

文章编号:1673-9469(2010)03-0001-04

再生混凝土与钢筋的粘结性能试验研究

安新正^{1,2}, 易成², 刘燕^{2,3}, 张结太¹

(1. 河北工程大学 土木学院, 河北 邯郸 056038; 2. 中国矿业大学 力学与建筑学院, 北京 100083; 3. 河北农业大学 城乡建设学院, 河北 保定 071001)

摘要:采用强度等级为 C25 废弃普通混凝土制备再生粗集料, 并按照不同比例的取代率来代替混凝土中的天然粗集料制成再生集料混凝土; 通过总孔隙率试验以及梁式试件的粘结性能试验, 研究了总孔隙率的变化规律以及锚固区段内钢筋与再生集料混凝土粘结应力的分布特征。试验结果表明, 再生粗集料取代率从 10% 增大到 30% 和 50% 时, 再生混凝土的总孔隙率分别增长了 1.1% 和 1.6%, 而随着再生粗集料取代率的增加, 再生集料混凝土与钢筋的粘结性能呈逐渐降低趋势。

关键词:再生混凝土; 再生粗集料取代率; 钢筋; 粘结性能

中图分类号: TU528

文献标识码: A

Study on bond behavior between recycled aggregate concrete and steel bar

AN Xin-zheng^{1,2}, YI Cheng², LIU Yan^{2,3}, ZHANG Jie-tai¹

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. School of Mechanics & Civil Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China; 3. College of Urban & Rural Construction, Agricultural University of Hebei, Hebei Baoding 071001, China)

Abstract: C25 grade waste concrete was prepared to produce beam bond test specimens with different recycled coarse aggregate contents. The effects of recycled coarse aggregate contents to total porosity and bond behavior between recycled coarse aggregate concrete and steel bar were studied by total porosity tests and bonding tests. The results show that the total porosity of recycled aggregate concrete increases by 1.1 % and 1.6 % respectively when recycled coarse aggregate contents increases to 30% and 50% from 10%, and the bond behavior decreases with the increase of recycled coarse aggregate contents.

Key words: recycled aggregate concrete; recycled coarse aggregate contents; steel bar; bond behavior

再生集料混凝土是实现废弃混凝土资源化循环利用和建筑材料可持续发展的有效方法之一。目前, 国内外在再生混凝土及其与钢筋之间粘结性能的研究方面已初步取得了一些成果^[2-7], 但对于不同取代率条件下钢筋与再生集料混凝土间粘结特性的试验研究还较为匮乏。本文采用室内梁式粘结试件模拟试验的方法, 借助于钢筋开槽粘贴点式应变计的检测技术手段, 来研究不同再生集料取代率对钢筋与再生集料混凝土间粘结性能的影响, 以期类似条件下钢筋再生集料混凝土结构的工程设计提供有益参考。

1 试验过程

1.1 再生混凝土配料

再生混凝土配料: ①水泥采用太行山 P. O 42.5 级水泥; ②粗集料为在天然粗集料中掺入不同份量的再生粗集料而构成的混合粗集料。其中, 天然粗集料的表观密度为 2.53g/cm³, 粒径范围为 5~10mm, 再生粗集料采用强度等级为 C25 的废弃混凝土经破碎和清洗后制成, 粒径范围为 5~10mm 的连续颗粒级配, 其基本性能指标见表 1; ③细集料采用河砂, 其表观密度为 2.65g/cm³, 细度模

收稿日期: 2010-05-17

基金项目: 煤炭资源与安全开采国家重点实验室开放课题基金(SKLCRSM09KFB08); 河北省建设厅科研基金(2008104)

作者简介: 安新正, 男(1963-), 男, 河南镇平人, 博士, 副教授, 从事混凝土耐久性检测与理论研究。

表 1 再生粗集料性能指标

Tab.1 Properties of recycled concrete aggregate

粒径尺寸/mm	含水率/%	吸水率(24h)/%	表观密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	压碎指标
5~10	2.38	5.36	2.215	12.13

表 2 再生集料混凝土配合比及其总孔隙率

Tab.2 Mix proportions and total porosity of recycled aggregate concrete

试样类型	水泥 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	水 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	粉煤灰 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	天然粗集料 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	再生粗集料 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	取代率 /%	细集料 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	28d 强度指标 /MPa		总孔隙率 /%
								f_{cu}	f_t	
A类	345	172.5	52	1148	115	10	469	23.5	1.6	15.3
B类	345	180	52	811	348	30	469	21.3	1.5	15.8
C类	345	188	52	579.5	579.5	50	469	19.6	1.46	16.5

数2.6;④掺合料为邯郸码头电厂产的 I 级粉煤灰;⑤水为市供自来水。

1.2 再生混凝土

配合比是影响再生混凝土孔隙率及其性能特征的关键因素之一,而孔隙率对于孔结构形状、分布特征等都有着重要的影响^[6],它直接影响着对钢筋的握裹强度。

本试验在再生混凝土坍落度基本不变(通过减水剂调节)和取代率分别为 10%(A类)、30%(B类)和 50%(C类)的基础上,设计了再生混凝土配合比,并通过可蒸发水含量法^[7]得到了 A类、B类和 C类再生混凝土的总孔隙率(表 2)。

1.3 试件设计与制作

试件设计:由于梁式粘结试验能够真实反映弯矩-剪力耦合作用对混凝土梁中锚固区域钢筋受力性能的影响^[8-9],故试验采用了梁式粘结试验试件(图 1)。依据再生粗集料组别的划分,将梁式粘结试件设计为与其对应的 A、B 和 C 三个组别,每个组别制作三个试验试件,即: A1~A3 试件、B1~B3 试件和 C1~C3 试件。

为了便于试验操作和节约资金,在此将再生混凝土梁式粘结试件设计为 a 和 b 两个部分。其中, a 部分为梁式粘结测试试件,其尺寸为: 150 mm×170 mm×260 mm,钢筋保护层厚度 $c=24$ mm; b 部分为三个组别粘结试件试验时的公共部分,其尺寸和形状与 a 部分的相同。

在 a 部分粘结试验试件中,受拉钢筋的加载端和支座端各设置有 70 mm 的无粘结区段,中间粘结区段长度为 120 mm。受拉钢筋采用邯钢产 B12 螺纹钢,实测的屈服抗拉强度为 451 MPa,极限抗拉强度为 613 MPa,伸长率为 26.3%,弹性模量为 2.02×10^5 MPa。

试验时应将 a 部分的受拉钢筋与 b 部分进行螺栓连接。同时,在 a 和 b 两部分的上部受压区进行转动铰连接,并按图 1 的方式最终完成梁式粘结试件的组合与安装。

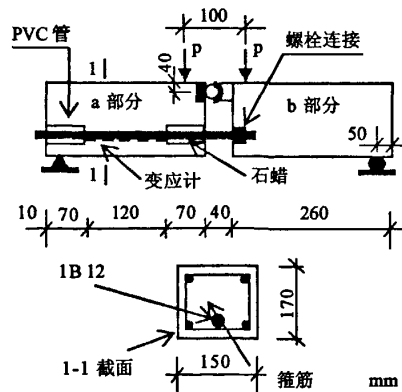


图1 梁式粘结试件

Fig.1 Sketch of beam specimens

试件制作:A、B 和 C 三类试件在浇筑前先在受拉钢筋粘结部位表面的设计位置开槽并预埋箱基点式应变片(应变片布置方式见图 2 示),应变片导线用测试线引出,并对完成粘贴的应变片

进行防水覆盖处理和荷载-应变关系的率定工作。同时,也要在钢筋脱粘结的部位的表面全部涂抹石蜡,然后再用直径稍大一点的PVC管套住,并将PVC管两端用石蜡密封以避免混凝土浆液灌入,至此完成受拉钢筋浇筑前的处理工作。

浇筑前先正确固定受拉钢筋和钢铰的位置,然后进行再生骨料混凝土的浇筑。所有试件注模完成后立即进行塑料薄膜覆盖,并在标准养护室养护24h后拆模并移至标准养护室28d备用。

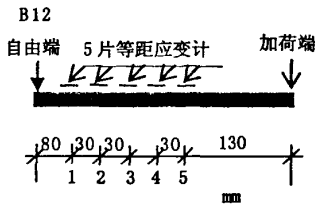


图2 钢筋应变片布置

Fig.2 Arrangement design of resistance strain gauge

1.4 试验方法

试验时按3kN、6kN、9kN分级加载的方法,在液压伺服控制试验机上进行。应变片导线应从试件中引出接在高性能静态应变测试仪DH3815上进行应变数据的自动采集。同时,在钢筋的自由端和加载端也各安装一个高精度电测位移计,并

接在DH3815上进行自由端的相对位移的量测。当钢筋发生粘结滑移破坏时即认为构件完全破坏。

2 试验结果与分析

2.1 粘结应力

5片应变片将受拉钢筋的锚固长度划分为4个区段,在各级荷载作用下每个区段内的平均粘结应力实测值可依据该区段两端的应变实测值按式(1)和(2)计算求得^[10-12]。

$$\tau_{i,i+1} = k_{i,i+1} E_s d_s (\epsilon_{s,i+1} - \epsilon_{s,i}) \quad (1)$$

$$k_{i,i+1} = 1/\Delta_{i,i+1}, i = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

式中 $\tau_{i,i+1}$ 为第*i*到*i+1*区段内的平均粘结应力,MPa; $\Delta_{i,i+1}$ 为第*i*到*i+1*区段的区段长度,mm; d_s 为锚固钢筋的直径,mm。

依据各级荷载*p*下实测的沿钢筋锚固长度内各个测点钢筋应变值的试验数据,并通过(1)式的计算可以求出第*i*到*i+1*区段内的平均粘结应力值 $\tau_{i,i+1}$ 。在此将 $\tau_{i,i+1}$ 看作第*i*到*i+1*区段长度一半处计算点的粘结应力值,并用光滑曲线将端点及各个计算点连接起来,可以获得A类、B类和C类试件的粘结应力沿钢筋锚固长度的基本分布特征曲线(图3)。

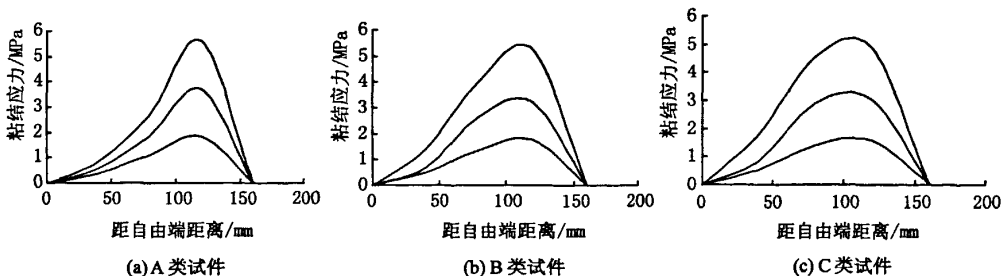


图3 A-C类试件粘结应力沿锚固长度分布

Fig.3 Bond stress distribution law along anchorage length for A-C specimens

比较图3(a)~3(c)可以得知在相同的施加载荷下,随着再生粗集料取代率的增大,粘结应力峰值逐渐从加载端向自由端转移,这主要是因为随着再生粗集料取代率的提高,再生混凝土中各材料的强度分布逐渐趋于均匀,再生混凝土对钢筋握裹强度的分布就越趋于均匀化。

另外,试验结果表明,再生粗集料取代率从10%增大到30%和50%时,再生混凝土的总孔隙

率分别增长了1.1%和1.6%(表2)。而且,随着再生粗集料取代率的增加,钢筋与再生混凝土的粘结性能呈逐渐降低的趋势。

2.2 荷载-滑移关系

通过试验,实测了A、B和C三类试件的加载端与自由端钢筋的相对滑移值,并最终得到各组试件的荷载-滑移特征试验曲线(图4)。

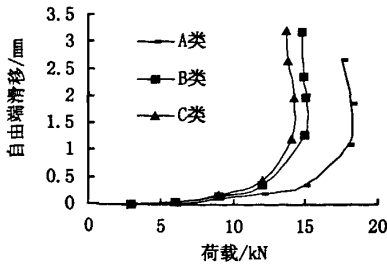


图4 A类-C类试件的荷载-滑移曲线

Fig. 4 Load-slip curves of A-C type specimens

试验过程中, A、B 和 C 三类试件均发生了相对滑移现象。比较图 4 中 A 类~C 类试件的荷载-滑移特征曲线可知, 在相同荷载下, 从 A 类试件到 C 类试件, 自由端的相对滑移量呈逐渐增大趋势。主要原因是, 对再生混凝土来说, 随着再生集料取代率的增大, 总孔隙率在逐渐提高, 并致使其抗压强度及劈裂强度逐渐降低, 从而造成了再生混凝土与钢筋之间机械咬合能力的逐渐减小。

3 结论

1) 随着再生粗集料取代率的增加, 钢筋与再生混凝土的粘结性能呈逐渐降低的趋势。

2) 在加载端施加荷载相同的情况下, 从 A 类试件到 C 类试件, 粘结应力峰值逐渐从加载端向自由端转移。

3) 再生粗集料取代率从 10% 增大到 30% 和 50% 时, 再生混凝土的总孔隙率分别增长了 1.1% 和 1.6%。

4) 由于本次试验仅探讨了不同再生粗集料取代率下 B12 螺纹钢与再生混凝土的粘结性能、荷载-滑移关系, 相关不同类别与直径的其他钢筋与再生混凝土粘结性能、荷载-滑移关系还需要通过试验来进行进一步的研究与分析。

参考文献:

- [1] 成国耀. 不同再生骨料取代率混凝土的基本性能试验研究[J]. 混凝土, 2005 (11): 67-70.
- [2] XIAO J, FALKNER H. Bond behavior between recycled aggregate concrete and steel rebars [J]. Construction and Building Materials, 2007, 21(2): 395-401.
- [3] 安新正, 易成, 刘燕, 等. 硫酸盐环境下再生混凝土性能试验研究[J]. 混凝土, 2010 (7): 31-33.
- [4] 肖建庄, 李不胜, 秦薇. 再生混凝土与钢筋间的粘结滑移性能[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2006, 34 (1): 13-16.
- [5] XIAO JIANZHANG, LI JIABIN, ZHANG CHUANZENG. On statistical characteristics of the compressive strength of recycled aggregate concrete [J]. Structural Concrete, 2005, 6 (4): 149-153.
- [6] 张金喜, 张建华, 邬长森. 再生混凝土性能和孔结构的研究[J]. 建筑材料学报, 2004, 9(2): 142-147.
- [7] NGALA V T, PAGE C L. Effects carbonation on pore structure and diffusional properties of hydrated cement pastes [J]. Cement and Concrete Research, 1997, 27(7): 995-1007.
- [8] KAYALI O, YEOMANS S R. Bond of ribbed galvanized reinforcing steel in concrete [J]. Cement and Concrete Composites, 2000(22): 459-467.
- [9] 王传志, 藤智明. 钢筋混凝土结构理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.
- [10] 洪小健, 张誉. 粘结滑移试验中的粘结应力的拟合方法[J]. 结构工程师, 2000 (3): 44-48.
- [11] 卫军, 王艺霖, 罗晓辉. 钢筋拉拔试验中粘结应力分布的曲线拟合[J]. 铁道科学与工程学报, 2005, 2 (2): 22-24.
- [12] 安新正, 易成, 王晓虹, 等. 钢筋与混凝土耦合腐蚀 RC 梁性能研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2009, 26(3): 15-18.

(责任编辑 马立)