

掺膨胀剂后碾压混凝土的抗冻特性研究

高培伟¹ 吴胜兴¹ 邓 敏² 林萍华¹ 吴中如¹ 唐明述²

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京工业大学材料学院, 江苏 南京 210009)

摘要 混凝土的气泡间距系数与抗冻性有关, 根据 T. C. Powers 间距系数小于 0.25 mm 理论来评定碾压混凝土的抗冻与否并不完全适宜. 选用适当的碾压混凝土配合比、外加剂, 使用 50% 的 I 级粉煤灰和 8% 膨胀剂, 水胶比为 0.48, 气泡间距系数为 0.28 ~ 0.40 mm 的碾压混凝土仍然可以抵抗 300 次的冻融循环.

关键词 碾压混凝土; 间距系数; 膨胀剂; 冻融循环

中图分类号 :TU528 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2005)02-0186-04

碾压混凝土(RCC)是一种新型的建筑材料, 与普通混凝土在水泥浆体的含量、流动性及所需施工设备等方面不同. 在普通混凝土中, 水泥浆体含量较多, 简单振动即可达到所需的密实度, 有的甚至可以自密实; 在 RCC 中, 水泥浆体含量较低, 需对其进行强迫振动, 将其液化后, 才能达到或接近所需的密实度. 外界作用力对 RCC 内部集料与胶体的连接、孔隙大小、形状以及气泡间距系数等有非常重要的影响^[1].

由于 RCC 中水泥浆体量较低, 内部结构可能不均匀, 含有一定数量没有压实的孔. 如果集料颗粒与水泥颗粒的级配很好, 压实孔隙的数量就很小. 在特定的极端情况下, 如反复的冻融循环期间, 水在气孔中运动、存留、结冰, 有可能形成一个连续的网络, 造成混凝土的冻融破坏. RCC 单方用水量一般比普通混凝土少许多, 孔中可结冰的水很少, 因此因结冰而产生破坏的程度下降; 且 RCC 又经过高频碾压振动, 密实性提高, 其孔隙应比普通混凝土少, 理论上应具有较好的抗冻性. 然而在实际施工中 (a) 为了得到所需的和易性, 往往加入多于水泥水化所需要的拌和水, 多余的水便以游离水的形式滞留在混凝土中, 对抗冻性不利; (b) 若加水少于水泥水化所需要的水, 混合不均匀, 胶体与集料的黏接不紧密, 可能形成孔隙, 也会降低混凝土的抗冻能力.

Powers^[2]用膨胀压和渗透压理论较成功地解析了造成混凝土冻融破坏的原因, 这两种理论的基础是混凝土中有连通的毛细孔. 美国混凝土学会根据 Powers 的理论, 认为高抗冻性混凝土的平均气泡间距应小于 0.25 mm. Lea^[3]通过微观测试也发现, 混凝土的冻融破坏与微裂纹的出现及发展等物理过程有关, 微裂纹不仅存在于水化产物的结构中, 而且原来封闭的气泡壁也会开裂, 导致混凝土冻融破坏.

快冻法的耐久性指标 DF 作为评价指标, 其出发点是 DF 值可以与快冻法的抗冻标号进行换算, 比较适宜在相关数学模型中应用、量化, 因此常被用作评价混凝土抗冻性指标. 但近几年来, 有大量报道对快冻法应用到大体积混凝土中的适应性问题提出了异议^[4-6]^①, 而许多学者用表征硬化混凝土中气泡体系特征的 3 个主要参数, 即含气量 a 、气泡比表面积 α (或气泡平均半径 r) 和气泡间距系数 L 作为评价混凝土抗冻性指标. 这些方法主要用于评定普通混凝土和高性能混凝土的抗冻性, 是否适合评定 RCC 的抗冻性, 目前还没有这方面的报道, 因此, 了解 RCC 的气泡特性, 对于认识 RCC 的抗冻性是非常必要的.

1 试验配合比与实验方法

1.1 试验配合比

试验使用 525 号中热硅酸盐水泥, I 级粉煤灰. 集料为市售的石子和砂, 石子采用二级配, 即大石(10 ~ 20 mm)、小石(2.5 ~ 10 mm), 二者的比例约为 6:4; 中砂, 细度模数为 2.44. 膨胀剂采用 3 种不同成分的膨胀剂

收稿日期 2004-03-05
基金项目 国家自然科学基金资助项目(50278031), 国家重点基金“ 973 ”资助项目(2001CB61070503)
作者简介 高培伟(1963—) 男, 山东蓬莱人, 副教授, 博士, 主要从事混凝土耐久性等领域的研究.
① RAGAN S A. Evaluation of the frost resistance of roller-compacted pavements. Miscellaneous Paper SL-86-16, U S Army Corps of Engineers, 1986.

Ex I ,Ex II 和 Ex III 减水剂采用复合型高效减水剂 . 试验材料的化学成分见表 1 配合比见表 2.

表 1 原材料的化学成分组成

Table 1 Chemical composition of materials								%
原材料	化学成分组成							合计
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	L. O. I	
中热水泥	20.90	4.57	5.35	60.91	3.81	2.59	1.48	99.61
I 级粉煤灰	46.53	27.69	16.52	2.56	1.45	0.80	3.82	99.37
Ex I	10.95	2.74	0.93	48.02	31.78	0.03	2.97	97.42
Ex II	14.29	2.54	1.05	39.46	38.31	0.05	3.02	98.72
Ex III	2.11	0.36	0.59	0.88	95.34	0.02	0.50	99.80

表 2 RCC 配比

Table 2 Mix proportions of RCC								kg/m ³
序号	水泥	粉煤灰	水	膨胀剂	小石子	大石子	砂	减水剂
0-0	100	100	96	0	635	803	720	1.4
Ex I -4	100	100	96	8	635	803	720	1.4
Ex I -8	100	100	96	16	635	803	720	1.4
Ex I -12	100	100	96	24	635	803	720	1.4
Ex II -4	100	100	96	8	635	803	720	1.4
Ex II -8	100	100	96	16	635	803	720	1.4
Ex II -12	100	100	96	24	635	803	720	1.4
Ex III -4	100	100	96	8	635	803	720	1.4
Ex III -8	100	100	96	16	635	803	720	1.4
Ex III -12	100	100	96	24	635	803	720	1.4

1.2 试验方法

抗冻试验参考 SD 105—82《水工混凝土试验规程》中“混凝土抗冻性试验”方法进行 ,每个配比各成型 100 mm × 100 mm × 100 mm 试样 6 块 ,养护 28 d ,其中 3 块分别测试 300 次循环前后的重量 ,计算重量损失率 ;另外 3 块测定抗压强度 ,计算抗压强度损失率 .采用 100 mm × 100 mm × 400 mm 试样 ,测试 300 次循环后的相对动弹性模数 ,以考察 RCC 的耐久性系数 .气泡间距系数参考 SD 105—82“硬化混凝土气泡参数测定(直线导线法)”将试件在标准雾室中养护 28 d 后冻融 300 次 ,再切片、磨片并抛光 ,用 100 倍光学显微镜进行测试 .

2 试验结果与讨论

2.1 冻融循环 300 次后 RCC 抗压强度的变化

由图 1(a)可见 ,经过 300 次冻融循环后 ,不同的膨胀剂在不同的掺量时 ,其对 RCC 的影响不同 .在 4% 掺量时 ,只有 Ex II 的抗压强度损失略微超过未掺膨胀剂的基准混凝土 ,其他均少于基准混凝土 ;8% 掺量时 ,抗压强度损失均少于未掺膨胀剂的基准混凝土 ,尤其是 Ex III 膨胀剂 ,不论掺 4% 还是掺 8% ,抗压强度损失最少 ,说明 Ex III 膨胀剂适宜的掺量有利于混凝土抗冻性 ;在掺量为 12% 时 ,抗压强度损失明显上升 ,均超过未掺膨胀剂的基准混凝土 ,也超过其他掺量的混凝土 ,尤其是掺 Ex III 膨胀剂的混凝土抗压强度损失均超过掺其他两种膨胀剂的混凝土 ,说明 Ex III 膨胀剂在较大掺量的情况下不利于混凝土的抗冻性 ,这可能是由于膨胀剂 Ex III 中的氧化镁产生较大的膨胀应力 ,使混凝土产生裂纹与裂缝 ,渗透性增加 ,抗冻性降低的缘故 .综合以上试验结果可见 ,掺入 3 种膨胀剂的 RCC 抗压强度损失均没有超过国家标准 SD 105—82 中规定的 25% ,属于抗冻混凝土范围 .

2.2 冻融循环 300 次后 RCC 重量损失

RCC 的重量损失与膨胀剂的品种和掺量有关 ,RCC 的掺量不同 ,RCC 的重量损失不同(图 1(b)).对于 Ex I 膨胀剂 ,在掺加量为 4% 和 8% 时 ,RCC 的重量损失均小于基准混凝土 ,掺 8% 时重量损失最少 ,掺 12% 时损失略微高于基准混凝土 ;对于 Ex II 膨胀剂 ,掺加量为 8% 时 ,RCC 的重量损失少于基准混凝土 ,掺加量为 4% 和 12% 时均高于基准混凝土 ,其中以 12% 膨胀剂掺加量的混凝土重量损失最大 ;对于掺 Ex III 膨胀剂的混凝土 ,在掺 4% 和 8% 时 ,RCC 的重量损失均少于基准混凝土 ,以 8% 膨胀剂掺加量的重量损失最少 ,掺 12%

时重量损失明显高于基准混凝土,约是基准混凝土的2倍.但从慢冻法的试验结果来看,掺8%膨胀剂的RCC重量损失较少,掺入3种膨胀剂后RCC重量损失均未超过国家标准规定的5%范围.

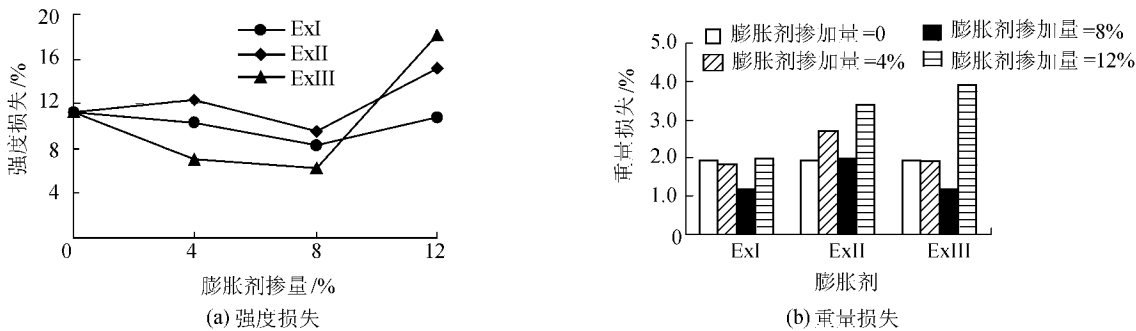


图1 掺膨胀剂RCC冻融300次重量和抗压强度变化

Fig.1 Strength losses and weight losses of RCC mixed with different amounts of expansive agents after 300 cycles

2.3 冻融循环300次后RCC抗压强度与重量损失相关性

经过300次冻融循环后,从RCC强度损失率和重量损失率的关系来看,二者存在一定的相关性(图2),基本上呈线性关系.重量损失率大的,强度损失率也大;反之,强度损失率大的,重量损失率也大,对抗冻性的影响也大,与国家标准中对普通混凝土的规定一致,即掺加膨胀剂后RCC的抗冻与否仍然可以采用强度损失率与重量损失率大小来评价,可以从强度损失率推算出重量损失率,反之亦然.

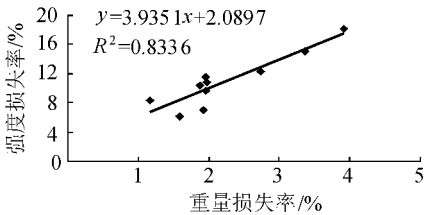


图2 掺膨胀剂后的RCC强度损失率与重量损失率的关系

本实验所得到的强度损失率与重量损失率的相互关系为

$$y = 3.9351x + 2.0897$$
$$R^2 = 0.8336$$

式中: y ——强度损失率; x ——重量损失率; R ——相关系数.

2.4 掺不同膨胀剂后RCC气泡间距系数

掺加膨胀剂后,经过一定的龄期养护,硬化混凝土中气泡间距系数比未掺加膨胀剂的略有减少.经过300次冻融循环后,气泡间距系数增加,增加的数值不大,但大多超过0.25mm,表明用T. C. Powers抗冻混凝土气泡间距小于0.25mm的理论来判断RCC抗冻性需进一步研究探讨.本文的试验结果也证实和支持了Ghoshhe和Malhotra对T. C. Powers临界气泡间距系数的质疑^[7].美国陆军工兵部队的研究人员Ragan在1976~1985年通过研究路面RCC的抗冻性^[8],补充和发展了T. C. Powers的间距系数理论.按照Ragan的观点,RCC的耐久性可分为3部分,即:耐久性好的、临界的和耐久性不好的.而本研究的RCC间距系数多数位于耐久性好的与临界的之间,大于0.25mm.混凝土的抗冻耐久性与气泡的间距系数有关,但是仅仅根据T. C. Powers规定的0.25mm间距系数来评价RCC的抗冻性是不够的.对于使用缓凝型高效减水剂和大掺量粉煤灰的RCC,气泡间距系数在0.28~0.40mm之间变化时,仍然可以经受300次冻融循环.

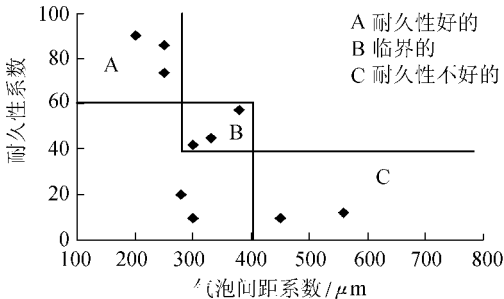


图3 RCC耐久性系数与气泡间距系数的关系

Fig.3 Relationship between the durability factor and air void spacing factor for RCC

3 结 论

不同膨胀剂的掺入量,混凝土的抗压强度和重量损失与膨胀剂的品种和掺量有关.从试验结果来看,掺加8%的ExII膨胀剂,强度和重量损失较少,效果较好.

配合比、养护龄期一定,RCC的抗压强度损失率和重量损失率存在相关性,与普通混凝土类似,即:重量损失率大的,强度损失率也大;反之亦然.

RCC 的抗冻性随着气泡间距系数增加而降低 ,掺加高效减水剂和 50% 粉煤灰后 ,气泡间距系数在 0.28 ~ 0.40 mm 之间的 RCC 经过 300 次冻融循环后并没有破坏 ,与 T. C. Powers 的间距系数理论存在一定的差异 ,确定 RCC 是否抗冻 ,需要进行抗冻试验 .

参考文献 :

[1] 姜福田 . 碾压混凝土 [M] . 北京 : 中国铁道出版社 , 1991 . 206—208 .
[2] POWERS T C . Void spacing as a basis for producing air-entrained concret[J] . Journal of ACI , 1954 , 2 : 50—52 .
[3] LEA F M . The chemistry of cement and concret[M] . 3rd Edition . New York : Edward Arnold Ltd , 1970 . 42—46 .
[4] 严捍东 , 孙伟 , 李钢 . 大掺量粉煤灰水工混凝土的气泡参数和抗冻性研究 [J] . 工业建筑 , 2001 , 31 (8) : 46—48 .
[5] STEFAN J , JACQUES M , HUGUES H . SEM observations of the microstructure of frost deteriorated and self-healed concretes[J] . Cement and Concrete Research , 1995 , 25 (8) : 1781—1790 .
[6] SCHRADER E , MEKINNON R . RCC paving and slabs-deepe[J] . Concrete International , 1989 , 11 (5) : 64—66 .
[7] GHOSH R S , MALHOTRA V M . Use of superplasticizers as water reducers[J] . Cement , Concrete and Aggregate , 1979 , 1 (2) : 56—63 .
[8] PIGEON M , GAGNE R , AITCU P . Freezing and thawing tests of high-strength concretes[J] . Cement and Concrete Research , 1991 , 21 : 844—851 .

Frost resistance characteristics of RCC mixed with expansive agent

GAO Pei-wei¹ , WU Sheng-xing¹ , DENG Min² , LIN Ping-hua¹ , WU Zhong-ru¹ , TANG Ming-shu²

(1. College of Civil Engineering , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China ;

2. College of Materials , Nanjing University of Technology , Nanjing 210009 , China)

Abstract : Although the air void spacing factor of RCC is related to its characteristic of frost resistance , it is unreasonable to evaluate the characteristic of frost resistance of RCC only based on whether the air void spacing factor is less than 0.25 mm according to T. C. Powers ' theory . The research shows that , by selection of suitable mixproportions of additives for RCC , i . e . 50% of grade-I fly ash , 8% of HNM additive , and 0.48 of water-binder ratio , RCC with the air void spacing factor in the range of 0.28—0.40 mm can still resist 300 times ' freezing-thawing cycles .

Key words : RCC ; air void spacing factor ; expansive agent ; freezing-thawing cycle