

文章编号:1673-2049(2011)04-0026-04

再生细骨料混凝土抗压强度试验

肖建庄^{1,2}, 范玉辉¹, 林壮斌¹

(1. 同济大学 建筑工程系, 上海 200092; 2. 同济大学 先进土木工程材料教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要:通过立方体抗压强度试验,研究了再生细骨料取代率对再生混凝土抗压强度的影响。结果表明:当再生细骨料取代率小于30%时,再生细骨料对再生混凝土的抗压强度影响不大;当再生细骨料取代率大于30%时,再生混凝土的抗压强度明显降低;当再生细骨料取代率为100%时,再生混凝土的抗压强度只达到普通混凝土抗压强度的61%;掺入再生细骨料后,再生混凝土抗压强度的离散性变化较大,当再生细骨料取代率在0%~100%时,再生混凝土的抗压强度标准差在1.36~4.17 MPa之间。

关键词:再生细骨料;再生混凝土;取代率;抗压强度;离散性

中图分类号:TU528.041 **文献标志码:**A

Experiment on Compressive Strength of Recycled Fine Aggregate Concrete

XIAO Jian-zhuang^{1,2}, FAN Yu-hui¹, LIN Zhuang-bin¹

(1. Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Key Laboratory of Advanced Civil Engineering Materials of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Authors studied the effects of the recycled fine aggregate (RFA) replacement ratio on compressive strength of recycled concrete through cubic compressive strength experiment. The result shows that there is little effect on the compressive strength of recycled concrete when the RFA replacement ratio is less than 30%; the compressive strength of recycled concrete is reduced when the RFA replacement ratio is more than 30%. When the RFA replacement ratio is 100%, the compressive strength of recycled concrete is 61% than that of ordinary concrete. There is a significant change in the discreteness of the compressive strength of recycled concrete after the RFA is mixed. The standard deviation of the compressive strength of recycled concrete is between 1.36 MPa and 4.17 MPa when the RFA replacement ratio varies from 0% to 100%.

Key words: recycled fine aggregate; recycled concrete; replacement ratio; compressive strength; discreteness

0 引言

目前,各国学者对再生粗骨料混凝土进行了全面的研究,再生粗骨料混凝土已经开始用于实际工程^[1]。相比较而言,再生细骨料混凝土的研究还比

较少,仍缺乏相关数据的积累。郝彤等^[2]研究了再生细骨料对再生混凝土强度和干燥收缩的影响,发现当采用基于自由水灰比的配合比设计方法和二次搅拌工艺时,再生混凝土的强度基本与普通混凝土相同;但由于再生细骨料中老砂浆的存在,再生混凝

收稿日期:2011-09-21

基金项目:国家自然科学基金项目(511078430);上海市科委创新计划项目(10231202000)

作者简介:肖建庄(1968-),男,山东沂南人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:jzx@tongji.edu.cn。

土的收缩大于普通混凝土,且随再生细骨料取代率的增加而增加。刘星伟等^[3]研究了再生混凝土的抗碳化性,发现再生混凝土的抗碳化性随再生细骨料取代率的增加而降低,增加水泥用量可以提高再生混凝土的抗碳化性。李艳美等^[4]对再生混凝土抗渗透性的试验结果表明,掺入再生细骨料后再生混凝土的抗渗性能优于普通混凝土。Evangelista 等^[5]发现,掺入再生细骨料后,再生混凝土的抗压强度、劈拉强度、弹性模量、抗磨性、抗碳化性和抗氯离子渗透性均比同水灰比的普通混凝土有所降低。但以上的工作尚没有对再生细骨料取代率的影响进行系统的研究。本文中笔者分别取再生细骨料取代率为 0%,10%,20%,30%,40%,50%,60%,70%,80%,90%,100%,重点研究其对再生混凝土抗压强度的影响规律,为再生细骨料混凝土的推广应用提供试验数据。

1 试验设计

1.1 材 料

水泥为 P.O 42.5R 水泥。粗骨料为粒径 5~25 mm

的连续级配天然碎石。天然细骨料为满足《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006)要求的河砂,细度模数为 2.8,属于中砂,吸水率为 5.7%。再生细骨料是将废弃混凝土破碎、筛分后得到的粒径为 0.075~4.75 mm 的骨料。再生细骨料的取样及试验方法均按《建筑用砂》(GB/T 14684—2001)进行,再生细骨料为中砂,细度模数为 3.05,吸水率为 23.7%,表观密度为 2 390 kg·m⁻³,堆积密度为 1 352 kg·m⁻³,空隙率为 43%,压碎指标为 24.3%。减水剂为 LN800R 型减水剂,水为自来水。

1.2 配合比

试验中 C35 普通混凝土的配合比根据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000)经计算确定。再生细骨料取代率为 10%,20%,30%,40%,50%,60%,70%,80%,90%,100%这 10 种,再生混凝土的配合比采用基于自由水灰比的配合比设计方法,并通过调整用水量和减水剂使再生混凝土的坍落度保持在 160~200 mm。再生细骨料混凝土的配合比见表 1。

表 1 中,RFC0,RFC30,RFC50,RFC70,RFC100

表 1 再生细骨料混凝土配合比
Tab.1 Mixture Ratios of RFA Concrete

试块 编号	再生细骨料 取代率/%	各材料用量/(kg·m ⁻³)							坍落度/mm
		水泥	水	天然粗骨料	再生细骨料	天然细骨料	减水剂	附加水	
RFC0	0	478	176	1 127	0	580	4.78	0	180
RFC10	10	478	166	1 127	58	522	4.78	10	190
RFC20	20	478	170	1 127	116	464	4.78	20	160
RFC30	30	478	163	1 127	174	406	4.78	30	190
RFC40	40	478	180	1 127	232	348	4.78	39	160
RFC50	50	478	187	1 127	290	290	4.78	49	160
RFC60	60	478	183	1 127	348	232	4.78	59	160
RFC70	70	478	187	1 127	406	174	4.78	69	160
RFC80	80	478	183	1 127	464	116	4.78	79	160
RFC90	90	478	181	1 127	522	58	4.78	89	160
RFC100	100	478	181	1 127	580	0	4.78	99	160

分别有 4 组 100 mm×100 mm×100 mm 试块,每组 3 个试块,其中 1 组用于再生混凝土的 7,14 d 抗压强度试验,2 组用于再生混凝土的 28 d 抗压强度试验;RFC10,RFC20,RFC40,RFC60,RFC80,RFC90 各有 2 组 100 mm×100 mm×100 mm 试块,用于 28 d 抗压强度试验。

由表 1 可以看出:当保持再生混凝土的坍落度在 160~200 mm 时,再生混凝土的用水量随再生细骨料取代率的增加而增加;在考虑附加水的情况下,再生混凝土的用水量仍高于普通混凝土,但变化不大。

2 试验结果与分析

2.1 再生混凝土的抗压强度

再生混凝土立方体抗压强度试验依照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)进行。

RFC0,RFC30,RFC50,RFC70,RFC100 试块养护达到 7,14,28 d 后分别测试其抗压强度;RFC10,RFC20,RFC40,RFC60,RFC80,RFC90 试块养护达到 28 d 后测试其抗压强度。试验结果见表 2。

表 2 再生混凝土抗压强度试验结果

Tab. 2 Experiment Results for Compressive Strength of Recycled Concrete

试块 编号	不同龄期(d)下的再生混凝土抗压强度/MPa		
	7	14	28
RFC0	34.2	38.5	42.7
RFC10			46.3
RFC20			41.9
RFC30	33.6	40.6	43.6
RFC40			39.4
RFC50	27.4	31.2	35.2
RFC60			34.6
RFC70	19.0	23.3	27.3
RFC80			32.1
RFC90			30.5
RFC100	19.4	22.6	26.0

2.2 再生细骨料取代率对抗压强度的影响

图 1 为再生混凝土的 7,14,28 d 抗压强度随再生细骨料取代率的变化曲线。

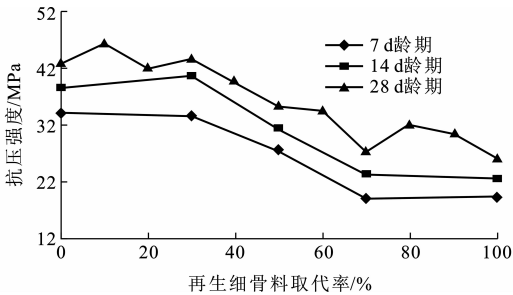


图 1 再生细骨料取代率对再生混凝土抗压强度的影响
Fig. 1 Effects of RFA Replacement Ratios on Compressive Strength of Recycled Concrete

由图 1 可以看出,再生细骨料取代率不超过 30%时,再生细骨料对再生混凝土的 7,14,28 d 抗压强度影响不大,再生混凝土的抗压强度甚至略高于普通混凝土。这一方面是由于再生细骨料中含有大量未水化水泥颗粒,未水化的水泥颗粒在养护过程中的继续水化相当于增加了再生混凝土的水泥用量,这对再生混凝土的抗压强度起到有利作用;另一方面,由于再生细骨料的表面粗糙、吸水率高,在水泥水化阶段表面粗糙相当于增加了水泥浆和再生细骨料的界面面积,吸水率高使在水泥水化过程中界面区的水灰比减小,这可以增强再生细骨料和水泥浆的结合能力,提高再生混凝土的抗压强度。

当再生细骨料的取代率大于 30%时,再生混凝土的 7,14,28 d 抗压强度明显下降,这是由于再生细骨料主要由砂浆颗粒组成,它的强度低于天然细骨料,对再生混凝土的抗压强度起不利作用。当再

生细骨料的取代率大于 30%时,影响再生混凝土抗压强度的不利因素开始大于有利因素,再生混凝土的抗压强度迅速下降。

再生混凝土的 28 d 抗压强度 f_{cu} 和再生细骨料取代率 r 之间的关系,可按式(1)计算

$$f_{cu} = -0.194r + 46.03 \tag{1}$$

2.3 再生细骨料取代率对抗压强度离散性的影响

2.3.1 抗压强度标准差

混凝土强度的离散性一般以其抗压强度标准差 σ 来表示,其计算公式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{f_{cu,i}^2 - nm_{f_{cu}}^2}{n-1}}{n-1}} \tag{2}$$

式中: $f_{cu,i}$ 为第 i 个试块的抗压强度; $m_{f_{cu}}$ 为 n 个试块的立方体强度平均值。

图 2 为 σ 随再生细骨料取代率变化的曲线。由图 2 可知:当再生细骨料的取代率大于 20%时, σ 开始增大;当再生细骨料取代率为 40%时, σ 达到最大值,等于 4.17 MPa;当再生细骨料取代率大于 40%时, σ 开始下降;当再生细骨料取代率大于 70%时,再生混凝土的 σ 变化不大。当再生细骨料取代率在 30%~60%时,再生混凝土的 σ 超出了《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000)中的要求。再生混凝土的标准差 σ 需要进一步的修订。

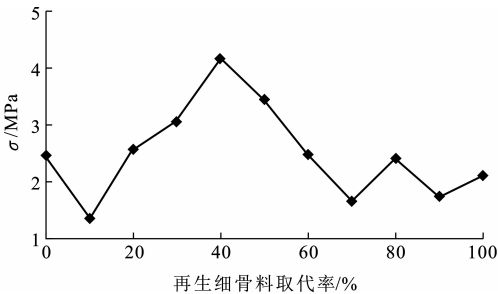


图 2 再生细骨料取代率对再生混凝土抗压强度标准差的影响

Fig. 2 Effects of RFA Replacement Ratios on Standard Deviations of Compressive Strength of Recycled Concrete

2.3.2 抗压强度标准差随龄期变化规律

图 3 为不同再生细骨料取代率下再生混凝土的 σ 值随龄期变化的曲线。由图 3 可以看出,再生混凝土的 σ 值随龄期的增加而增加,7 d 时,再生混凝土的 σ 值远小与普通混凝土,但龄期达到 28 d 后,再生混凝土的 σ 值已经接近甚至高于普通混凝土。

2.3.3 抗压强度正态分布概率密度

再生混凝土抗压强度的正态分布概率密度曲线的方程可用式(3)表示

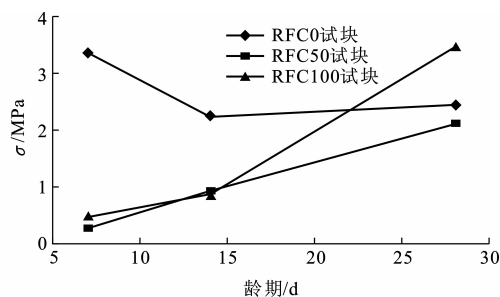


图 3 龄期对再生混凝土抗压强度标准差的影响
Fig. 3 Effects of Ages on Standard Deviations of Compressive Strength of Recycled Concrete

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left[-\frac{(\mu-x)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

式中: x 为随机变量; μ 为试验所得再生混凝土试块的 28 d 抗压强度平均值。

由再生混凝土试块抗压强度平均值和抗压强度标准差 σ 可得再生混凝土抗压强度的正态分布概率密度曲线,见图 4。

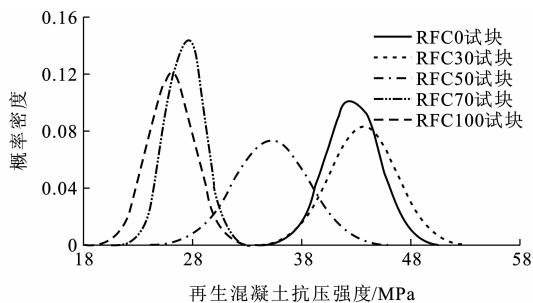


图 4 再生混凝土抗压强度正态分布概率密度曲线
Fig. 4 Normal Distribution Probability Density Curves of Compressive Strength of Recycled Concrete

由图 4 可以看出:再生细骨料取代率为 50% 时,再生混凝土的离散性最大,其离散性高于普通混凝土;再生细骨料取代率为 30%,70%,100% 时,再生混凝土抗压强度的离散性和普通混凝土相差不大。

3 结 语

(1)当保持坍落度不变时,再生混凝土的总用水量随再生细骨料取代率增加而增加,应当采取合理的搅拌工艺或添加减水剂以减少再生混凝土的用水量。

(2)当再生细骨料取代率大于 30% 时,再生混凝土的抗压强度随再生细骨料取代率的增加而降

低;当再生细骨料取代率为 100% 时,再生混凝土的抗压强度只达到普通混凝土抗压强度的 61%。因此,再生细骨料的取代率不宜大于 30%。

(3)再生混凝土的 28 d 抗压强度 f_{cu} 和再生细骨料取代率 r 之间关系可按式(1)计算。

(4)再生混凝土的离散性大于普通混凝土,当再生细骨料取代率达到 40% 时,再生混凝土的抗压强度标准差 σ 达到最大值,等于 4.17 MPa。

参考文献:

References:

- [1] 刘庆涛,岑国平,王硕太. 机场道面再生混凝土研究应用现状与发展[J]. 路基工程,2011(2):38-40.
LIU Qing-tao, CEN Guo-ping, WANG Shuo-tai. Research and Application Status and Development of Recycled Concrete on Airport Pavement[J]. Subgrade Engineering, 2011(2):38-40.
- [2] 郝 彤,赵文兰. 不同再生细骨料取代率混凝土的抗压及干燥收缩试验研究[J]. 新型建筑材料,2011(2):29-31,45.
HAO Tong, ZHAO Wen-lan. Both Compressive Test and Drying Shrinkage Test on Recycled Aggregate Concrete with Different Fine Recycled Aggregate Replacement Ratio[J]. New Building Materials, 2011(2):29-31,45.
- [3] 刘星伟,李秋义,李艳美,等. 再生细骨料混凝土碳化性能的试验研究[J]. 青岛理工大学学报,2009,30(4):159-161,170.
LIU Xing-wei, LI Qiu-yi, LI Yan-mei, et al. The Experimental Study on the Carbonation of the Recycled Fine Aggregate Concrete[J]. Journal of Qingdao Technological University, 2009,30(4):159-161,170.
- [4] 李艳美,毛高峰,张 健,等. 再生细骨料混凝土的抗渗透性[J]. 低温建筑技术,2008(3):14-16.
LI Yan-mei, MAO Gao-feng, ZHANG Jian, et al. The Resistance of Chloridion Penetration of Recycled Fine Aggregate Concrete[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2008(3):14-16.
- [5] EVANGELISTA L, DE BRITO J. Durability Performance of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates [J]. Cement and Concrete Composites, 2010,32(1):9-14.