

文章编号:1671-6833(2012)04-0032-04

# 不同粗骨料取代率再生混凝土力学性能试验研究

王占锋<sup>1,2</sup>,王社良<sup>1</sup>,翁光远<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院,陕西 西安 710055;2. 陕西交通职业技术学院 公路工程系,陕西 西安 710018)

**摘要:**系统研究了0%、30%、50%、70%和100%5种粗骨料取代率对再生混凝土立方体抗压强度、棱柱体抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度以及弹性模量等力学性能的影响.试验结果表明,随着再生粗骨料取代率的增加,再生混凝土立方体抗压强度和棱柱体抗压强度均逐渐增大,劈裂抗拉强度有一定程度的降低,弹性模量逐渐降低.结合试验数据分析,建立了再生混凝土立方体抗压强度与棱柱体抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度以及弹性模量的换算关系.

**关键词:**再生混凝土;再生粗骨料取代率;力学性能;换算关系

**中图分类号:** TU528 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.04.008

## 0 引言

随着城市改造废弃混凝土引发的环境问题日益突出,直接丢弃不仅要占用大量的耕地污染环境,而且还要花费大量运费.有效回收利用废弃混凝土形成再生混凝土,对于保护环境、节约资源具有重要意义<sup>[1]</sup>.近年来国内外学者进行了相关研究,取得了很多成果.但是,以往的研究中大多采用再生粗骨料全部替代天然粗骨料,未能充分反映不同再生粗骨料取代率对再生混凝土力学性能的影响<sup>[2-3]</sup>.再生混凝土与天然骨料混凝土相比,组成成分复杂,在破碎过程中,两种混凝土的基本性能相差较大.若要将再生混凝土用到钢筋混凝土结构中,对其强度指标和弹性模量进行测试非常重要.因此,笔者对再生混凝土的基本力学性能进行研究,并将不同再生粗骨料取代率的混凝土试验结果与天然骨料混凝土进行对比分析,找出强度指标之间的变化规律,为再生混凝土的后续研究提供参考依据.

## 1 再生混凝土配合比设计

为研究不同再生粗骨料取代率对再生混凝土力学性能的影响,选定0%、30%、50%、70%和100%5种不同取代率进行试验,测定其立方体抗压强度、棱柱体抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度和弹性模量,试验方法按照GB/T50081—2002

《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行<sup>[4]</sup>.再生混凝土配合比设计<sup>[5]</sup>如表1,拌合投料顺序如图1.

表1 再生混凝土配合比  
Tab.1 Recycled concrete mix

序号	试件编号	单位体积用量/(kg·m <sup>-3</sup> )					
		水泥	砂子	粗骨料		水	
				天然	再生	自由水	吸附水
1	N	500	465	1 199	0	215	0
2	RO-30	500	465	839	360	215	4
3	RO-50	500	465	600	600	215	7
4	RO-70	500	465	360	839	215	10
5	RO-100	500	465	0	1199	215	14

注:N为天然骨料;RO-30为30%取代率再生混凝土;RO-50为50%取代率再生混凝土;RO-70为70%取代率再生混凝土;RO-100为100%取代率再生混凝土.

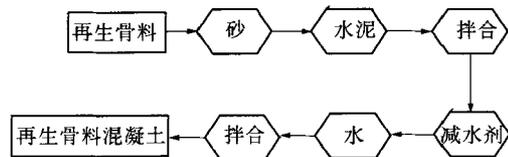


图1 再生混凝土投料流程

Fig.2 Transverse and longitudinal

## 2 再生混凝土的力学性能

### 2.1 再生混凝土立方体抗压强度

观察再生混凝土立方体抗压强度试件破坏的

收稿日期:2012-01-28;修回日期:2012-04-09

基金项目:陕西省社发攻关资助项目(2010K01-127)

作者简介:王占锋(1982-)男,陕西杨凌人,陕西交通职业技术学院讲师,硕士,从事再生混凝土结构研究.

全过程,发现其破坏形态与普通混凝土相似,如图 2. 试验结果如图 3. 分析图 3 可知:随着再生粗骨料取代率的增加,再生混凝土立方体抗压强度逐渐提高. 当再生粗骨料取代率为 0% 时,再生混凝土立方体抗压强度为 32.70 MPa,当再生粗骨料取代率为 30%、50%、70% 和 100% 时,再生混凝土立方体抗压强度比普通混凝土分别提高了 10%、6%、20% 和 20%,平均值为 14%.



图 2 再生混凝土立方体抗压破坏形态

Fig. 2 Failure of cube compressive strength of RAC

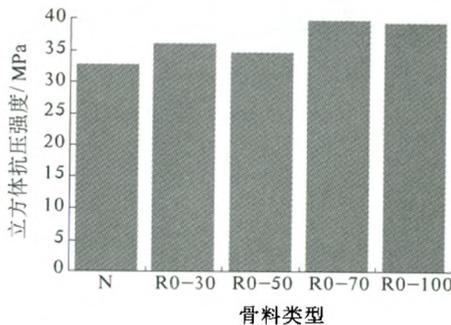


图 3 再生混凝土立方体抗压强度随着再生骨料取代率的变化

Fig. 3 Different cube compressive strength of RAC by RCARR

### 2.2 再生混凝土棱柱体抗压强度

观察再生混凝土棱柱体抗压强度试件破坏的全过程,发现其破坏形态与普通混凝土相似,见图 4. 试验结果如图 5. 分析图 5 可知:随着再生粗骨料取代率的增加,再生混凝土棱柱体抗压强度逐渐提高. 当再生粗骨料取代率为 30%、50%、70% 和 100% 时,再生混凝土棱柱体抗压强度比普通混凝土分别提高了 33%、28%、46% 和 45%,平均值为 38%. 出现这种现象的原因与再生粗骨料的性能有关,再生混凝土棱柱体抗压强度随着再生混凝土立方体抗压强度的增加而提高,这与普通混凝土的变化规律一致<sup>[6]</sup>.



图 4 再生混凝土棱柱体抗压破坏形态

Fig. 4 Failure of prism compressive strength of RAC

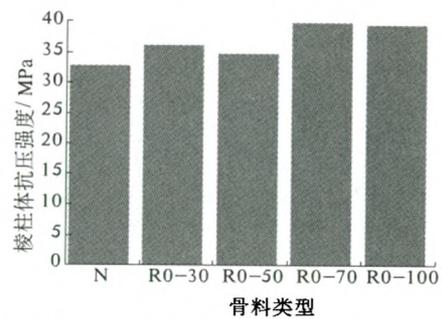


图 5 再生粗骨料取代率对棱柱体抗压强度的影响

Fig. 5 Different prism compressive strength of RAC by RCARR

### 2.3 再生混凝土抗拉强度

观察再生混凝土劈裂抗拉强度试件破坏的全过程,发现其破坏形态与普通混凝土相似,见图 6. 试验结果如图 7. 分析图 7 可知:随着再生骨料取代率的不断增加,再生混凝土劈裂抗拉强度均有所降低,但总体来说,其劈裂抗拉强度变化不大. 分析原因可能是再生粗骨料的多孔结构所决定的,多孔结构改变了界面过渡区水化产物的微观结构,从而导致劈裂抗拉强度降低. 在结构逐渐密实以后,再生混凝土的强度将会得到提高.

### 2.4 再生混凝土抗折强度

观察再生混凝土抗折强度试件破坏的全过程,发现其破坏形态与普通混凝土相似,见图 8. 试验结果如图 9. 分析图 9 可知:随着再生粗骨料取代率的增加,再生混凝土的抗折强度呈先降低后提高的变化趋势. 随着再生粗骨料取代率的增加,其吸水率也就增加,水泥浆体中的实际水灰比增大,砂浆强度随着降低,所以再生混凝土抗折强度会降低,当再生粗骨料取代率增加到 100%,再生混凝土抗折强度完全取决于再生粗骨料的强度.

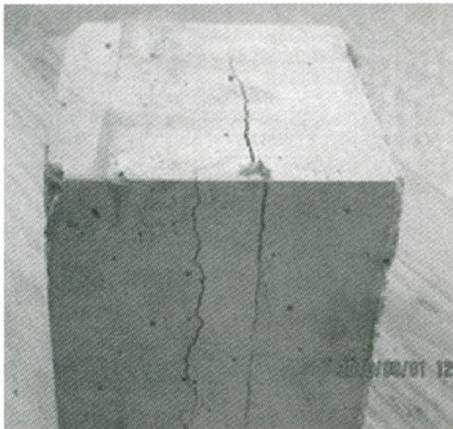


图6 再生混凝土劈裂抗拉破坏形态  
Fig.6 Failure of tensile strength of RAC

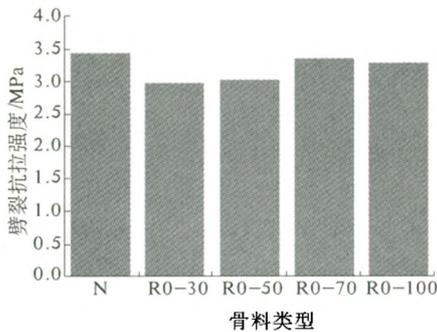


图7 再生粗骨料取代率对劈裂抗拉强度的影响  
Fig.7 Different tensile strength of RAC by RCARR

2.5 再生混凝土弹性模量

再生混凝土弹性模量的测试方法和试验结果分别见图10和图11.分析图11可知,再生混凝土的弹性模量随着再生粗骨料取代率的增加而降低.产生该现象的原因有两个方面,一是再生粗骨料的孔隙率大,二是再生粗骨料中含有大量废弃水泥砂浆,为多孔物质,对弹性模量产生的负效应远大于正效应.



图8 再生混凝土抗折破坏形态图  
Fig.8 Failure of flexural strength of RAC

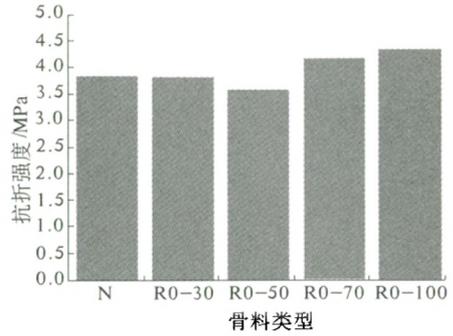


图9 再生混凝土抗折强度随着再生骨料取代率的变化  
Fig.9 Different flexural strength of RAC by RCARR



图10 再生混凝土弹性模量测定  
Fig.10 Determination of elastic modulus of RAC

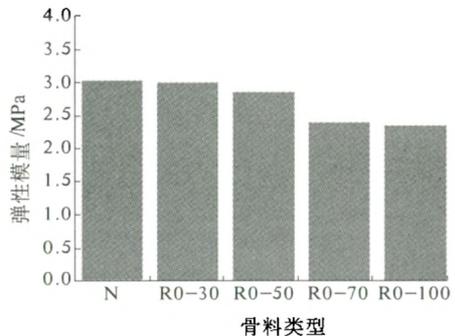


图11 再生混凝土弹性模量随着再生骨料取代率的变化  
Fig.11 Different elastic modulus of RAC by RCARR

3 再生混凝土力学性能指标间换算关系

综合分析国内外对于混凝土立方体抗压强度与棱柱体抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度和之间的弹性模量换算关系<sup>[6-9]</sup>,得出它们之间的关系方程为  $f_{cp} = af_{cu}$ ;  $f_s = af_{cu}^b$ ;  $f_t = a\sqrt{f_{cu}}$ ;  $E_c = \frac{10^5}{a + b/f_{cu}}$ .结合本试验的数据结果,通过非线性回归得出以下关系式,如表2.经分析,发现所得到的关系式的拟合精度很高,分别为90%、93%、97%和90%,能较好地反映实测数据之间的关

系,更贴近真实情况.

表2 再生混凝土力学性能指标间的换算关系

Tab.2 Conversion relationship of mechanical property

关系名称	关系式
立方体抗压强度 与棱柱体抗压强度	$f_{cp} = 0.76f_{cu}$
立方体抗压强度 与劈裂抗拉强度	$f_s = 0.15f_{cu}^{0.84}$
立方体抗压强度 与抗折强度	$f_t = 0.65\sqrt{f_{cu}}$
立方体抗压强度 与弹性模量	$E_c = \frac{10^5}{2.25 + \frac{42.3}{f_{cu}}}$

#### 4 结论

(1) 再生混凝土立方体抗压强度和棱柱体抗压均随着再生粗骨料取代率的增加而逐渐提高,且棱柱体抗压强度随着立方体抗压强度的提高而提高,而弹性模量是随着再生粗骨料取代率的提高而降低.产生该现象的原因有两个方面,一是再生粗骨料的表面粗糙程度比较大,二是再生粗骨料表面包裹着水泥砂浆.

(2) 随着再生粗骨料取代率的不断增加,再生混凝土劈裂抗拉强度均有一定程度的降低,但总体来说,其劈裂抗拉强度变化不大;而抗折强度是先降低后提高.再生粗骨料的多孔结构改变了界面过渡区水化产物的微观结构,是其主要影响因素也是需要我们进一步研究的问题.

(3) 结合试验数据采用非线性回归方法,建立再生混凝土立方体抗压强度与棱柱体抗压强度、劈裂抗拉强度和抗折强度以及弹性模量的换算

公式,这对以后再生混凝土的试验研究和强度预测有一定的借鉴作用.

#### 参考文献:

- [1] 张雷顺,张晓磊,闫国新.再生混凝土无腹筋梁斜截面受力性能试验研究[J].郑州大学学报:工学版,2006,27(2):18-23.
- [2] 邢振贤,周曰农.再生混凝土基本性能研究[J].华北水利水电学院学报,1998,6(6):30-32.
- [3] LIMBACHYI M C, LEELAWAL T, DHIRR K. Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete [J]. Materials and Structures, 2000, 33(233):5-8.
- [4] 中国建筑科学研究院. 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.
- [5] 中国建筑科学研究院. JGJ 55—2011,普通混凝土配合比设计规程[S].北京:中国建筑工业出版社.2011.
- [6] 过镇海,时旭东.钢筋混凝土原理和分析[M].北京:清华大学出版社,2003:30-42.
- [7] 中国建筑科学研究院. GB 50010—2011,混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社.2011.
- [8] 李佳彬.再生混凝土基本力学性能研究[D].上海:同济大学建筑工程系,2004.
- [9] RIRUAL A R M. The influence of recycled aggregate concrete on the early compressive strength and drying shrinkage of concrete[C]. Proceedings of the international conference on structural engineering, Mechanics and Computation. Cape Town, South Africa, 2001, 8(8):1415-1421.

### Experimental Study on Mechanical Properties of Concrete Prepared with Different Recycled Coarse Aggregates Replacement Rate

WANG Zhan-feng<sup>1,2</sup>, WANG She-liang<sup>1</sup>, WENG Guang-yuan<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China; 2. Department of Highway Engineering, Shaanxi College of Communication Technology, Xi'an 710018, China)

**Abstract:** The mechanical properties of recycled aggregate concrete (RAC) were studied with the replacement rate of 0%, 30%, 50%, 70% and 100%, such as the cube compressive strength, prism compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength and modulus. The test results have shown that with the replacement rate of recycled coarse aggregate, the cube and prism compressive strength are gradually increased, the splitting tensile strength has decreased to some extent, and the modulus is gradually decreased. Combined with the analysis of test data, the conversion relationship between the prism compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength, modulus and the cube compressive strength are established.

**Key words:** recycled aggregate concrete (RAC); recycled coarse aggregate replacement rate (RCARR); mechanical property; conversion relationship