同样形状尺寸、中心可插入热电偶电位差计测量温度的试件。另制备一组100mm×100mm×100mm的立方体试件用来测定28d抗压强度。

2.3 试验方法

(1)试件的制作与养护按相关规定执行^[12,13]。在规定龄期(28d)的前4d,将试件放在(20±3)℃的水中浸泡,水面至少高出试件20mm,浸泡4d后进行冻融试验。

(2)浸泡完毕,取出试件,用湿布擦去表面水分。测量试件的横向基频,称其质量,作为评定抗冻性的起始值,并作必要的外观描述。立方体试件做抗压试验,测定其抗压强度。

(3)将试件放入橡胶试件盒中,分别加入清水、3%NaCl溶液与3%CaCl₂溶液,使其没过试件表面约5mm。将装有试件的试件盒放入冻融试验箱的试件架中。

(4)每次冻融循环后观察两组试件的外观状态,并做外观描述,每隔25次测量动弹性模量与质量。

(5)有下列情况出现时可停止试验:试件的相对动弹性模量下降至60%以下或试件的质量损失率达5%。

3 试验结果及分析

3.1 试验数据处理方法

相对动弹性模量按下式计算:

$$P = \frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100 \quad (1)$$

式中:P为n次冻融循环后试件的相对动弹性模量,%;f_n为冻融n次后试件的横向基频,Hz;f₀为冻融试验开始前试件的横向基频,Hz。

质量损失率按下式计算：

$$W_n = \frac{m_0 - m_n}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

式中： W_n 为 n 次冻融循环后的试件质量损失率，%； m_0 为冻融试验开始前试件的质量，kg； m_n 为 n 次冻融循环后试件的质量，kg。

3.2 试件外观变化描述

第一阶段，冻融开始之前，3 组试件外观均良好；

第二阶段，冻融循环次数达 50 次时，3 组试件表面水泥浆脱落，肉眼可观察到砂粒与石子，并且盐溶液中试件表面变化要比清水中试件变化大得多；

第三阶段，冻融循环次数达 100 次时， CaCl_2 与 NaCl 溶液中试件部分出现掉渣、表面脱落现象；

第四阶段，冻融循环次数达 125 次时，清水中试件外观与 50 次时相比无明显变化， CaCl_2 与 NaCl 溶液中均有一个试件断裂，且试件表面可明显观察到粗细骨料，试验结束。

3.3 相对动弹性模量与质量损失率

3 组试件的相对动弹性模量与质量损失率变化如图 1 和图 2。如将盐溶液中断裂试件剔除，只取另 2 个试件的数据，结果如图 3 和图 4。

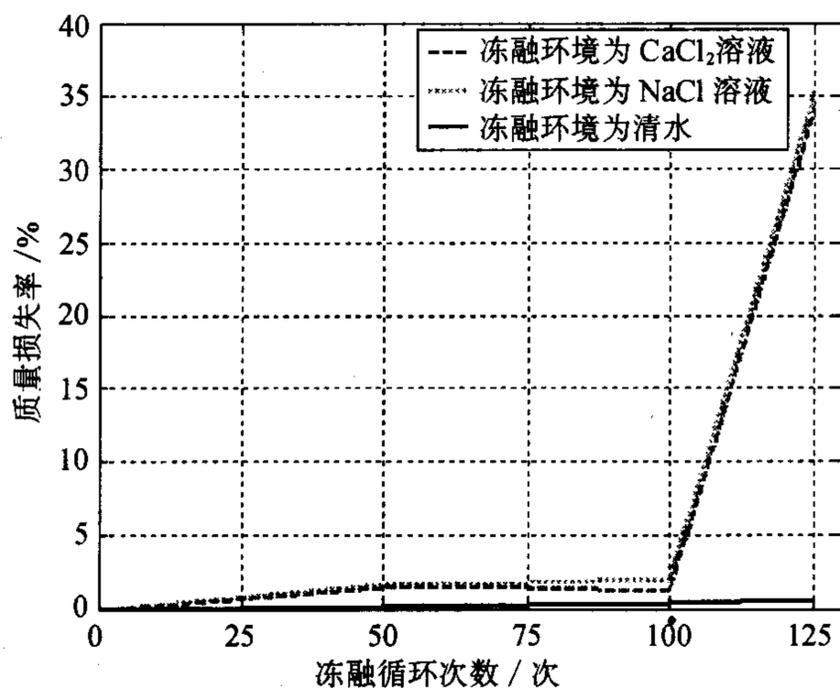


图 1 质量损失率变化曲线(包含断裂试件)

由图 1~图 4 可以看出，至冻融循环 125 次试验终止时：

(1) 冻融环境为清水的试件，其质量损失率与相对动弹性模量变化都很小，说明普通淡水条件下，引气混凝土的抗冻性是符合相关规范要求的；

(2) 冻融环境为 CaCl_2 与 NaCl 溶液的试件，其质量损失率与相对动弹性模量都很大，至 125 次循环时达到破坏；

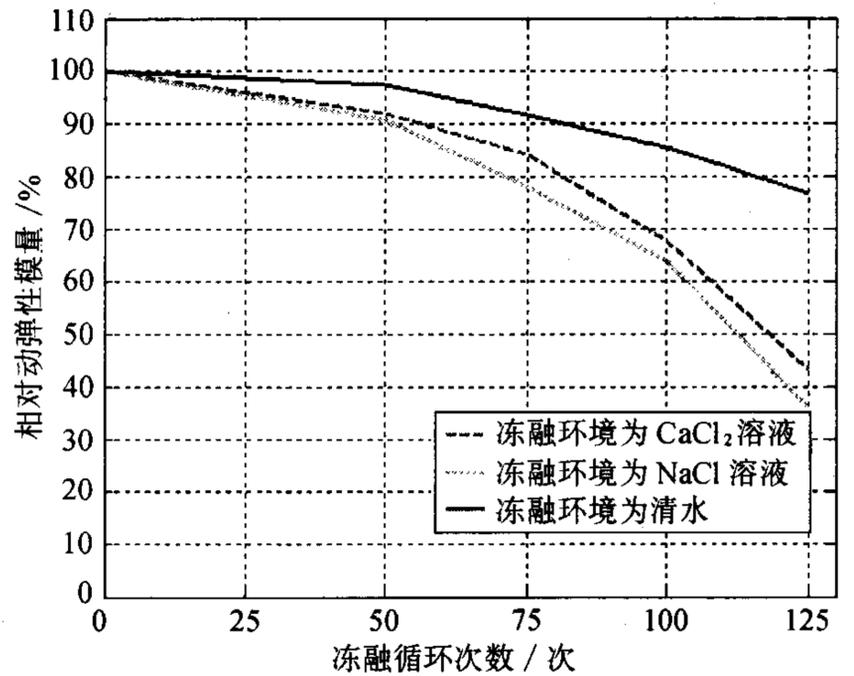


图 2 相对动弹性模量变化曲线(包含断裂试件)

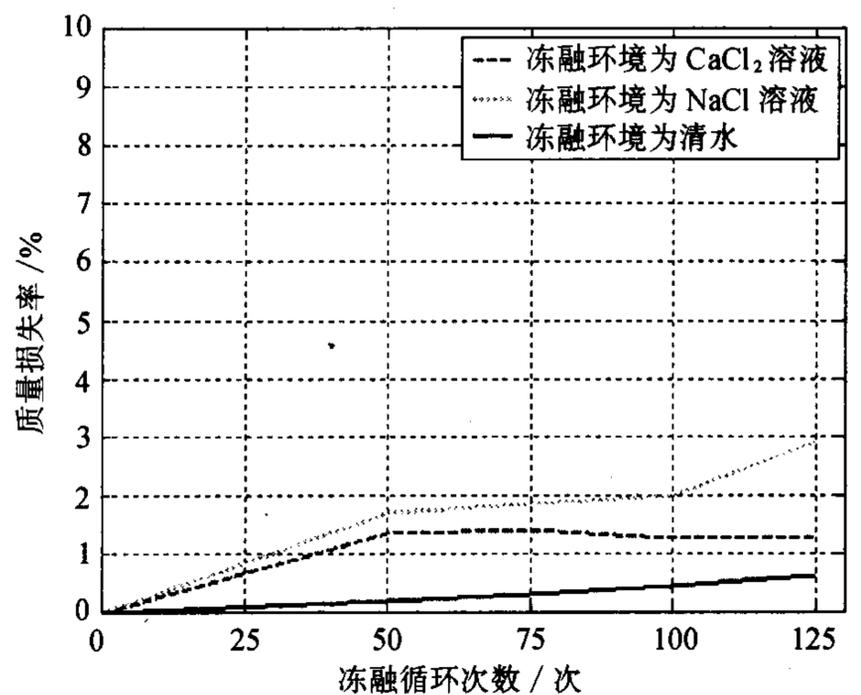


图 3 质量损失率变化曲线(不包含断裂试件)

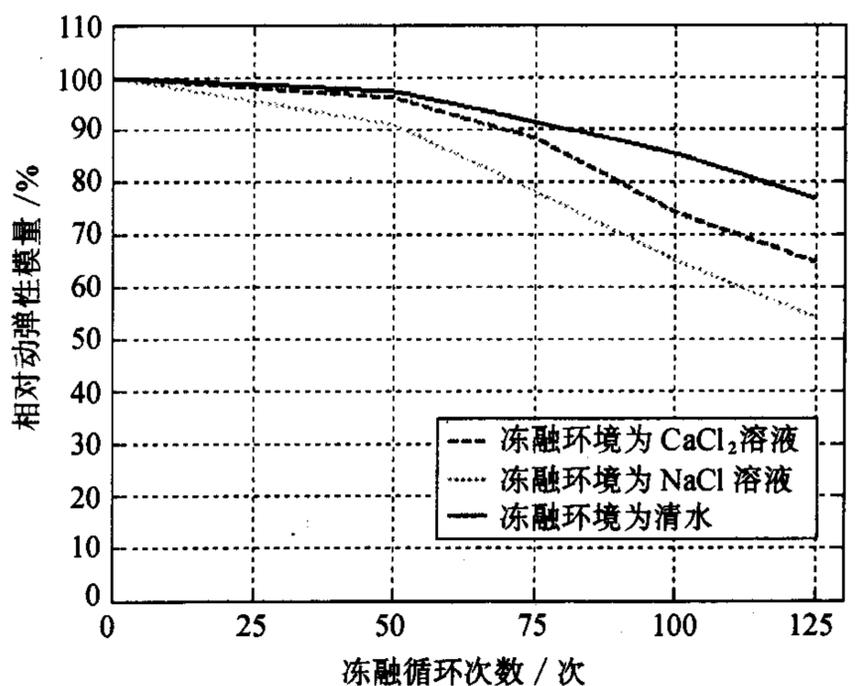


图 4 相对动弹性模量变化曲线(不包含断裂试件)

(3) CaCl_2 与 NaCl 溶液中的试件相互对比， CaCl_2 中的试件的质量损失率与相对动弹性模量变化都比 NaCl 溶液中的试件要小些；

(4)不计已破坏的试件,NaCl 溶液中试件的动弹性模量变化已经超过规定指标(指标为60%),而CaCl₂ 溶液中试件的动弹性模量变化未超过这一指标;

(5)不计已破坏的试件,CaCl₂ 溶液中试件的质量损失率要小些,而NaCl 溶液中的试件质量损失率要大些。

4 结论

通过本文的试验研究可以得到如下几点结论。

(1)不论是CaCl₂ 溶液还是NaCl 溶液,都会加快混凝土在冻融条件下的破坏。符合规范关于冻融要求的混凝土,在CaCl₂或NaCl 的腐蚀与冻融双重作用下,抗冻性明显降低。

(2)在相同条件下,CaCl₂ 溶液对混凝土的腐蚀破坏要比NaCl 溶液小一些,但其本质上仍是氯盐,对混凝土的腐蚀破坏只是减轻而不是消除。

(3)试验证明新型除冰盐与传统型除冰盐对混凝土的破坏机理和形态基本相同,不能从根本上消除冻融对混凝土的伤害,但是能够起到一定的缓解作用。因此城市桥梁与路面混凝土在设计时不仅要考虑抗冻性的要求,还要考虑盐冻性要求。

参考文献:

- [1] 洪乃丰. 我国北方地区冬季撒盐的利害分析与对策[J]. 低温建筑技术, 2000, (3).
- [2] 卢景岐, 霍雷声, 丁培建, 马立峰. 除冰盐对混凝土结构腐蚀破坏探讨[J]. 公路, 2001, (12).
- [3] 李金玉, 曹建国, 徐文雨, 林莉, 关遇时. 混凝土冻融破坏机理的研究[J]. 水利学报, 1999, (1).
- [4] 王玲, 田稳苓, 焦晓辉. 混凝土受除冰盐侵蚀破坏机理及防治措施研究[J]. 低温建筑技术, 2001, (3).
- [5] 缪昌文, 刘加平, 慕儒, 孙伟. 混凝土抗除冰盐的剥落性能与机理研究[J]. 公路, 2001, (12).
- [6] 韩素芳, 等. 混凝土工程病害与修补加固[M]. 海洋出版社, 1996.
- [7] 姜双伦, 姬立德, 吴会强. 混凝土的冻融破坏与外加剂[J]. 混凝土, 2001, (2).
- [8] 朱蓓蓉, 杨全兵, 黄士元. 除冰盐对混凝土化学侵蚀机理研究[J]. 低温建筑技术, 2000, (1).
- [9] 魏广和, 慕儒. 氯盐溶液与快速冻融共同作用下混凝土的性能[J]. 建筑技术, 2001, (10).
- [10] 王军强, 刘文军. 去冰盐破坏混凝土结构的机理及预防措施. 徐州建筑职业技术学院学报, 2002, (3).
- [11] 杨全兵, 吴学礼, 黄士元. 去冰盐引起的混凝土的盐冻剥蚀破坏[J]. 混凝土, 1995, (6).
- [12] 公路工程试验汇编[M]. 人民交通出版社, 2002.
- [13] JTJ 053-94, 公路工程水泥混凝土试验规程[S].

Experimental Study on Freeze-thaw and Deicing Salt Damage of Concrete

CHEN Shao-feng, SUN Li, Li Zhen-bao

(Beijing Laboratory of Earthquake Engineering and Structural Retrofit, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: On the basis of the analysis of the damage mechanism of concrete under the cooperation of freeze-thaw and deicing salt, the concrete freeze-thaw experimental researches have been done under the conditions of pure water, traditional deicing salt solution (3%NaCl solution) and advanced deicing salt solution (3%CaCl₂ solution). The results indicate that the deicing salt accelerates the freeze-thaw damage of the concrete, while the advanced deicing salt influences less to the freeze-thaw damage of the concrete than the traditional deicing salt does and at the same time it can alleviate the salt freezing damage to some extent.

Key words: concrete; mechanism of freeze-thaw damage; deicing salt; durability