

# Study on Large Eccentric Compression Resistance of Steel Fiber Recycled Concrete Columns

Dandan Cheng, Haibin Geng, Qi Li, Bingchen Li, Kui Ma

School of Civil Engineering and Communication, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan

Email: 2450383790@qq.com

Received: Mar. 27<sup>th</sup>, 2018; accepted: Apr. 13<sup>th</sup>, 2018; published: Apr. 20<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

This paper mainly introduces the results of 4 steel fiber recycled concrete columns under static large eccentric compression. The aggregate is composed of small particle recycled aggregate and large particle natural aggregate. The initial eccentric distance equaled to 0.62 times of the effective sectional height. The strain distribution of normal section, the strains of concrete and steel bars, the transversal deflection, the failure state and ultimate resistance of the columns affected by the strength grade of concrete were studied. The test results show that: the strain distribution of normal section met the plane section assumption; the compressive concrete reached the ultimate strain accompanied with crush failure; the tensile steel bars reached the yield strength; the compressive steel bars approached the yield strength; the cracking load of steel fiber recycled concrete column can be calculated by the formulas specified in current design code for concrete structures; the calculation of the bearing capacity is suggested multiplying a reduction factor.

## Keywords

Steel Fiber Recycled Concrete, Large Eccentric Compression, Strain, Cracking Load, Bearing Capacity

# 钢纤维再生混凝土柱大偏心受压承载力研究

程丹丹, 耿海彬, 李旗, 李炳辰, 马逵

华北水利水电大学土木与交通学院, 河南 郑州

Email: 2450383790@qq.com

收稿日期: 2018年3月27日; 录用日期: 2018年4月13日; 发布日期: 2018年4月20日

## 摘要

本文主要介绍了4根钢纤维再生混凝土柱的大偏心受压静载试验结果,骨料由小粒径再生骨料及大粒径天然骨料组成,初始偏心距为截面有效高度的0.62倍。研究了混凝土强度等级对柱的正截面应变分布、钢筋和混凝土应变、侧向挠度、破坏形态和极限承载力的影响。试验结果表明:钢纤维再生混凝土柱的正截面平均应变分布符合平截面假定,破坏时受压混凝土达到极限应变而压碎,受拉达到屈服强度、受压钢筋接近屈服,可采用现行混凝土设计规范公式计算钢纤维再生混凝土大偏心受压柱的开裂荷载,建议计算正截面承载力时乘以相应的折减系数。

## 关键词

钢纤维再生混凝土, 大偏心受压, 应变, 开裂荷载, 承载力

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

中国的土木工程建设从20世纪50年代至今均处于高速发展阶段尤其在改革开放30年间,发展极为迅猛,几乎整个中国成了一个大的建设工程。基础建设规模越来越大,每年用于浇筑混凝土的骨料就耗废了近千顷的丘陵,而这些山地是不可再生的资源,它的消失对我们人类来言是难以估计的损失。另外,废弃混凝土的合理处理是建筑垃圾治理中极其重要的一部分,废弃混凝土的循环再生利用,可解决混凝土利用过程导致的自然资源、能源、环境及相关社会问题,缓解骨料供求矛盾,具有显著的社会效益、经济效益和环境效益[1]。

目前国内外对再生骨料性能方面的研究比较多,对再生混凝土构件的研究相对较少,大部分前人的研究主要是针对再生骨料取代率、偏心距、长细比化、混凝土强度的变化对再生骨料混凝土柱的破坏形态、破坏机理、侧向变形及承载力的影响[2]-[8],结果表明再生混凝土柱跟普通混凝土柱相似,都表现出明显的轴心受压、大偏心受压、小偏心受压破坏形态;混凝土强度、长细比和初始偏心距对再生混凝土柱侧向变形和承载力的影响规律和普通混凝土柱基本一致;再生混凝土轴心受压柱可以按照现行普通混凝土规范计算普通混凝土轴心受压柱承载力的公式进行;对于偏心受压柱也可以按照现行普通混凝土规范计算普通混凝土轴心受压柱承载力的公式进行,为了安全起见,有的建议乘以相应的折减系数。

本文主要以混凝土强度等级为参数制作了2组长细比为12的钢纤维再生混凝土柱,研究混凝土强度等级对钢纤维再生混凝土柱力学性能的影响,为钢纤维再生混凝土柱的研究提供参考依据。

## 2. 试验概况

### 2.1. 试验材料

本次试验混凝土设计强度为C50、C60,再生细骨料及粒径为5~16的再生粗骨料均来自华北水利水电学院土木工程实训中心废弃混凝土构件,经过破碎筛分得到,天然骨料为粒径为16~25的连续级配碎石,骨料的性能见表1;水泥采用孟电牌P.O 42.5的普通硅酸盐水泥;外加剂为聚羧酸高效减水剂;水

**Table 1.** Material properties of aggregate  
**表 1.** 骨料材料性能指标

骨料	粒径/(mm)	堆积密度/(kg/m <sup>3</sup> )	表观密度/(kg/m <sup>3</sup> )	压碎指标/%	吸水率/%
再生砂	0~5	1330	2395.73	-	9.45
再生粗骨料	5~16	1293.3	2673.8	14.30	5.1
天然粗骨料	16~25	2721.9	1417	12.80	-

为自来水。试验设计时纵向受拉钢筋选用直径 14 mm 的 HRB500 级钢筋, 受压钢筋为直径 16 mm 的 HRB500 级钢筋, 箍筋采用直径 8 mm 的 HPB300 级钢筋, 对钢筋进行拉拔试验, 测得屈服强度、极限强度, 结果见表 2。

由于再生骨料的吸水率比普通骨料大的较多, 计算时把再生混凝土配合比中水的用量分为两部分, 一部分为骨料所吸附的水分, 称之为附加水, 其用量通过测定的再生骨料的吸水率确定, 另一部分为与水泥反应的拌合用水, 称为自由水, 配合比计算时的水灰比为自由水与水泥质量之比, 具体配合比见表 3。

## 2.2. 试件设计

本试验共设计 4 根钢纤维再生混凝土柱, 混凝土强度等级分别为 C50、C60, 钢纤维体积率为 1.2%。试件截面尺寸为 150 mm × 300 mm, 试件长度为 1800 mm, 保护层厚度为 25 mm, 偏心距为 160 mm, 采用非对称配筋, 柱子在端部设有牛腿。在柱的端部加钢板, 防止构件端部出现局部压碎, 试件及牛腿尺寸如图 1 所示。与柱同批浇筑并同条件养护立方体试块和棱柱体试块来测定混凝土的立方体和轴心抗压强度、劈裂抗拉强度及弹性模量, 结果见表 4。

## 2.3. 加载方式及测点布置

试验加载设备为 500 吨四柱液压试验机, 为了保证两端铰支, 在构件上下两端设置滚轴铰支座, 加载过程及加载设备的设计安装均按照《混凝土结构试验方法标准》(GB50152-2012)的规定[9]进行。试验正式加载前, 先进行预加载, 每级取标准荷载值的 20%, 预加载分三级进行, 然后分 2~3 级卸完。正式加载时, 实行分级加载, 每级荷载为破坏荷载的 1/10, 持荷 8 min 左右, 在荷载作用下试件变形稳定后, 记录试验数据, 然后进行下一等级荷载的施加, 当加载达到构件承载力试验荷载计算值的 90%后, 每级荷载取原来荷载的 1/2~1/3 逐级加载, 直至构件破坏为止。

在柱受拉侧跨中、1/4、3/4 和两端, 垂直于柱的水平方向布置 5 个位移计, 以测量柱的侧向变形。混凝土应变片布置在柱跨中截面沿高度方向粘贴 5 个及受拉和受压侧跨中位置各 1 个。受拉侧钢筋应变片按照平均裂缝间距对称布置 7 个, 受压侧钢筋应变片布置在柱跨中位置。

## 3. 试验结果及分析

### 3.1. 钢筋应变分析

图 2 为钢纤维再生混凝土柱中纵向受拉钢筋和受压钢筋应变与荷载关系, RC60-1.2A 端头突然破坏未测得钢筋极限应变, 但破坏前受拉钢筋应力已达到钢筋的屈服强度, 其他柱破坏前纵向受拉钢筋均达到屈服应变  $2750\mu\epsilon$ , 纵向受压钢筋基本均未达到屈服应变  $2800\mu\epsilon$ 。因此, 破坏时钢纤维再生混凝土柱破坏时受拉钢筋屈服, 受压钢筋未屈服。

### 3.2. 混凝土应变分析

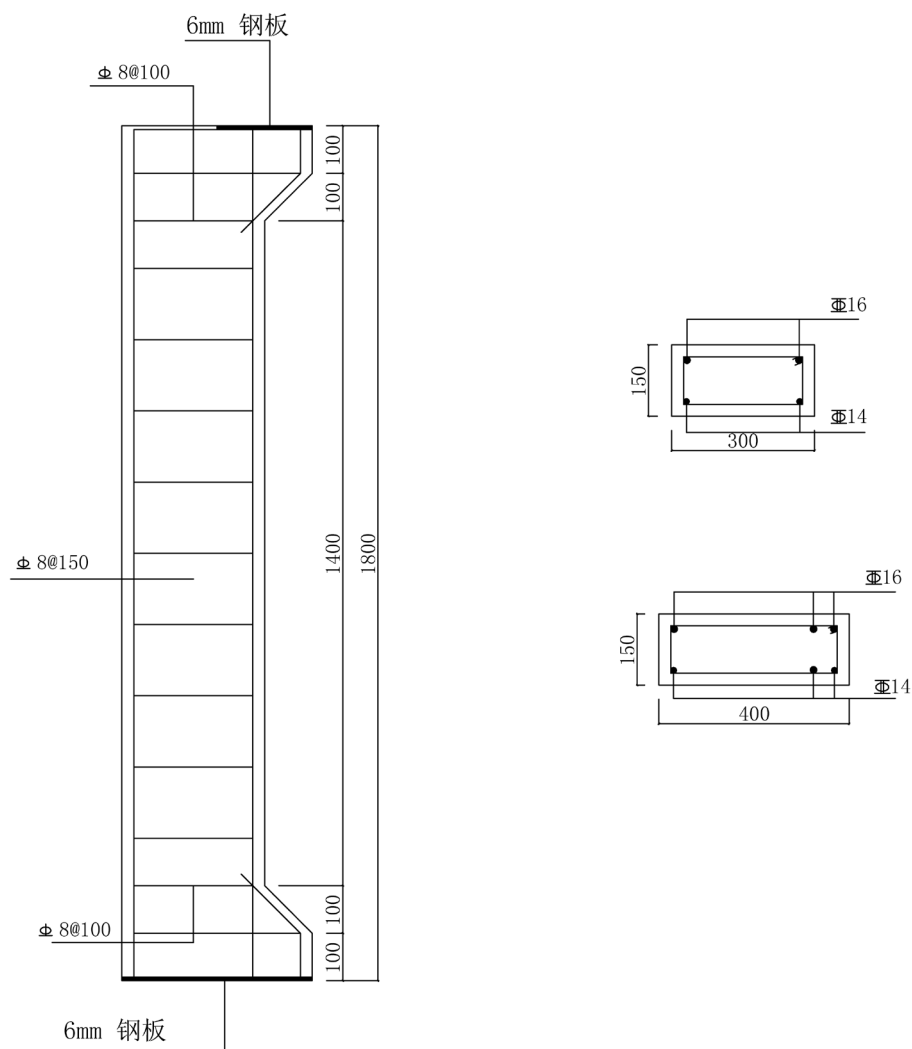
图 3 给出了不同混凝土强度等级柱的荷载-跨中混凝土受压应变曲线, 其中 RC50-1.2B, RC60-1.2A

**Table 2.** Mechanical properties of steel bars  
**表 2.** 钢筋力学性能指标

牌号级别	直径/(mm)	屈服强度/(MPa)	极限强度/(MPa)
HRB500	16	560	705
HRB500	14	550	705
HPB300	8	440	505

**Table 3.** Concrete proportioning  
**表 3.** 混凝土配合比

设计强度等级 (MPa)	钢纤维体积率 %	水灰比 (Kg)	水 (Kg)	水泥 (Kg)	粉煤灰 (Kg)	再生砂 (Kg)	再生粗骨料 (Kg)	天然粗骨料 (Kg)	钢纤维 (Kg)
C50	1.2	0.28	175	562.5	62.5	700.54	480.56	393.26	93.6
C60	1.2	0.24	165	584.38	103.13	689.34	472.06	386.30	93.6

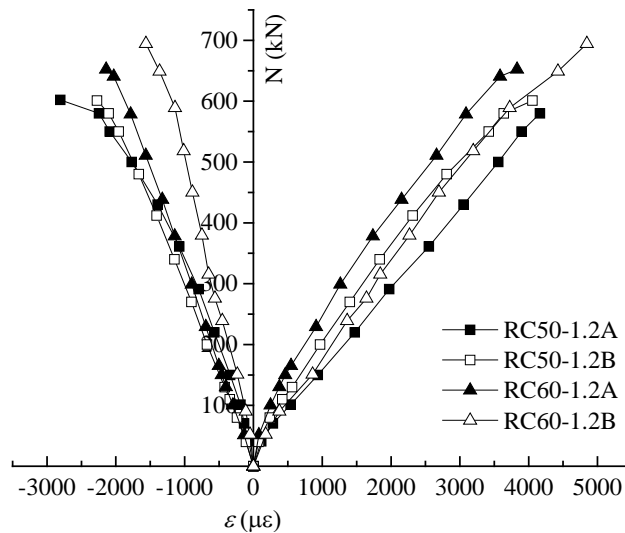


**Figure 1.** The physical dimension and reinforcement drawing of the column  
**图 1.** 柱尺寸及配筋图

**Table 4.** The physical dimension of the column and the test value of the mechanical properties of concrete  
**表 4.** 柱的几何尺寸和混凝土力学性能实测值

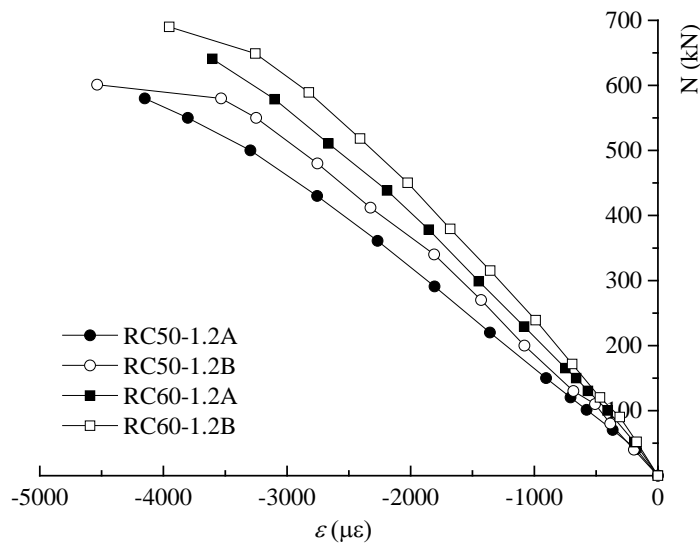
试件编号	试件尺寸 b*h*l	长细比	偏心距 (mm)	混凝土强度/(MPa)			混凝土弹性模量 (10 <sup>4</sup> MPa)
				$f_{cu}$	$f_c$	$f_t$	
RC50-1.2A	150 × 302 × 1805	12	160	58.43	49.43	3.33	3.51
RC50-1.2B	151 × 300 × 1804	12	160	58.43	49.43	3.33	3.51
RC60-1.2A	149 × 301 × 1806	12	160	63.27	53.64	3.57	3.63
RC60-1.2B	150 × 299 × 1805	12	160	63.27	53.64	3.57	3.63

注：表中 b、h、l 分别表示试件的截面宽度、截面长度和试件长度， $f_{cu}$ 、 $f_c$ 、 $f_t$  分别表示混凝土立方体抗压强度、轴心抗压强度和劈裂抗拉强度。



**Figure 2.** Load-strain curves of steel bar

**图 2.** 钢筋荷载—应变关系曲线图



**Figure 3.** Load-strain curves of the compression concrete

**图 3.** 跨中受压区混凝土荷载—应变关系曲线图

未测得对应破坏位置处的混凝土应变, RC60-1.2A 柱头破坏时, 跨中受压区混凝土应变达到  $3600\mu\epsilon$ , 其余柱破坏前受压区混凝土均达到  $4000\mu\epsilon$  左右, 综合考虑试验测试因素, 各柱的混凝土极限压应变可达到现行混凝土结构设计规范规定的普通混凝土极限压应变值  $3300\mu\epsilon$ 。并且, 从图中我们可以看出, 同一级荷载作用下, 随着混凝土强度等级的提高, 柱跨中受压区混凝土应变明显变小, 这主要是由于随着混凝土强度等级的提高, 混凝土弹性模量也有所提高, 且破坏时, 混凝土的极限压应变有降低的趋势, 这点与普通混凝土类似。

为了研究钢纤维再生混凝土柱在大偏心受压作用下是否符合平截面假定, 在柱跨中截面粘贴了 4 个应变片, 图 4 给出了各试验柱跨中截面混凝土应变分布曲线图, 从曲线图中可以看出, 在加载初期试件跨中截面应变基本符合平截面假定, 但随着荷载的增大, 加载值接近破坏荷载时应变分布和平截面假定相差稍大, 这可能是由于混凝土裂缝的出现或钢筋屈服导致试件内部截面应力重新分布的原因。

### 3.3. 侧向变形分析

从图 5 可以看出, 随着混凝土强度等级的提高, 同级荷载作用下, 柱的侧向变形明显变小, 破坏时, 混凝土强度等级越高, 柱的侧向变形越大说明随着混凝土强度等级的提高柱的侧向变形能力也有所增强。

### 3.4. 破坏形态与承载力分析

加载初期, 试件产生较小的形且变形, 随着荷载的不断增大, 变形增量不断增大。加载至极限荷载 20% 左右时, 受拉侧出现横向微裂缝, 随着荷载级数的增加, 横向裂缝沿纵向布满柱子受拉侧, 裂缝宽度变大并向柱子受压侧发展延伸, 荷载值接近破坏荷载时, 受压侧混凝土出现纵向裂缝, 裂缝宽度增加较快且裂缝向受拉侧快速发展延伸, 侧向位移快速增加, 压侧纵向裂缝交叉发展, 受压区迅速减小, 受拉侧钢筋屈服、受压区混凝土被压碎, 试件失去承载能力, 柱破坏形态如图 6 所示。

RC60-1.2A 加载至 655 kN 时, 牛腿处弯起纵筋被拉断, 柱头处突然破坏未测得极限承载力, 但破坏前的数据均可用。表 5 分别给出了构件开裂荷载和承载力试验值与按照混凝土实测强度代入现行规范[10][11]规定计算公式的计算值的比值, 开裂荷载的试验值与计算值的比值均值为 1.01, 离散系数为 0.0579, 用现行规范计算的开裂荷载具有良好的精度。从表中可以看出钢纤维再生混凝土柱的正截面承载力试验值与计算值的比值偏小, 但随着混凝土强度等级的提高, 试验值与计算值的比值有所增大, 安全起见, 建议参照规范计算正截面承载力时乘以相应的折减系数。

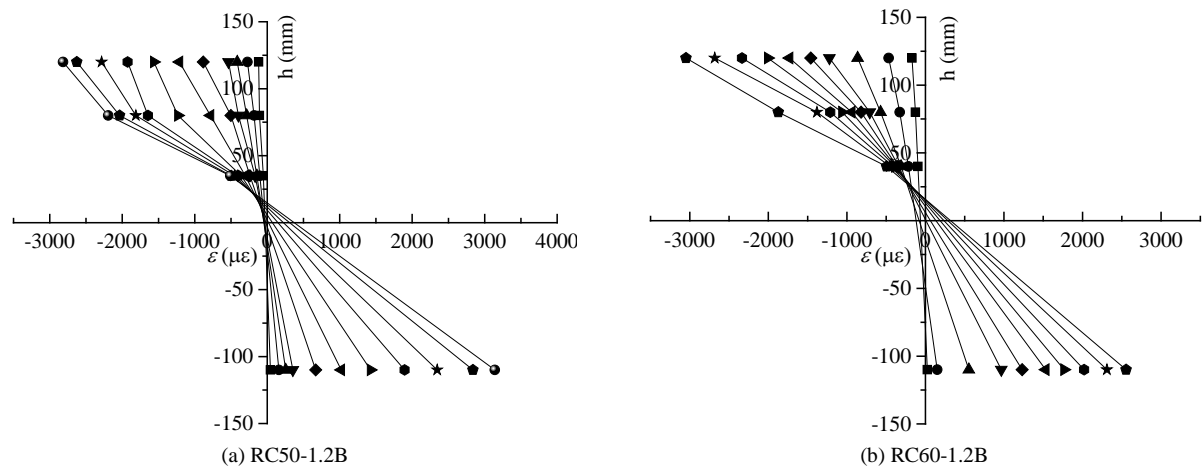


Figure 4. Load-strain curves of the concrete  
图 4. 跨中截面混凝土荷载—应变关系图

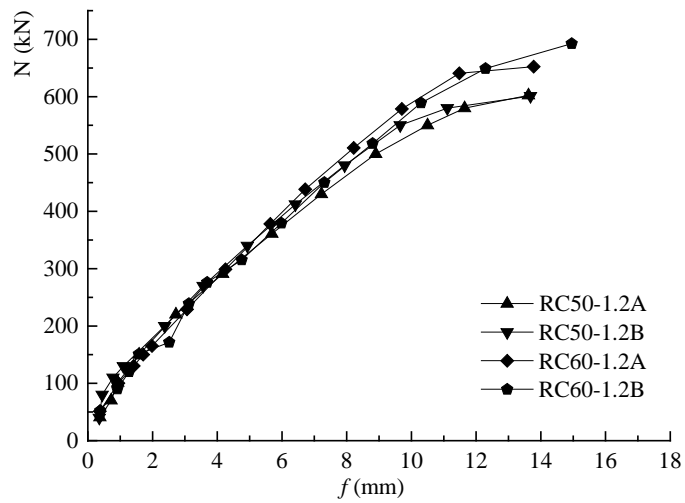


Figure 5. Load-lateral deformation curves  
图 5. 荷载一侧向变形曲线图

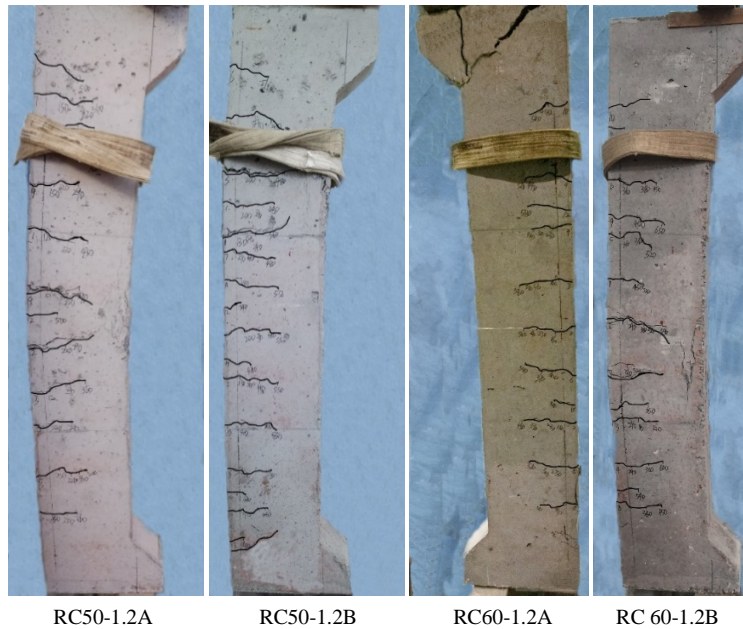


Figure 6. The failure morphology and crack distribution of the column  
图 6. 柱破坏形态及裂缝分布图

Table 5. The comparison of the test value of the cracking load and bearing capacity of the column with the calculated value  
表 5. 柱的开裂荷载和承载力试验值与计算值比较

试件编号	开裂荷载			承载力		
	试验值 (kN)	计算值 (kN)	试验值/计算值	试验值 (kN)	计算值 (kN)	试验值/计算值
RC50-1.2A	120	126	0.95	603	749	0.81
RC50-1.2B	132	126	1.05	604	749	0.81
RC60-1.2A	152	143	1.06	655	791	0.83
RC60-1.2B	137	143	0.96	694	791	0.88

## 4. 结论

本文通过试验研究了 500 MPa 级钢筋钢纤维再生混凝土大偏心受压柱的正截面承载力, 结果表明: 柱的正截面应变基本符合平截面假定, 破坏时 500 Mpa 级受拉钢筋均达到屈服, 混凝土受压应变达到极限值出现压碎状态, 受压钢筋接近屈服强度, 柱的侧向变形迅速增大, 破坏前有明显征兆, 具有较明显的大偏心受压破坏特征。

混凝土强度对钢纤维再生混凝土柱侧向变形和承载力的影响规律和普通混凝土柱基本一致。钢纤维再生混凝土柱的开裂荷载试验值与采用现行混凝土结构设计规范中偏心受压构件开裂荷载计算公式得到的计算值具有良好的符合性。钢纤维再生混凝土柱的正截面承载性能与规范规定的柱正截面承载力计算基本假定相符, 其试验值与采用现行混凝土结构设计规范中偏心受压构件正截面承载力计算公式得到的计算值相比偏小, 建议计算时采用相应的折减系数, 由于本次试验构件设计较少, 对大偏心受压柱的承载力计算需做进一步的研究。

## 基金项目

2016 年度河南省高等学校重点科研项目(16A560023)。

## 参考文献

- [1] 王亨, 单玉坤. 再生混凝土的研究发展现状综述[J]. 黑龙江科技信息, 2011(22): 265.
- [2] 周静海, 于洪洋, 杨永生. 再生混凝土大偏压长柱受力性能试验[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2010, 26(2): 255-260.
- [3] 胡小柱. 再生混凝土柱静力性能研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [4] 付敏龙. 人工砂再生混凝土柱受压力学性能研究[D]: [硕士学位论文]. 广西: 广西大学, 2012.
- [5] 王乐天, 刘煦, 刘超. 再生混凝土柱受压性能试验研究[J]. 混凝土, 2011(7): 17-19, 22.
- [6] 杜朝华, 郝彤, 赵临涛. 再生混凝土柱受压性能试验研究[J]. 工业建筑, 2012, 42(4): 31-36.
- [7] 陈宗平, 郑巍, 叶培欢, 等. 钢筋再生混凝土柱受压承载力试验研究[J]. 工业建筑, 2014, 44(4): 65-68, 72.
- [8] 许靖裕. 钢纤维再生混凝土短柱偏压性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 华侨大学, 2012.
- [9] GB50152-2012. 混凝土结构试验方法标准[S].
- [10] CECS38-2004. 纤维混凝土结构技术规程[S].
- [11] GB50125-2012. 混凝土结构设计规范[S].

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)