文章编号: 1673-9469 (2018) 02-0071-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2018.02.016

再生细骨料对再生骨料混凝土抗压性能影响研究

张亚飞,安新正,牛 薇,杨莹莹

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:为促进建筑垃圾再生骨料的工程应用,以再生细骨料取代天然砂为研究参数,配置4组配合比的再生骨料混凝土,并制作立方体和棱柱体抗压强度试件,通过不同龄期的4组再生骨料混凝土抗压性能试验,研究再生细骨料取代率对富含砖粒再生混凝土抗压性能的影响规律。试验结果表明,在28d龄期下再生混凝土的抗压性能随再生细骨料取代率的增加而减小,而在3d和7d龄期下再生细骨料取代率对再生混凝土的抗压性能的影响较小。提出了考虑再生细骨料取代率影响的富含砖粒再生混凝土棱柱体抗压强度与立方体抗压强度关系计算模型。

关键词: 再生细骨料;富含砖粒再生混凝土;取代率;抗压性能中图分类号: TU528 文献标志码: A

Effect of recycled fine aggregate recycled aggregate concrete on compressive properties

ZHANG Yafei, AN Xinzheng, NIU Wei, YANG Yingying

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan, 056038, China)

Abstract: In order to promote the engineering application of the recycled aggregate of construction waste, the natural aggregate was substituted by regenerated fine aggregate for the research parameters to configure four groups of recycled aggregate concrete. The cubic and prismatic compressive strength specimens were made. Based on the compressive strength tests for four groups of recycled aggregate concrete at different ages, the effect of the regenerated fine aggregate substitution ratio on the compressive properties of brick-rich recycled concrete was studied. The results show that the compressive strength of recycled concrete decreases under 28d age with the increase of the replacement rate of regenerated fine aggregate, but the effect is less at 3d and 7d. The calculation model between axial compressive strength and cuboidal compressive strength was obtained considering the influence of regenerated fine aggregate substitution rate.

Key words: regenerated fine aggregate, rich in brick recycled concrete, substitution rate, compression performance.

随着城镇化的发展,建筑结构老化翻新等产生了大量的建筑垃圾,据不完全统计,河北省邯郸市的建筑垃圾已达到城市垃圾的40%以上,产量惊人,针对建筑垃圾的妥善处理成为了当今社会迫切需要解决的问题。建筑垃圾的增多促使各国学者对再生混凝土进行研究,目前针对再生粗骨料代替天然粗骨料混凝土的研究比较全面,并且已将再生粗骨料

混凝土投入到了实际工程的使用^[1-5]。相对而言,再生细骨料混凝土的研究相对较少,所需相关数据仍需继续深入研究。肖建庄等^[6] 研究了再生细骨料取代率 (0% ~ 100%) 对混凝土抗压强度的影响及概率分布特征,得出可以用正态分布模型描述再生混凝土抗压强度的概率分布。郭樟根^[7] 通过对再生粗细骨料混凝土基本力学性能试验研究,认为再生粗骨

料、细骨料配制的再生混凝土的破坏形态与普通混凝土破坏形态相似,再生混凝土的抗压强度随着水灰比,再生粗、细骨料取代率的增大而下降。本文通过4组配合比的再生细骨料富含砖粒再生混凝土抗压性能试件抗压性能试验,研究再生细骨料取代率对富含砖粒再生混凝土抗压性能的影响,并提出棱柱体抗压强度与立方体抗压强度关系计算模型,诣在为再生细骨料富含砖粒再生混凝土的工程设计提供理论参考。

1 试验研究

再生细骨料富含砖粒再生混凝土是由建筑垃圾如废弃混凝土、废弃砖等经过破碎、清洗和分级后制成,满足文献[8]要求的再生粗骨料作为粗骨料,以废弃混凝土经过与再生粗骨料制备同样的工序制成,满足文献[9]要求的再生细骨料,再将再生细骨料与天然砂按照一定比例混合作为细骨料,经配合比设计配制成再生细骨料富含砖粒再生混凝土。

1.1 试验材料选用

水泥:采用太行山 P.O 42.5 级普通硅酸盐水泥; 再生粗骨料:采用邯郸全有生态建材有限公司提供 的富含砖粒建筑垃圾经破碎、清洗处理后制成富含 砖粒再生粗骨料;天然细骨料:采用河砂,细度模 数为 2.3, 含泥量为 1.1%, 再生细骨料:采用废弃 混凝土梁经破碎, 筛分处理后得到的废弃混凝土再 生细骨料;减水剂:采用高效聚羧酸液态减水剂, 减水率为 25%, 水:采用邯郸市供自来水, 粉煤灰: 采用 II 级粉煤灰。试验中采用的再生骨料的基本性 质详见表 1 所示。

1.2 富含砖粒再生混凝土配合比

以再生细骨料取代率 r 作为配制富含砖粒再生混凝土配合比的变化因子来配制富含砖粒再生混凝土,以分析研究 r 对富含砖粒再生混凝土抗压性能的影响规律。再生细骨料掺入量采用等体积置换方法置换天然砂,分别取 r=0%、r=15%、r=30%、r=45%。配合比设计与文献 [10] 一致,试验中采用的 4 组富含砖粒再生混凝土配合比详见表 2 所示。

由表 2 的配合比结果分析得出: 若使不同取代率下再生混凝土坍落度保持在 160 ~ 180 mm 时,再生混凝土的附加用水量随 r 增加而增加;由于粗骨料为建筑垃圾处理后所得,其中砖粒含量大于50%,砖粒的吸水率较大,所以附加用水量较大,甚至与计算用水相差不大;并且由于再生细骨料掺加的比例不同,要确保再生混凝土良好的工作性能,所以附加用水量也会随之变化。

1.3 试验试件的制作与养护

表 1 再生骨料的基本性质 Tab.1 The basic properties of recycled aggregate

再生骨料名称	粒径范围	堆积密度	24 h 吸水率	含泥量	压碎指标
	/mm	$/(kg \cdot m^{-3})$	/%	/%	/%
再生粗骨料	5~25	1 195	11.2	0.89	19.7
再生细骨料	0.075~4.75	1 367	25.3	2.36	24.1

表 2 再生细骨料富含砖粒再生混凝土的配合比 Tab.2 Recycled fine aggregate brick-rich recycled concrete mix

分组编号 -		材料用量 /(kg·m ⁻³)							- 坍落度 /mm
刀组姍5	水泥	水	再生粗骨料	再生细骨料	砂子	减水剂	附加用水	粉煤灰	一
RFC0-1	320	158	929	0	658	4.27	102	35.58	180
RFC0-2	320 138	136	929	U	038	4.27	102	33.38	160
RFC15-1	320 15	150	929	89	558	4.27	108	35.58	160
RFC15-2		138	8 929						
RFC30-1	320 158	159 020	929	178	461	4.27	122	35.58	165
RFC30-2		138	929						
RFC45-1	320 158	150	020	29 267	362	4.27	130	35.58	160
RFC45-2		136 92	929						

注: RFCr-1 表示立方体试块, RFCr-2 表示棱柱体试块。

对再生骨料经裹浆法处理后,可有效地增强再生混凝土的工作性能 [11-14],在此对再生混凝土的生产工艺上进行了改进,具体操作方法:首先在 J30 型强制式搅拌机内加入水泥、粉煤灰、附加用水与减水剂搅拌 20 s 成净浆状,然后加入再生粗骨料和所需取代的再生细骨料用量,搅拌 50 s 后,再将天然砂和设计拌合用水加入并搅拌 120 s,搅拌完毕后将制成的混凝土分别装入尺寸为 100 mm×100 mm×100 mm×100 mm × 100 mm 立方体和尺寸为 100 mm×100 mm×300 mm 的棱柱体试模内,进行成型,拆模后养护,养护条件为自然养护。每级取代率下的再生混凝土分别有3组立方体试块,每组3块共9块用来测试其3、7和28 d 立方体抗压强度;且有1组(共3块)棱柱体试块,用于再生混凝土的28 d 轴心抗压强度试验。

1.4 试验方法

再生混凝土立方体抗压强度试验及棱柱体轴心 抗压试验依照《普通混凝土力学性能测试方法标准》 [15] 的相关要求进行。

当立方体试块养护达到 3、7 和 28 d 龄期时,分别进行抗压强度试验,当棱柱体试块养护达到 28 d 龄期时,进行轴心抗压强度试验。

2 试验结果与分析

2.1 试件抗压性能试验结果

4组配合比的富含砖粒再生混凝土立方体抗压强度试件与棱柱体抗压强度试件的试验实测结果经整理后列于表 3。

表 3 不同龄期下再生混凝土抗压性能试验结果
Tab.3 Compressive strength test results of recycled concrete

分组编号		抗压强度 /MP	a
	3 d	7 d	28 d
RFC0-1	10.3	23.0	35.6
RFC0-2			27.4
RFC15-1	10.6	24.3	33.0
RFC15-2			26.8
RFC30-1	12.3	27.0	34.6
RFC30-2			27.7
RFC45-1	12.4	26.0	29.9
RFC45-2			24.2

2.2 取代率对立方体抗压强度的影响

依据 3、7 和 28 d 立方体抗压强度的试验结果,

可以得出富含砖粒再生混凝土立方体抗压强度 (*fcu*) 随再生细骨料取代率 *r* 不同的变化趋势如图 1 所示。

由图 1 可以得出, 3 d 的抗压强度整体呈现逐渐 增加状态。r=45%时再生混凝土的抗压强度与r=0% 时相比较,提高了约20.4%,7d的抗压强度,r不 超过30%时,强度为增加状态,这是由于再生细骨 料中含有大量未被水化的水泥颗粒,这些水泥颗粒 在养护过程中继续水化相当于增加了水泥的用量, 这对富含砖粒再生混凝土抗压强度起到了有利的作 用, 当 r 超过 30% 后, 强度开始降低, 到 45% 时相 对 30% 降低了 3.7%; r 越高, 龄期对抗压强度的增 长速率影响越小, r分别为0%、15%、30%、45%时, 28 d 强度比 7 d 强度分别增加了 54.8%、35.8%、 28% 和 15%。其主要原因是由于再生细骨料的自身 构造主要是破碎后针片状的碎石和砂浆颗粒构成, 它的强度低于天然细骨料, 掺量过大对抗压强度起 不利作用。因此当再生细骨料掺量过大,会导致强 度降低,值得我们进一步的研究,对其性能进行改善。

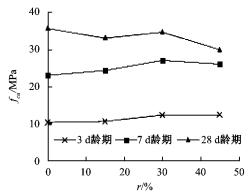


图 1 再生细骨料取代率对再生混凝土抗压强度的影响 Fig.1 Effects of RFC Replac ement Ratios on Compressive Strength of Recycled Concrete

2.3 立方体与棱柱体的抗压强度关系计算模型

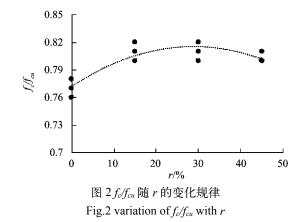
2.3.1 fcu 与 fc 相关关系分析

依据 4 组配合比的立方体抗压强度与棱柱体抗压强度试验结果,经整理后可得如图 2 所示的 f_c/f_{cu} 与 r 之间的关系曲线。

由图 2 可知,再生细骨料富含砖粒再生混凝土 $f_{cl}f_{cu}$ 高于天然砂富含砖粒再生混凝土 $(r=0\%)f_{cl}f_{cu}$ 。 在天然砂富含砖粒再生混凝土条件下 $f_{cl}f_{cu}$ 的平均值 约为 0.77,而在 r=15%、r=30% 和 r=45% 时, $f_{cl}f_{cu}$ 均值分别为 0.81、0.81 和 0.8。

2.3.2 fcu 与 fc 之间计算模型的建立

参照文献 [16] 的关系模型, 考虑 r 的影响建立



式(1)的计算模型。

$$f_c = k_1 k_2 f_{cu} \tag{1}$$

根据试验结果,利用最小二乘法对其进行拟合 分析,可以得出:

$$k_1=0.76$$
; $k_2=-0.682$ $r^2+0.395$ $r+1.015$

将 k_1 和 k_2 代人式 (1), 可得考虑 r 影响的 f_c 与 f_{cu} 关系计算式 (2):

$$f_c = 0.76 \times (-0.682r^2 + 0.395r + 1.015)f_{cu}$$
 (2)

将再生细骨料富含砖粒再生混凝土抗压强度实测值 $f_{c}/f_{cu}(y_{1})$ 与基于式 (2) 的抗压强度计算值 $f_{c}/f_{cu}(y_{2})$ 进行比较,其结果见表 4 所示。

表 4 实测值与计算值对比

Tab.4 Comparison of test values and calculated values

y_1	y_2	y_1/y_2
0.77	0.77	1.00
0.01	0.0	1.01
0.81	0.8	1.01
0.81	0.81	1.00
0.01	0.01	1.00
0.81	0.80	1.01
	0.77 0.81 0.81	0.77 0.77 0.81 0.8 0.81 0.81

由表 4 可知:本文给出的再生细骨料富含砖粒再生混凝土的 f_of_{cu} 总体偏差在 $1.00 \sim 1.01$ 之间,能够在一定程度上反应出 f_c 与 f_{cu} 之间的实际关系。

3 结论

- 1) 当坍落度保持在 160 ~ 180 mm 时,再生混凝土的附加用水量随再生细骨料的取代率增加而增加,可以适当改善搅拌工艺或增加减水剂用量来控制用水量的增加。
- 2) 再生细骨料取代率越高,龄期对抗压强度的增长速率影响越小,当取代率为45%时,28 d强度比7d强度增加幅度仅为15%。

3) 提出了考虑再生细骨料取代率影响的再生混凝土立方体抗压强度 f_{cu} 与棱柱体抗压强度 f_c 相关关系计算模型,其计算结果与试验结果吻合较好。

参考文献:

- [1] 乔宏霞, 关利娟, 曹 辉, 等. 再生骨料混凝土研究现状及进展[J]. 混凝土, 2017 (7): 77-82.
- [2] 陈宗平,占东辉,徐金俊.再生粗骨料含量对再生混凝土力学性能的影响分析[J].工业建筑,2015,45(1);130-135.
- [3] PURUSHOTHAMAN R, AMIRTHAVALLI R, KARAN L.Influence of treatment methods on the strength and performance characteristics of recycled aggregate concrete[J].J.Mater.Civ.Eng.2015, 27(5): 1-7.
- [4] 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.
- [5] 肖建庄. 再生混凝土 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [6] 肖建庄, 范玉辉, 林壮斌, 再生细骨料混凝土抗压强度试验[J]. 建筑科学与工程学报, 2011, 28(4): 26-29.
- [7] 郭樟根, 陈 晨, 范秉杰, 等. 再生粗细骨料混凝土 基本力学性能试验研究 [J]. 建筑结构学报, 2016, 37(Z2): 94-102.
- [8]GB/T 25177-2010, 混凝土用再生粗骨料 [S]. [9]GB/T25176-2010, 混凝土和砂浆用再生细骨料 [S]. [10]JGJ 55-2011, 普通混凝土配合比设计规程 [S].
- [11] 安新正, 牛 薇, 张亚飞, 等. 含砖粒再生混凝土基本性能研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2017, 34(1): 30-33.
- [12] 安新正, 牛 薇, 杨莹莹, 等. 废砖骨料对再生混凝土 抗压与收缩性能的影响 [J]. 河北工程大学学报: 自然 科学版, 2017, 34(3): 56-60.
- [13]ZHU Y G, KOU S C, POON C S, et al.Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete[J].Cement and Concrete Composites, 2013, 35(1): 32-38.
- [14]HANSEN T C.Recycled aggregate and recycled aggregate concrete[J].Materials and Structures, 1986, 19(5): 201-246.
- [15] GB/T 50081-2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准 [S].
- [16] 过镇海. 钢筋混凝土原理和分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

(责任编辑 王利君)