

富含砖粒再生骨料混凝土的耐久性试验研究

舒倩, 姜新佩, 董云婷

(河北工程大学水利水电学院, 河北邯郸 056000)

摘要: 用富含 40%~50% 砖粒的再生粗骨料配制再生混凝土, 采用渗水高度法和电通量法, 分析不同再生骨料取代率和粉煤灰取代率与再生混凝土抗水渗透性以及抗氯离子渗透性的关系, 得出抗渗透性最好的再生骨料取代率。然后, 在最优再生骨料取代率的情况下, 采用快速冻融法研究粉煤灰取代率对再生混凝土的抗冻融性能的影响, 并与普通混凝土进行比较。结果表明: 富含砖粒的再生混凝土的抗渗透性能比普通混凝土弱, 再生骨料取代率的增加会降低其抗渗透性, 砖粒类再生骨料取代率为 40% 的再生混凝土抗渗透性能最好; 粉煤灰对再生混凝土具有改性作用, 粉煤灰掺量为 20% 时, 再生混凝土的抗渗透性能以及抗冻融性能均最佳; 适当取代率下, 再生混凝土的抗冻等级能够达到 D100。

关键词: 砖粒; 再生混凝土; 耐久性; 粉煤灰; 渗透性; 抗冻融性

中图分类号: TU528.04

文献标识码: A

Experimental study on durability of recycled concrete with brick coarse aggregates

SHU Qian, JIANG Xinpei, DONG Yunting

(College of Water Conservancy and Hydropower, Hebei University of Engineering, Hebei Handan, 056000, China)

Abstract: The recycled concrete is made of recycled coarse aggregates rich in 40% ~ 50% brick aggregates. And the water penetration height method and electric flux method are used in the test to investigate the effects of the replacement rate of brick coarse aggregate and fly ash on the water permeability and chloride ion penetration and further to find out the best replacement rate. Then, the rapid frozen thaw method is used to investigate the effects of the replacement rate. The results show that the impermeability of recycled concrete is lower than that of ordinary concrete. With the increase of the replacement rate, the impermeability of recycled concrete becomes lower. The fly ash has the modification effects on recycled concrete. The penetration resistance and freeze-thaw resistance performance of recycled concrete are the best when the replacement of cement with fly ash is 20%. Under the appropriate replacement ratio, the frost resistant grade of recycled concrete can reach the D100.

Key words: brick aggregate; recycled concrete; durability; fly ash; permeability; freeze-thaw resistance

现今, 我国建筑行业不断高速发展, 大量建筑垃圾产生的同时, 建筑材料资源出现严重匮乏, 两者矛盾越来越突出。因此, 将建筑垃圾破碎成再生骨料制备再生混凝土成为了工程界研究热点之一。由于再生骨料表面包裹着旧水泥砂浆, 内部存在大量的细微裂缝, 具有吸水率高、压碎指标高、孔隙率大等特点, 使得再生混凝土的耐久性问题更为复

杂^[1]。目前, 大多数研究者主要致力于由废弃混凝土制成的再生混凝土的耐久性研究方面上^[2-8]。然而, 在我国北方, 拆除的建筑物大多为砖混结构, 碎砖含量达到了 30% 以上。目前, 对砖粒类骨料再生混凝土的研究较少, 对其耐久性的研究更是缺乏。基于此本文研究了再生骨料取代率以及粉煤灰掺量对砖粒类再生混凝土的抗水渗透性以及抗氯离子渗

收稿日期: 2016-10-18

特约专稿

基金项目: 河北省科学技术研究与发展计划项目 (15273609D)

作者简介: 舒倩 (1989-), 女, 四川广安人, 硕士, 主要研究方向为水工结构。

透性的影响。同时，对同一再生骨料取代率的再生混凝土进行抗冻融试验，研究粉煤灰取代率对其抗冻融性的影响。

1 试验概况

1.1 试验原材料

水泥为太行山牌 42.5 级普通硅酸盐水泥；天然细骨料为普通河砂，其细度模数为 2.67，属于中砂；天然粗骨料采用 5~25 mm 连续级配的天然碎石；再生粗骨料由邯郸全有生态公司将建筑垃圾破碎加工而成，含有 40%~50% 砖粒，其粒径范围为 5~25 mm，均匀级配；粉煤灰为 I 级粉煤灰；拌和水为自来水；减水剂采用山东济南万山化工有限公司生产的奈系高效减水剂，掺量为水泥用量的 0.8%，减水率约为 25%。

1.2 试验内容及方法

本次试验根据 JGJ 55-2011《普通混凝土配合

比设计规程》和 GB/T50082-2009《混凝土长期性能和耐久性试验方法标准》配制强度等级为 C35 的再生混凝土，研究再生粗骨料取代率 ($\alpha=0$ 、40%、50%、60%)，粉煤灰取代率 ($\beta=0$ 、10%、20%、30%) 与富含砖粒再生混凝土的抗水渗透性、抗氯离子渗透性的关系。同时，固定抗渗透性最优的再生骨料取代率，研究粉煤灰取代率 ($\beta=0$ 、10%、20%、30%) 对再生混凝土抗冻融耐久性能的影响。其中，抗水渗透试验采用渗水高度法，抗氯离子渗透试验采用电通量法，抗冻融性试验采用快速冻融法。在设计配合比时，由于再生粗骨料含有较多吸水率高的砖粒以及砂浆块，需考虑其附加用水量。在本次试验中，附加用水量根据张学兵^[9]提出的公式计算得出，再生混凝土附加用水量和试验配合比见表 1、表 2。

2 试验结果与分析

2.1 抗水渗透性试验

渗水高度值与再生骨料取代率，粉煤灰取代率的关系如图 1 所示。

2.1.1 富含砖粒再生粗骨料取代率对抗水渗透性的影响

由图 1 可以看出，随着再生粗骨料取代率的增加，渗透高度基本上呈逐渐升高的趋势。当粉煤灰

表 1 再生混凝土附加用水量

Tab.1 Additional water of recycled concrete

再生骨料取代率 /%	0	40	50	60
附加用水量 / (kg · m ⁻³)	0	35.6	44.5	53.5

表 2 再生混凝土试验配合比

Tab.2 Proportion design of recycled concrete

编号	水灰比	砂率 /%	再生骨料取代率 /%	粉煤灰取代率 /%	水泥用量 / (kg · m ⁻³)	粉煤灰用量 / (kg · m ⁻³)	再生粗骨料用量 / (kg · m ⁻³)	天然粗骨料用量 / (kg · m ⁻³)	单位用水量 / (kg · m ⁻³)	减水剂用量 /%
A ₁	0.42	39	0	0	405.0	0	0	1 127.6	170	0.8
A ₂	0.42	39		10	364.5	40.5			170	0.8
A ₃	0.42	39		20	324.0	81.0			170	0.8
A ₄	0.42	39		30	283.5	121.5			170	0.8
B ₁	0.42	39	40	0	405.0	0	451.0	676.6	170	0.8
B ₂	0.42	39		10	364.5	40.5			170	0.8
B ₃	0.42	39		20	324.0	81.0			170	0.8
B ₄	0.42	39		30	283.5	121.5			170	0.8
C ₁	0.42	39	50	0	405.0	0	563.8	563.8	170	0.8
C ₂	0.42	39		10	364.5	40.5			170	0.8
C ₃	0.42	39		20	324.0	81.0			170	0.8
C ₄	0.42	39		30	283.5	121.5			170	0.8
D ₁	0.42	39	60	0	405.0	0	676.6	451.0	170	0.8
D ₂	0.42	39		10	364.5	40.5			170	0.8
D ₃	0.42	39		20	324.0	81.0			170	0.8
D ₄	0.42	39		30	283.5	121.5			170	0.8

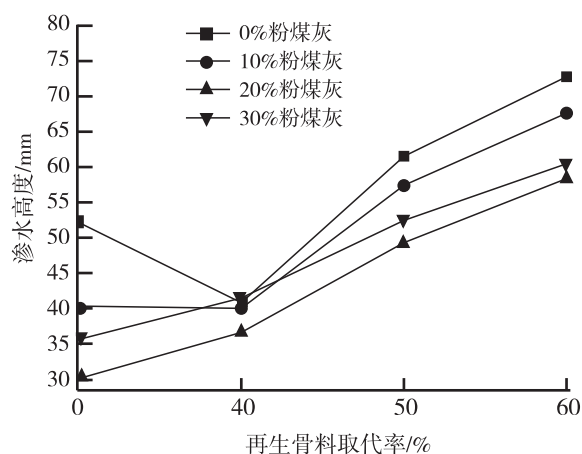


图1 再生混凝土渗水高度值

Fig.1 Height of water penetration of recycled concrete

掺量不为零时,虽然再生骨料取代率为40%的再生混凝土的渗透高度比普通混凝土高,但都比较接近;而当再生骨料取代率超过40%时,再生混凝土渗水高度比普通混凝土高出了39.4%~91%,抗水渗透性快速降低且比普通混凝土差。由此可以看出,40%再生骨料的再生混凝土的抗渗性最好,但仍低于普通混凝土。

再生混凝土的抗水渗透性低于普通混凝土的原因,主要是再生骨料中的碎砖及砂浆块在破碎过程中存在许多裂纹,具有较多孔隙,随着砖粒类骨料取代率的增加,在混凝土内部形成了更多的吸水通道,因而降低了其抗水渗透性。然而,在未掺粉煤灰情况下,再生骨料取代率为40%时,再生混凝土渗水高度低于普通混凝土,其原因则只能源于混凝土的“内养护效应”作用^[10]。由于再生骨料含有大量高吸水率的砖粒,养护时吸收了更多的水分,在混凝土硬化时,在基体湿度压力差作用下,使界面区域内的水泥水化更充分,减少了孔隙率,在适当的粗骨料取代率下,再生混凝土的“内养护效应”作用明显大于再生混凝土孔隙率的作用,从而提高了抗渗性。

2.1.2 粉煤灰掺量对抗水渗透性的影响

掺入适量的粉煤灰能够使富含砖粒的再生混凝土的渗水高度降低,提高其抗水渗透性能。掺粉煤灰后再生混凝土的渗水高度比不掺时降低了9.8%~22.6%。随着粉煤灰掺量的增加,再生混凝土的抗水渗透能力先提高后降低,粉煤灰掺量为20%时,再生混凝土的抗渗性最强,这与吴相豪^[11]等研究结果相似,并且在相同骨料取代率下,最高提

高了约20%。当粉煤灰掺量为30%时,再生混凝土的抗水渗透性能开始降低,但差别不大。

由于粉煤灰的二次反应能吸收混凝土空隙中的水,再生混凝土的孔隙率降低,使其密实度得到提高,从而改善了抗水渗透性能。但随着粉煤灰掺量的加大,粉煤灰的二次反应速度很慢,大量未水化的粉煤灰使得孔隙率增加,从而导致抗水渗透性能开始出现降低情况。

2.2 抗氯离子渗透性试验

2.2.1 富含砖粒再生粗骨料取代率对抗氯离子渗透性的影响

由图2可知,再生混凝土氯离子渗透性随着骨料取代率的增加而增强,抗氯离子渗透性能逐渐降低,并且低于普通混凝土。相同粉煤灰掺量下,再生骨料取代率越大,其电通量增加幅度越大,最高增加幅度为10.3%,抗氯离子渗透性能降低越明显。当取代率为40%,再生混凝土的电通量最低,抗氯离子渗透性能最强。

2.2.2 粉煤灰掺量对抗氯离子渗透性的影响

试验结果显示,掺入粉煤灰能改善再生混凝土的抗氯离子渗透性能,再生混凝土的电通量比不掺时降低了5.2%~13.3%,普通混凝土的电通量比不掺时降低了2.5%~6.8%。再生混凝土的抗氯离子渗透性随着粉煤灰掺量的增加呈先提高后降低的趋势,这与粉煤灰对抗水渗透性的影响效果一致。粉煤灰对再生混凝土氯离子渗透性的影响机理与水渗透性相似。同时,粉煤灰能够在水泥水化生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的激发下,生成大量的铝酸盐和衍生物,并和氯离子反应生成单氯铝酸钙^[11],当粉煤灰掺量适当时,可以有效地扩大粉煤灰结合氯离子的有效面积,加

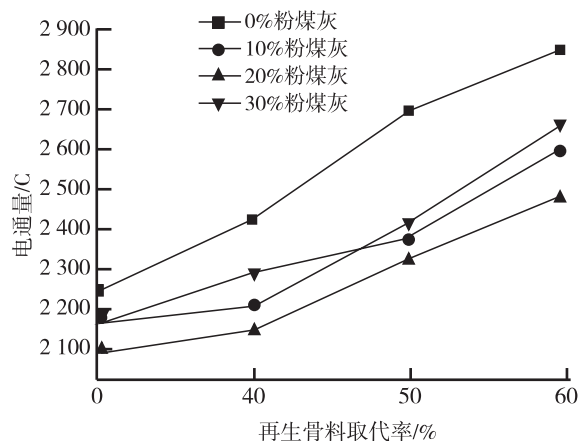


图2 再生混凝土电通量值

Fig.2 Electric flux of recycled concrete

强了再生混凝土吸附氯离子的能力,从而提高其抗氯离子渗透性能。

2.3 抗冻融性试验

从富含砖粒再生混凝土的渗透性试验可知,再生骨料取代率为40%时抗渗透性最好,在此情况下,对再生骨料取代率为40%的再生混凝土进行抗冻融试验,研究粉煤灰取代率对其抗冻融性的影响,并与普通混凝土进行比较。质量损失率、相对动弹性模量损失率见图3、图4。

2.3.1 粉煤灰掺量对富含砖粒再生混凝土质量损失率的影响

由图3可知,普通混凝土与再生混凝土在冻融过程中,随着冻融次数的增加,质量均存在先增加后降低的现象。当未掺入粉煤灰时,普通混凝土与再生混凝土均在冻融次数为50次时,质量损失开始增加;掺入粉煤灰时,当冻融次数达到50次时,普

通混凝土质量开始降低,而再生混凝土质量仍在增加。同时,掺入粉煤灰能够改善再生混凝土的抗冻融性,掺粉煤灰后再生混凝土的质量损失率比不掺时最高减少了42.8%,随着粉煤灰取代率的增加,再生混凝土的质量损失先减少后增加。再生混凝土的质量损失率在粉煤灰取代率为20%时最低,并且比较接近未掺入粉煤灰的普通混凝土,抗冻融性能最好。

在冻融初期,再生混凝土与普通混凝土的质量均有所增加,这可能主要是因为冻融前混凝土内部不相通的孔隙经过一定次数的冻融后变得相互连通,增加了混凝土的吸水量,同时,混凝土表面未出现浮渣或者水泥浆剥落等现象,随着吸水量的增加,导致了混凝土质量的增加。而在冻融后期,混凝土试件表面开始出现浮渣,水泥浆剥落,从而质量又开始降低。再生混凝土质量增加率大于普通混凝土,

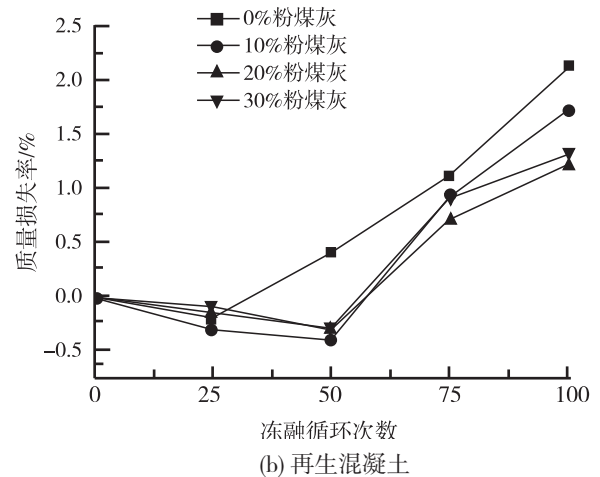
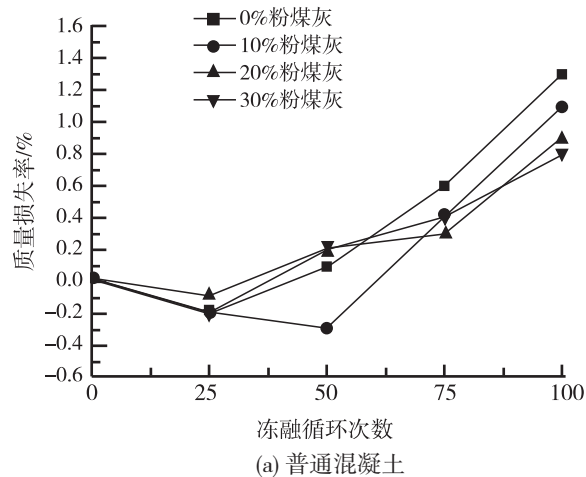


图3 质量损失率

Fig.3 Loss rate of mass

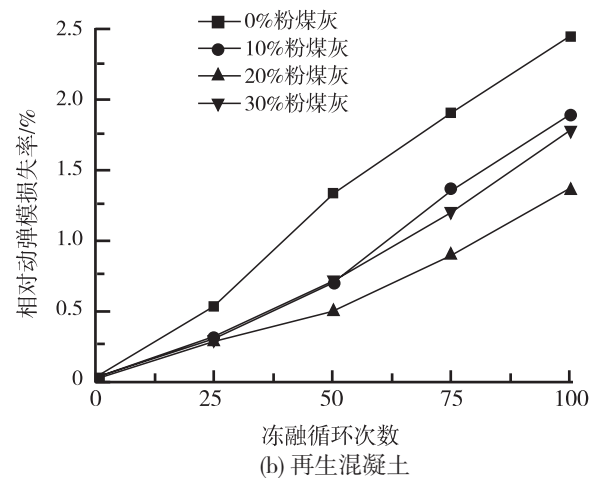
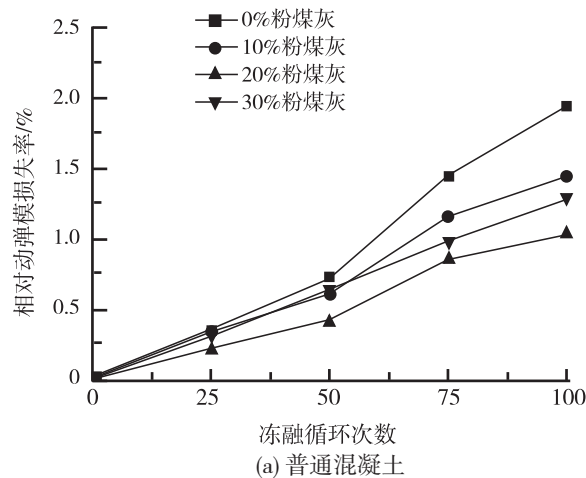


图4 相对动弹性模量损失率

Fig.4 Loss rate of relative dynamic elastic modulus

主要是因为富含砖粒骨料的吸水率远大于天然骨料, 使其吸水量更多。

2.3.2 粉煤灰掺量对富含砖粒再生混凝土相对动弹性模量损失率的影响

由图 4 可以看出, 随着冻融次数的增加, 再生混凝土的相对动弹性模量损失率逐渐增加, 损失率大于普通混凝土, 且冻融次数大于 75 次时更明显。掺入粉煤灰能够改善再生混凝土的抗冻融性, 随着粉煤灰取代率增加, 相对动弹性模量损失率先减少后增加, 粉煤灰掺量为 20% 时, 相对动弹性模量损失率最少, 比不掺粉煤灰时减少了 27.5%, 当取代率为 30%, 相对动弹性模量损失率又开始增加, 再生混凝土的抗冻融性有所下降, 这与质量损失率相似。另外, 与普通混凝土相比, 再生混凝土相对动弹性模量损失率的增加速率明显大于普通混凝土, 但当冻融次数达到 100 次时, 相对动弹性模量损失率仍未超过规范要求。

3 结论

1) 富含砖粒再生混凝土的耐久性能弱于普通混凝土。

2) 随着富含砖粒类再生骨料取代率的增加, 再生混凝土的抗水渗透性及抗氯离子渗透性均逐渐降低, 再生骨料取代率为 40% 时, 抗渗透性最好。

3) 富含砖粒再生混凝土的抗渗透能力和抗冻融能力均随着粉煤灰掺量的增加先提高后降低, 粉煤灰的最佳掺量为 20%。

4) 富含砖粒再生混凝土的抗冻融性能比普通混凝土差, 但再生骨料取代率为 40% 的再生混凝土抗冻融等级能够达到 D100。同时, 对于评价再生混凝土的抗冻融性能, 质量损失率评价效果没有相对

动弹性模量损失率好, 应考虑从强度损失率方面来进行评价。

参考文献:

- [1] 徐宝维. 混凝土抗渗性能及检验方法研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2007.
- [2] 张大长, 徐恩祥, 周旭洋. 再生混凝土抗渗性能的试验研究 [J]. 混凝土, 2010(9): 65-67.
- [3] MANDAL S, GUPTA A. Strength and durability of recycled aggregate concrete[C]//IABSE Symposium Report. International Association for Bridge and Structural Engineering, 2002: 33-46.
- [4] ROUMIANNA Z, FRANCOIS B. Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete[J]. Cement and Concrete Composites, 2003, 25(2): 223-232.
- [5] 吴相豪, 岳鹏君. 再生混凝土中氯离子渗透性能试验研究 [J]. 建筑材料学报, 2011 (3): 381-384.
- [6] 韦庆东, 孙 俊, 黄沛增, 等. 再生骨料对混凝土的抗氯离子渗透性能影响 [J]. 混凝土, 2014(12): 101-104.
- [7] 尹兴伟, 吴相豪. 矿物掺合料对再生混凝土抗冻性影响的试验研究 [J]. 混凝土, 2012(8): 90-93.
- [8] 陈爱玖, 章 青, 王 静, 等. 再生混凝土冻融循环试验与损伤模型研究 [J]. 工程力学, 2009(11): 102-107.
- [9] 张学兵, 邓寿昌. 再生混凝土单位体积用水量的实验研究 [J]. 混凝土, 2004(10): 38-40.
- [10] 黄 莹. 再生粗骨料对混凝土结构耐久性影响机理研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [11] 吴相豪, 聂劲庭. 粉煤灰再生混凝土中氯离子渗透性能试验研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2010(5): 3-5.

(责任编辑 王利君)