

文章编号: 1673-9469 (2017) 01-0030-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2017.01.007

含砖粒再生混凝土基本性能研究

安新正¹, 牛薇¹, 张亚飞¹, 刘燕²

(1. 河北工程大学土木工程学院, 河北邯郸 056038; 2. 河北农业大学城乡建设学院, 河北保定 071001)

摘要: 以再生砖粒取代率(0%~30%)和水胶比(0.40~0.50)为主要参数, 通过工作性能与弹性模量试验, 研究再生砖粒取代率和水胶比对再生混凝土工作性能及弹性模量的影响规律。结果表明: 当水胶比相同时, 再生混凝土的工作性能和弹性模量均随再生砖粒取代率的增加而降低, 且在再生砖粒取代率为30%, 水胶比为0.5时, 再生混凝土弹性模量的降幅达17.62%; 提出适合于含再生砖粒再生混凝土弹性模量估算的预测模型, 该预测模型与试验值吻合较好。

关键词: 再生混凝土; 再生砖粒; 取代率; 工作性能; 弹性模量

中图分类号: TU528

文献标识码: A

Study on basic performance of recycled concrete with brick grain

AN Xinzheng¹, NIU Wei¹, ZHANG Yafei¹, LIU Yan²

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan, 056038, China;
2. College of Urban and Rural Construction, Agricultural University of Hebei, Hebei Baoding, 071001, China)

Abstract: The influences of different water cement ratios (0.40~0.50) and different replacement rates (0%~30%) of recycled brick grain on the workability and elastic modulus of the recycled concrete are investigated based on the slumps experiment and elastic modulus experiment of those concrete mixtures. The test results indicated that with the increase of content of recycled brick grain, the workability and the elastic modulus become bad under the condition of the same water cement ratio. And when the replacement rate of recycled brick grain is 30% and water cement ratio is 0.50, the descend range is equal to 17.62% for its elastic modulus. Based on the test results, the prediction model of the elastic modulus is proposed for the recycled concrete with brick grain.

Key words: recycled concrete; recycled brick grain; replacement rate; workability; elastic modulus

据不完全统计, 目前我国由于城市改造、自然灾害等产生的建筑垃圾中, 废弃砖块的含量大约在50%左右^[1]。利用含再生砖粒再生粗骨料制备建筑结构用再生混凝土, 对建筑垃圾的资源化利用、建筑业的可持续发展以及环境保护具有重要意义。目前, 大多数研究成果都集中在利用废弃混凝土生产再生骨料进而配制的再生混凝土上^[2-5], 而从混凝土工程中再生粗骨料应用的实际情况出发, 同步考虑含再生砖粒再生混凝土基本性能的相关研究还较少见^[6-7]。从我国目前的实际情况来看, 含再生砖粒再生混凝土在工程中的应用还达不到再生混凝土用量的20%。为了促进含再生砖粒再生混凝土在结构中

的应用, 迫切需要对其基本性能进行深入地研究。因此本文以再生砖粒取代率和水胶比为主要参数, 来研究其对再生混凝土弹性模量及工作性能的影响规律, 旨在为含再生砖粒再生混凝土的结构设计与应用提供一定参考。

1 试验研究

1.1 再生混凝土的材料选用

水泥: 采用太行山 P.O42.5 级普通硅酸盐水泥;
砂: 采用沙河砂, 细度模数 2.3; 再生粗骨料: 采用邯郸市房屋拆除的废弃混凝土和粘土砖, 经鄂式

投稿日期: 2016-09-18

特约专稿

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(E2015204111); 河北省科学技术研究与发展计划资助项目(15273609D)

作者简介: 安新正(1963-), 男, 河南镇平人, 工学博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 混凝土结构耐久性理论与设计。

破碎机破碎处理后，按设定比例混合而成的全级配混合再生粗骨料；粉煤灰：采用 II 级粉煤灰；减水剂：采用 TW-JS 高效聚羧酸减水剂；水：采用邯郸市饮用自来水。再生粗骨料的基本特性详见表 1。再生砖粒取代率分别为：0%、15%、30%。

表 1 再生骨料的基本特性

再生粗骨料名称	粒径范围 /mm	堆积密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	24h 吸水率 /%	含泥量 /%
废弃混凝土粗骨料	5~25	1 405	3.5	0.8
再生砖粒粗骨料	5~25	985	15.7	0.95

1.2 再生混凝土配合比设计与编组

鉴于当前我国建筑结构用再生混凝土中，再生砖粒在再生粗骨料中的含量一般不超过 30% 的实际情况，对水胶比 (W/C) 和再生砖粒取代率 (r) 这两个影响因素每个因素取 3 个水平 ($r=0\%$ 、 $r=15\%$ 和 $r=30\%$ ； $W/C=0.40$ 、 $W/C=0.45$ 和 $W/C=0.50$)，来进行 W/C 与 r 对再生混凝土弹性模量及工作性能影响程度及规律的系列试验研究。

再生混凝土的配制采用 33% 的常用砂率，粉煤灰掺量为所用胶凝材料总用量的 20% (以质量计)，减水剂掺量为 1.6% (占胶凝材料总质量的百分比)。参照文献 [8] 的基本要求，在考虑再生粗骨料吸水性、细骨料含水率及试验目的的基础上，对试验用再生混凝土进行相应配合比的设计 (其水泥用量均为 300 kg)，同时依据再生混凝土配合比及再生砖粒取代率的不同，对试件进行系列编组 (表 2)。

表 2 试件的基本情况

试件组编号	胶比 W/C	砖粒取代率 $r/\%$
ZA1	0.40	0
ZA2	0.40	15
ZA3	0.40	30
ZB1	0.45	0
ZB2	0.45	15
ZB3	0.45	30
ZC1	0.50	0
ZC2	0.50	15
ZC3	0.50	30

1.3 试件制作与试验方法

对再生粗骨料经造壳法处理后可十分有效地改善再生混凝土的工作性能 [5]，提高再生混凝土的可泵性，在此对再生混凝土的生产工艺上进行了改进，具体方法：在搅拌机 (J30 型强制式搅拌机) 内首先加入砂和再生粗骨料，搅拌 50 s 之后向搅拌机内加入总用水量的 1/3，再搅拌 70 s；然后再加入水泥和高效减水剂并搅拌 30 s，之后把剩余水全部加入，搅拌 100 s；将生产出来的再生混凝土分别装入 150 mm×150 mm×150 mm 立方体和 150 mm×150 mm×300 mm 棱柱体试件模具之中，然后放在混凝土振动台上振捣密实并将表面抹平，静置 24 h 后拆模，并将试件放置于 NLD-40B 型标准养护箱内养护备用。试件制作数量：每组立方体试件和棱柱体试件均制作 6 个试件。

再生混凝土工作性能在此以再生混凝土的塌落度 (H_{rc}) 来度量。ZA1—ZA3 组、ZB1—ZB3 组和 ZC1—ZC3 组各组再生混凝土工作性能及弹性模量的试验方法，分别依据文献 [9] 和文献 [10] 的相关要求进行。弹性模量试验加载采用应力控制，在 TYA-2000 型压力试验机上进行，加载速率均采用 0.5 MPa/s。

2 试验结果与分析

2.1 再生混凝土工作性能试验结果与分析

基于 ZA1—ZA3 组、ZB1—ZB3 组和 ZC1—ZC3 组再生混凝土工作性能的试验过程观察，可以发现：掺再生砖粒的新拌再生混凝土均没有泌水和离析现象发生，再生砖粒能够在再生混凝土中形成比较均匀分布。图 1 给出各组再生混凝土塌落度的试验实测结果。由图 1 可以看出，在 W/C 相同条件下，

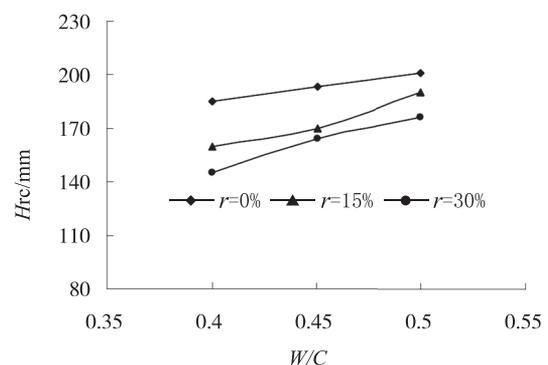
图 1 不同 r 条件下 H_{rc} 与 W/C 的相关关系

fig.1 Relationship between H_{rc} and W/C at different r

再生砖粒的掺量对再生混凝土的流动性有明显的影 响,且再生混凝土的坍落度随 r 的增加而降低,这是由再生砖粒的基本特性所决定的。 W/C 从 0.40 增加到 0.50, H_{rc} 的最大增量约为 30 mm, r 从 0% 增加到 30%, H_{rc} 的最大增量约为 40 mm。因此对再生混凝土工作性能来说, r 的影响比较显著,不可忽视。

2.2 再生混凝土弹性模量试验结果与分析

对 ZA1—ZA3 组、ZB1—ZB3 组和 ZC1—ZC3 组再生混凝土棱柱体试件进行 28 d 龄期弹性模量试验,取 3 个试件试验结果的平均值作为再生弹性模量试验值 (E_{rc})。 E_{rc} 随 r 和 W/C 变化关系的实测结果见图 2。由图 2 可知,在 W/C 相同的条件下, E_{rc} 随 r 的增加而降低。当 W/C 分别为 0.40、0.45 和 0.50 时, $r=30\%$ 的再生混凝土与普通再生混凝土 ($r=0\%$ 时) 对比,其 28 d 的 E_{rc} 分别降低了 12.45%、11.76% 和 17.62%。其主要原因是再生砖粒表面含有泥土,这将会削弱新界面过渡区的粘结强度,同时再生砖粒内部含有较大孔隙和较多微裂纹,且随 W/C 的增大,含再生砖粒再生混凝土内部的空隙率也会逐渐增多。因此当水胶比较大时,在再生粗骨料中掺入较多再生砖粒会导致 E_{rc} 显著降低,应给予足够的重视。

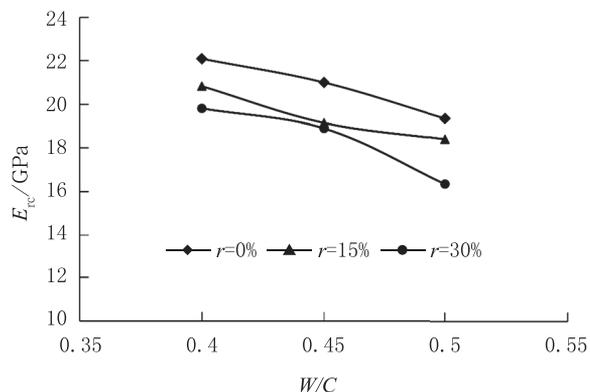


图2 不同 r 条件下 E_{rc} 与 W/C 的相关关系

fig.2 Relationship between E_{rc} and W/C at different r

2.3 再生混凝土弹性模量预测

本文以文献 [11] 为基础,考虑到掺再生砖粒对再生混凝土弹性模量的实际影响,再生混凝土弹性模量预测值按式 (1) 进行计算。

$$E_{rc,y} = a(f_{cu})^b(c + dr) \quad (1)$$

式中, $E_{rc,y}$ —掺再生砖粒再生混凝土弹性模量预测值, MPa; f_{cu} —掺再生砖粒再生混凝土抗压强度, MPa; a 、 b 、 c 、 d —均为试验参数。依据文献 [13], 结合本文的

相关试验结果,可取 $b=0.5000$ 、 $c=0.9500$ 。基于本课题的试验结果,采用 MATLAB 分析软件对试验参数 a 与 d 进行拟合分析,可以得到: $a=4211$ 、 $d=0.2182$ 。

基于拟合结果的含再生砖粒再生混凝土弹性模量预测模型见式 (2)。

$$E_{rc,y} = 4211(f_{cu})^{0.5}(0.9500 - 0.2182r) \quad (2)$$

含再生砖粒再生混凝土弹性模量实测值与基于式 (2) 弹性模量预测值的比较结果见表 3。由表 3 可知,本文给出的含再生砖粒再生混凝土弹性模量预测模型的总体预测偏差在 0.97~1.05 之间,能够在一定程度上反映含再生砖粒再生混凝土弹性模量的实际情况。

表 3 实测值和预测值对比

Tab.3 Comparison of test values and calculated values for elastic modulus

试件组 编号	混凝土弹性模量试验值 E_{rc}/GPa	立方体 抗压强 f_{cu}/MPa	式(2) 预测值 $E_{rc,y}/\text{GPa}$	试验值与 式(2)计算 值之比
ZA1	22.09	29.3	21.65	1.02
ZA2	21.00	27.7	20.33	1.03
ZA3	19.34	24.6	18.47	1.05
ZB1	20.83	26.8	20.71	1.01
ZB2	19.15	24.1	18.96	1.01
ZB3	18.38	22.5	17.67	1.04
ZC1	19.81	23.6	19.43	1.02
ZC2	18.90	21.8	18.03	1.05
ZC3	16.32	20.4	16.82	0.97

3 结论

1) 与废弃再生粗骨料相比,再生砖粒的表观密度低、吸水率高,对再生混凝土的坍落度存在不利影响。再生混凝土的坍落度随着再生砖粒掺量的增加而降低。

2) 当水胶比相同时,再生混凝土的弹性模量随着再生砖粒掺量的增加而降低。当水胶比为 0.50 时,与普通再生混凝土相比,再生砖粒取代率为 30% 时的再生混凝土弹性模量的降幅达 17.62%。

3) 基于 CEB-FIP 模型,考虑含再生砖粒取代率对再生混凝土弹性模量的影响,提出适合于再生砖粒再生混凝土弹性模量的预测模型,该预测模型与含再生砖粒再生混凝土 28 d 弹性模量的试验值吻合较好,可为含再生砖粒再生混凝土的结构设计提供参考。

参考文献:

- [1] 陈家珑. 地震灾区建筑垃圾处理技术研究[J]. 建筑技术, 2009, 40(9): 822-824.
- [2] 周静海, 何海进, 孟宪宏, 等. 再生混凝土基本力学性能试验[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2010, 26(3): 465-467.
- [3] 黄靖. 不同粗骨料种类再生混凝土的基本性能试验研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [4] 叶腾, 徐毅慧, 张锦. 基于工作性能的再生混凝土抗压强度试验研究[J]. 建筑结构, 2014, 44(21): 75-77.
- [5] 张会芝, 郑建岚. 再生混凝土抗压强度及工作性能的影响因素分析[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2012, 40(4): 508-514.
- [6] 田志伟. 富含砖粒的再生混凝土试验研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2015.
- [7] 杨涛. 含再生砖粒混凝土的力学性能及框架柱抗震性能研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
- [8] JGJ 55-2011, 普通混凝土配合比设计规程[S].
- [9] GB/T 50080-2002, 普通混凝土拌合物性能试验方法标准[S].
- [10] GB/T 50081-2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准[S].
- [11] ACI Committee 318, Building code requirements for reinforced concrete[S].

(责任编辑 王利君)

(上接第23页)

参考文献:

- [1] SHU X, HUANG B, SHRUM E D, et al. Laboratory evaluation of moisture susceptibility of foamed warm mix asphalt containing high percentages of RAP[J]. Construction and Building Materials, 2012 (35): 125-130.
- [2] BUSS A, CASCIONE A, WILLIAMS R C. Evaluation of warm mix asphalt containing recycled asphalt shingles[J]. Construction and Building Materials, 2014 (61): 1-9.
- [3] RONDON H A, URAZ N C F, CH VEZ S B. Characterization of a Warm Mix Asphalt Containing Reclaimed Asphalt Pavements[C]// Airfield and Highway Pavements 2015. 2015: 19-30.
- [4] ZHAO S, HUANG B, SHU X, et al. Laboratory performance evaluation of warm-mix asphalt containing high percentages of reclaimed asphalt pavement[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2012(2294): 98-105.
- [5] 刘明珠. Sasobit 温拌再生沥青混合料路用性能评价[D]. 北京: 北京建筑大学, 2013.
- [6] 李佳坤. RAP 加工工艺及温拌再生沥青混合料路用性能研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
- [7] XIAO F, PUTMAN B, AMIRKHANIAN S. Rheological characteristics investigation of high percentage RAP binders with WMA technology at various aging states[J]. Construction and Building Materials, 2015 (98): 315-324.
- [8] 樊亮, 李永振, 林江涛. 旋转蒸发器法回收沥青空白试验研究[J]. 公路, 2013(10): 194-196.
- [9] 马煜纓. 纤维沥青胶浆流变性能的试验研究[J]. 公路工程, 2014(5): 311-314.
- [10] 朱林, 徐大卫, 张诚. 用水量对泡沫沥青高温流变性能的影响[J]. 大连交通大学学报, 2014, 35(3): 73-76.
- [11] MARASTEANU M. Role of bending beam rheometer parameters in thermal stress calculations[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2004 (1875): 9-13.

(责任编辑 王利君)