

再生粗骨料和矿物掺合料对再生混凝土 抗冻性影响的研究

赵飞, 周志云, 陈新星, 俞斌

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 试验研究了不同再生粗骨料取代率对再生混凝土抗冻性的影响, 并且以再生粗骨料取代率为 100% 的再生混凝土作为基准混凝土, 分别研究单掺钢渣粉、硅灰以及复掺钢渣粉、硅灰对再生混凝土抗冻性的影响。试验分别从表观特征、质量损失率、相对动弹性模量和抗压强度来分析。试验结果表明: 随着钢渣掺量的增多再生混凝土的抗冻性降低; 硅灰明显的提高再生混凝土的抗冻性, 掺量 5% 为宜; 复掺钢渣和硅灰不同的比例对再生混凝土的抗冻性影响不同, 得到复掺硅灰 5% + 钢渣 15% 再生混凝土的抗冻性优于基准混凝土。

关键词: 再生粗骨料; 钢渣粉; 硅灰; 抗冻性

中图分类号: TU528.041

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)04-0183-04

Study on effect of recycled coarse aggregate and mineral admixture on frost resistance of recycled concrete

ZHAO Fei, ZHOU Zhiyun, CHEN Xinxing, YU Bin

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The paper studied the effect of different recycled coarse aggregate replacement ratio on the frost resistance of recycled concrete. It took the recycled concrete with 100% recycled coarse aggregate concrete as basic concrete to respectively research the effect of steel slag powder and silica fume on the frost resistance of recycled concrete from the respects of appearance features, mass loss rate, the relative dynamic elastic modulus and compressive strength. The results show that with the increase of steel slag content, the frost resistance of recycled concrete decreases; The silica fume can obviously improve the frost resistance of recycled concrete, and the reasonable content of silica fume is 5%; the different ratios of silica fume and steel slag have different influences on the frost resistance of recycled concrete. When the silica fume content is 5% and the steel slag content is 15% in recycled concrete, the frost resistance of recycled concrete is higher than that of basic concrete.

Key words: recycled coarse aggregate; steel slag powder; silica fume; frost resistance

近年来随着基础建设的不断加快, 旧建筑物大量的拆除产生了很多废弃混凝土, 将废弃的混凝土经过加工处理得到再生骨料。利用再生骨料部分或全部替代天然骨料形成的混凝土称为再生混凝土^[1] (RC)。为了资源的重新利用和对环境的保护, 再生混凝土越来越多地应用于现代建设中。随着再生混凝土的应用, 其耐久性越来越受到关注。目前国内外对再生混凝土耐久性方面做了大量的研究^[2-4]。钢渣与硅灰作为矿物掺合料部分替代水

泥, 不仅可以节省水泥用量而且可以改善混凝土的性能, 也实现了对工业废弃物的重新利用。

基于以上分析, 完成了再生粗骨料以及掺钢渣和硅灰对再生混凝土抗冻性影响的试验研究。

1 试验

1.1 试验原材料

再生粗骨料取自废弃的混凝土梁, 经破碎筛分出粒径 5 ~ 31.5 mm 的骨料作为再生粗骨料; 天然

粗骨料为普通碎石,粒径为 5 ~ 31.5 mm;细骨料为普通河砂;水泥为 P · O 42.5 级硅酸盐水泥;钢渣粉为工业废钢渣磨细制得,硅灰为活性硅灰粉;减水剂为 YSP-1 型高效减水剂;水为自来水。

1.2 试件制作

本文试件选择尺寸为 100 mm × 100 mm × 100 mm 的立方体试件,试件的制作参考 GB/T50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》。第一部分研究再生粗骨料对再生混凝土的抗冻性的影响,将再生粗骨料取代率按 0,33%,66%,100% 分

为 4 组,编号分别为 RC0、RC33、RC66、RC100。第二部分研究矿物掺合料对再生混凝土抗冻性的影响,以再生粗骨料取代率 100% 作为基准混凝土的基础上,分别研究单掺钢渣 20%、30% 替代水泥,编号为 RC100-1、RC100-2;单掺硅灰 5%、10% 替代水泥,编号为 RC100-3、RC100-4;以及复掺硅灰和钢渣,掺量比例分别为硅灰 5% + 钢渣 15% 和硅灰 5% + 钢渣 25%,编号为 RC100-5、RC100-6。单位体积混凝土配合比如表 1。

表 1 混凝土配合比

编号	胶凝材料总量 (kg · m ⁻³)	胶凝材料/%			细骨料 (kg · m ⁻³)	粗骨料总量/ (kg · m ⁻³)		水/ (kg · m ⁻³)	减水剂/ %
		水泥	钢渣	硅灰		天然骨料	再生骨料		
RC0	355	100			675	1 210	100	160	0.5
RC33	355	100			675	1 210	67	33	0.5
RC66	355	100			675	1 210	34	66	0.5
RC100	355	100			675	1 210		100	0.5
RC100-1	355	80	20		675	1 210		100	0.5
RC100-2	355	70	30		675	1 210		100	0.5
RC100-3	355	95		5	675	1 210		100	0.5
RC100-4	355	90		10	675	1 210		100	0.5
RC100-5	355	80	15	5	675	1 210		100	0.5
RC100-6	355	70	25	5	675	1 210		100	0.5

1.3 试验方法

本文混凝土冻融试验采用快速冻融法,试验方法按照 GB/T50082-2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》进行。每冻融循环 25 次后,立即将试块拿出来观察试验现象并记录,将试件表面浮渣清洗干净并擦干表面水分开始对试件称重,测量其的横向基频和抗压强度并记录,试验数据处理完全按照 JTJ270-98《水运工程混凝土试验规程》进行。然后将剩下的试件进行冻融循环试验,直到测定的相对动弹性模量下降至 60% 或重量损失率达到 5% 时,即认为试件达到破坏可终止试验的运行。冻融试验的结果见表 2。

2 试验结果与分析

2.1 试验现象

冻融循环 25 次各组试件表面都没有明显的破坏,表面只有极少量的微小孔洞。在 100 次循环后只有 RC0 有少量的粗骨料外露,而 RC33、RC66、RC100 都有不同程度的粗骨料剥落且随着再生粗骨

料取代率的增加粗骨料剥落程度越明显。

相同的冻融循环次数下 RC100-3、RC100-4 组的试件较完整,冻融循环 100 次后均只有少量的水泥砂浆脱落和粗骨料外露;而 RC100-1、RC100-2 在冻融循环 100 次有大片的水泥砂浆脱落和粗

表 2 再生混凝土冻融试验结果

组别	质量损失率 W_n / %				相对动弹性模量 P_n / %			
	$N = 25$	$N = 50$	$N = 75$	$N = 100$	$N = 25$	$N = 50$	$N = 75$	$N = 100$
RC0	-0.1/95.3	0.1/82.9	0.4/76.7	0.7/70				
RC33	-0.2/88	0.1/74.8	0.5/67.6	1.0/61				
RC66	-0.2/85	0.2/75.5	1.3/68.6	2.0/54.5				
RC100	-0.3/82.7	0.3/74.2	1.7/63.7	2.2/52.4				
RC100-1	0.1/85.8	0.9/74.9	1.5/62	1.7/52.3				
RC100-2	0.2/82.2	1.0/72.9	1.6/61.4	2.0/50.7				
RC100-3	0.1/94.5	0.4/82.5	0.7/71.9	1.0/61.5				
RC100-4	0.1/94.7	0.3/84.3	0.7/75.9	0.9/65.4				
RC100-5	0.2/92.9	0.5/79.2	1.0/65.4	1.3/60.8				
RC100-6	0.3/90.6	0.6/81.9	1.4/65.3	2.0/56.9				

骨料剥落,且 RC100-2 破坏程度比 RC100-1 严重。100 次冻融循环后 RC100-5 和 RC100-6 均表现出较好的抗冻性,表面破坏程度低于 RC100 组,RC100-5 组效果更明显。

2.2 质量损失

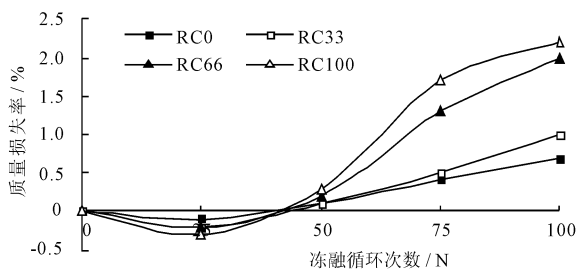
2.2.1 不同粗骨料取代率对再生混凝土质量损失的影响 如图 1(a) 冻融 25 次时,各组试件质量均有少量的增加,这是因为试件本身内部具有很多裂缝,在进行冻融试验时都处于水充足的浸泡状态,使得试件裂缝充满了水,而这时试件在冻融作用下表面只有少量的水泥浆脱落,脱落的质量小于侵入试件水的质量,造成试件出现质量增加的现象^[5]。冻融 50 次后随着冻融次数的增多,试件的质量损失率逐渐增大,且随着再生粗骨料取代率的增加质量损失越明显。RC100 质量损失最严重是由于再生粗骨料表面包裹着水泥砂浆,且在破碎时内部损伤产生大量的微裂缝,在冻融作用下吸水冻胀又产生大量

的裂缝,冻融次数越多裂缝越多形成贯通的裂缝有部分粗骨料剥落,使得试件的质量损失严重。

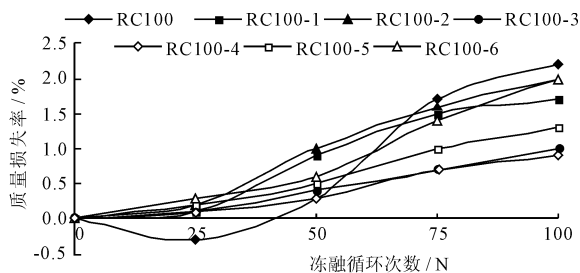
2.2.2 矿物掺合料对再生混凝土质量损失的影响

由图 1(b) 可知,在冻融 25 次时基准混凝土有少量的质量增加现象,而掺矿物掺合料的再生混凝土没有质量增加现象,是由矿物掺合料本身的物理性质决定的,钢渣和硅灰可以填充在水泥颗粒中提高混凝土的密实性,使得在试验初期吸收的水分较基准混凝土少。

冻融 100 次后,单掺硅灰的再生混凝土质量损失最少,单掺钢渣时质量损失较严重。硅灰与钢渣相比,硅灰颗粒既细,比表面积又大等特点使得掺硅灰可提高再生混凝土的密实性,抗冻性也大为提高^[6],质量损失不严重。通过复掺钢渣和硅灰对再生混凝土质量损失影响的对比,说明在硅灰掺量一定的情况下,随着钢渣掺量的增多再生混凝土质量损失越多。



(a) 不同粗骨料取代率对再生混凝土质量损失率影响



(b) 钢渣、硅灰对再生混凝土质量损失率影响

图 1 冻融循环作用下再生混凝土质量损失率曲线

2.3 相对动弹性模量

2.3.1 不同再生粗骨料取代率对再生混凝土相对动弹性模量的影响 如图 2, 再生混凝土的相对动弹性模量较天然混凝土下降的快。RC0 与 RC33 在冻融 100 次后相对动弹性模量均高于 60%, 满足抗冻性要求且 RC0 的相对动弹性模量高于 RC33; RC66 和 RC100 在冻融 100 次后相对动弹性模量低于 60%。这主要是由于再生粗骨料本身具有很多裂缝,在冻融作用下吸水冻胀产生冰胀压,这种压力产生的内应力超过混凝土的抗拉强度就会产生裂缝,使得内部裂缝增多降低混凝土的相对动弹性模量^[7]。

2.3.2 矿物掺合料对再生混凝土相对动弹性模量的影响 图 3(a) 可见,相同的冻融循环次数下,单掺硅灰再生混凝土比单掺钢渣再生混凝土和基准混凝土的相对动弹性模量高。根据试验数据可知,冻融 100 次 RC100-3 和 RC100-4 相对动弹性模量

均高于 60%, 满足抗冻要求,说明单掺硅灰有利于混凝土的抗冻性。单掺钢渣与基准混凝土相比曲线较接近,说明少量的钢渣替代水泥对再生混凝土的相对动弹性模量影响不大。

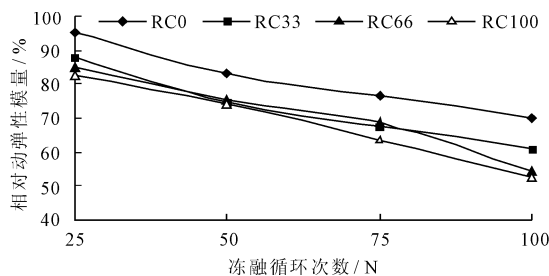
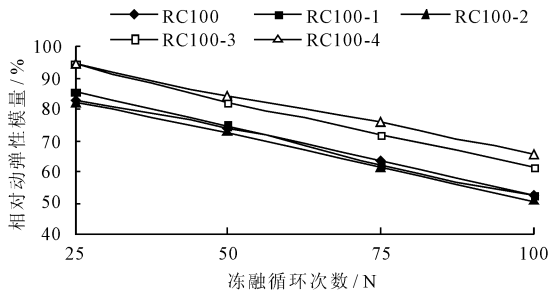
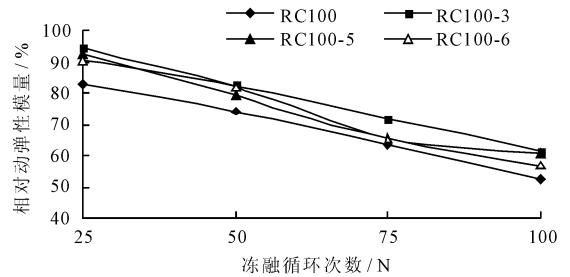


图 2 不同粗骨料取代率再生混凝土相对动弹性模量

如图 3(b) 所示,相同的冻融循环次数 RC100-5 和 RC100-6 的相对动弹性模量均高于 RC100 的相对动弹性模量;冻融 100 次后 RC100-5 的相对动弹性模量高于 60%, 抗冻等级达到 F100, 说明一定比例的钢渣和硅灰复掺可以提高再生混凝土的抗冻性。



(a) 单掺钢渣、硅灰再生混凝土的相对动弹性模量



(b) 复掺钢渣、硅灰再生混凝土的相对动弹性模量

图3 钢渣、硅灰对再生混凝土相对动弹性模量的影响

2.4 抗压强度

如图4随着冻融循环次数的增多各组试件的抗压强度均降低,这是因为在冻融循环作用下,混凝土内部水分结冰体积膨胀产生净水压力,净水压力超过混凝土的抗拉强度就会使混凝土产生裂缝,多次循环后裂缝增加形成贯通的裂缝^[8],使得混凝土抗压强度降低。

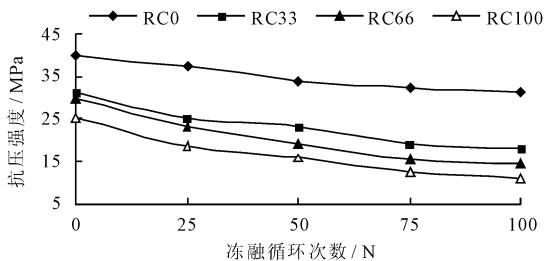
由图4(a)可以看到随着再生粗骨料取代率的增加和冻融循环次数的增多混凝土抗压强度明显降低。这是因为再生混凝土孔隙率高,而且再生粗骨料来自废弃的混凝土梁表面包裹着水泥砂浆,会吸收大量的水分,使再生混凝土在冻融循环作用下内部结冰膨胀产生大量的裂缝降低其的抗压强度。

由图4(b)可知,随着冻融次数的增多和钢渣掺量的增多,再生混凝土的强度逐渐降低,且均小于基准混凝土的强度。钢渣掺量为20%对再生混凝土的强度影响较小,与基准混凝土的强度相比大约降

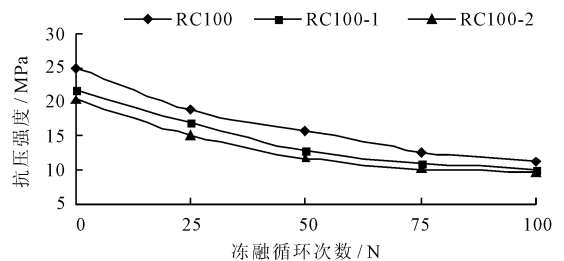
低10%。

由图4(c)可知,相同的冻融循环次数作用下,掺硅灰的再生混凝土的抗压强度均高于基准混凝土的抗压强度,掺量5%时与基准混凝土相比抗压强度提高约20%,掺量10%与掺量5%相比再生混凝土的抗压强度提高不明显。这是由于硅灰中的SiO₂需要和水泥水化会后产生的Ca(OH)₂发生二次反应提高混凝土的强度,而当硅灰掺量过多,水泥水化产生的SiO₂是有限的,这样就会有大量SiO₂没有与Ca(OH)₂发生二次反应,未水化的SiO₂增多使其的比表面积增大而影响其强度^[9]。

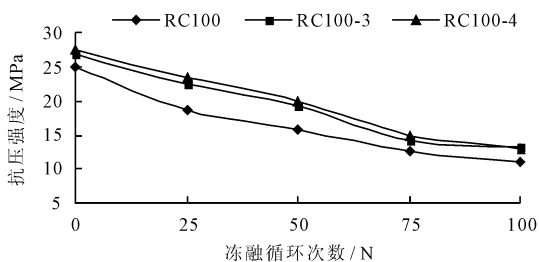
由图4(d)可以看到,在硅灰掺量5%一定的条件下,复掺硅灰5%+钢渣15%的再生混凝土的强度高于基准混凝土的强度,复掺硅灰5%+钢渣25%的再生混凝土的强度略低于基准混凝土的强度,说明合适比例的硅灰和钢渣复掺可以提高再生混凝土的抗压强度。



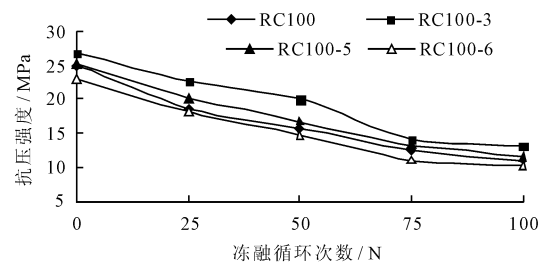
(a) 不同再生粗骨料取代率对再生混凝土强度的影响



(b) 单掺钢渣对再生混凝土强度的影响



(c) 单掺硅灰对再生混凝土强度的影响



(d) 复掺硅灰、钢渣对再生混凝土强度的影响

图4 冻融循环下混凝土抗压强度的变化曲线图

3 结 语

(1) 复合掺合料的加入都会使混凝土的失重率变大。从A组和C组可以看出,复合微粉掺量的变化对混凝土失重率的影响很小。从B组和D组可以看出,随着矿渣比重的增加,混凝土的失重率会降低,并且复合微粉掺量对混凝土的失重率的影响也会降低。

(2) 对于A、C型复合微粉混凝土,随着复合微粉掺量的增加,混凝土的残余抗压强度和静弹性模量均减小。对于B、D型复合微粉混凝土,随着复合微粉掺量的增加,混凝土的残余抗压强度和静弹性模量均先增大后减小。

(3) 对B、D型复合微粉混凝土而言,随着矿渣微粉的比重增加,掺量对混凝土动弹性模量的影响越小。A型复合微粉的掺量对混凝土动弹性模量影响很小。

参考文献:

- [1] 杨钱荣,张树青,杨全兵. 掺钢渣-矿渣-粉煤灰复合微粉混凝土性能研究[J]. 粉煤灰综合利用,2009(4):3-6.
- [2] 刘娟红,宋少民. 大掺量矿物细粉掺和料活性粉末混凝土高温性能[J]. 北京工业大学学报,2012,38(8):1180

-1184.

- [3] Khaliq W, Kodur V. Behavior of high strength fly ash concrete columns under fire conditions [J]. Materials and Structures,2013,46(5):857-867.
- [4] 马红侠. 粉煤灰混凝土高温后力学性能与龄期的关系[J]. 工业建筑,2013,43(1):80-84.
- [5] Khaliq W, Kodur V. High temperature mechanical properties of high strength fly ash concrete with and without fibers [J]. ACI Materials Journal. 2012,109(6):665-674.
- [6] Khan M S, Prasad J, Abbas H. Effect of High Temperature on High - Volume Fly Ash Concrete [J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2013,38(6):1369-1378.
- [7] 施惠生,郭晓璐,阚黎黎. 钢渣-水泥硬化浆体体积稳定性的改性研究[J]. 水泥,2007(12):1-4.
- [8] 中华人民共和国建设部,国家质量监督检验检疫总局. GB/T 50081-2002. 普通混凝土力学性能试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [9] 肖明辉,时旭东,邢万里. 不同等级混凝土强度高温衰退性能试验研究[J]. 建筑结构,2009(7):113-115.
- [10] 中华人民共和国工业和信息化部. YB/T4252-2011. 耐热混凝土配合比设计及性能检验规程[S]. 北京:冶金工业出版社,2011
- [11] 高丹盈,李哈,杨帆. 聚丙烯-碳纤维增强高强混凝土高温性能[J]. 复合材料学报,2013,30(1):187-193.

(上接第186页)

3 结 语

(1) 随着再生粗骨料取代率的增加和冻融循环次数的增多,混凝土的质量损失率增大,相对动弹性模量和抗压强度降低。

(2) 一定量的钢渣掺量可以提高混凝土的密实性,随着钢渣掺量的增多使得再生混凝土的质量损失率增大,相对动弹性模量和抗压强度降低。钢渣掺量20%对再生混凝土的质量损失,动弹性模量和抗压强度影响不大,掺量低于20%为宜。

(3) 硅灰极大的提高再生混凝土的抗冻性。硅灰掺量10%的再生混凝土的相对动弹性模量和抗压强度与硅灰掺量5%的再生混凝土相比提高不明显,从经济角度考虑,掺量5%为宜。

(4) 复掺硅灰和钢渣合适的比例可以提高再生混凝土的抗冻性,复掺硅灰5%+钢渣15%的再生混凝土的抗冻等级达到F100。

参考文献:

- [1] 魏应乐. 再生混凝土的耐久性及控制措施研究[J]. 混凝

土,2010(1):81-85.

- [2] Matias D, de Brito J, Rosa A, et al. Durability of concrete with recycled coarse aggregates: influence of superplasticizers [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2014, 26(7):615-621.
- [3] Salem R M, Burdette E G, Jackson N M. Resistance to freezing and thawing of recycled aggregate concrete [J]. ACI Materials Journal, 2003, 100(3):216-221.
- [4] 肖建庄,雷斌. 再生混凝土耐久性性能研究[J]. 混凝土, 2008(5):83-89.
- [5] 曹万林,梁梦彬,董宏英,等. 再生混凝土冻融后基本力学性能试验研究[J]. 自然灾害学报,2012,21(3):184-190.
- [6] 廖国胜,曾三海. 土木工程材料[M]. 北京:冶金工业出版社,2001.
- [7] 邹超英,范玉辉,胡琼. 冻融循环后再生混凝土基本力学性能试验[J]. 建筑结构,2010,40(Z1):434-438.
- [8] 刘娟红,梁文泉. 土木工程材料[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
- [9] 王洪,陈伟天,陈昌礼. 硅灰对高强混凝土强度影响的试验研究[J]. 混凝土,2011(7):74-76.