

型钢再生混凝土柱抗震性能试验研究

薛建阳^{1,2}, 林建鹏¹, 马 辉¹

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 西部建筑科技国家重点实验室(筹), 陕西 西安 71005)

摘 要:进行了7根型钢再生混凝土柱的拟静力试验, 试件的主要设计参数为再生骨料取代率、轴压比和体积配箍率. 试验结果表明: 再生骨料的掺入未使试件的水平承载力、延性和耗能能力明显降低, 对型钢再生混凝土柱的抗震性能影响不大. 轴压比过大, 型钢再生混凝土柱的抗震性能有较大幅度的降低. 增大体积配箍率, 型钢再生混凝土柱的延性和耗能能力有所提高, 水平承载力也略有增大. 本文的研究可为型钢再生混凝土柱在实际工程中的应用提供参考.

关键词:型钢再生混凝土柱; 抗震性能; 取代率; 轴压比; 体积配箍率

中图分类号: TU 398⁺. 9

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)05-0615-07

长期以来, 传统建筑业的生产模式是一种高投入、高污染、低效益的粗放型生产方式^[1]. 再生混凝土技术的开发与应用一方面可解决由大量废弃混凝土造成的生态环境恶化等问题, 另一方面, 将再生骨料取代天然骨料, 可以减少建筑业对自然资源的消耗, 保护生态环境. 但再生混凝土由于再生骨料的来源复杂, 质量高低不同, 其力学性能、耐久性能、变形性能等低于普通混凝土, 使得再生混凝土结构性能较普通混凝土结构有不同程度的降低^[1-5]. 将再生混凝土应用于组合结构中, 就能使结构具有组合结构的优点, 弥补了再生混凝土的不足. 到目前为止, 国内外对型钢再生混凝土结构的研究较少, 还处于起步阶段. 为了深入研究型钢再生混凝土结构的抗震性能, 本文以结构中的重要受力构件——柱为研究对象, 对7根型钢再生混凝土柱进行了试验研究, 主要研究再生骨料取代率、轴压比和体积配箍率对型钢再生混凝土柱抗震性能的影响.

1 试验概述

1.1 试件设计及制作

本文主要考虑再生骨料取代率 r 、轴压比 n 和体积配箍率 ρ_{sv} 三个参数对柱抗震性能的影响. 试件截面尺寸为 240 mm × 180 mm, 采用的型钢选用 Q235 级工字钢, 型号为 I14, 型钢截面相对于柱断面的含钢量为 4.98%. 纵筋采用强度等级为 HRB335, 4 根直径为 14 mm 的钢筋, 纵筋配箍率为 1.423%. 再生混凝土强度等级为 C40, 对应取代率 0%、70%、100% 的混凝土实测立方体抗压强度分别为 47.70、51.82、48.89 MPa. 试件的设计剪跨比为 3.25. 试件主要参数见表 1, 试件尺寸及配筋见图 1, 钢材材性参数见表 2.

表 1 试件参数

Tab. 1 Parameters of specimens

试件 编号	粗骨料取 代率 $r/\%$	柱高 H/mm	轴压比 n	箍筋配置	
				$\rho_{sv}/\%$	钢筋种类
SRRC11	0	780	0.6	1.36	$\Phi 8@90$
SRRC12	70	780	0.6	1.36	$\Phi 8@90$
SRRC13	100	780	0.6	1.36	$\Phi 8@90$
SRRC14	100	780	0.3	1.36	$\Phi 8@90$
SRRC15	100	780	0.9	1.36	$\Phi 8@90$
SRRC16	100	780	0.6	1.02	$\Phi 8@120$
SRRC17	100	780	0.6	2.04	$\Phi 8@60$

收稿日期: 2013-05-02 修改稿日期: 2013-09-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51178384); 住房和城乡建设部科学技术基金资助项目(2012-K2-12); 陕西省留学人员科技活动择优基金资助项目(陕外专发[2010]26号); 陕西省教育厅科研计划基金资助项目(12JK0902)

作者简介:薛建阳(1970-), 男, 河南洛阳人, 博士, 教授, 博导, 主要从事钢与混凝土组合结构及工程结构抗震研究.

表2 钢材材性参数

Tab. 2 Mechanical properties of steel and reinforcement

材料 类型	屈服强度 f_y/MPa	极限强度 f_u/MPa	弹性模量 E_s/GPa
I14 腹板	325.6	474.9	198
I14 翼缘	311.5	446.5	199
$\phi 14$	358.0	560.9	203
$\phi 8$	479.9	607.0	202

1.2 试验加载装置及加载制度

试验加载装置如图2所示,利用竖向千斤顶以及荷载传感器在试件柱顶施加竖向荷载来作为试件的轴向力,然后保持竖向力恒定不变,再用电液伺服水平作动器施加反复水平荷载.试验加载时采用荷载与位移混合控制,试件屈服前按荷载控制,分数级加载,每级荷载反复1次;试件屈服后按位移控制,每级增加的位移为屈服位移的倍数,并在相同位移下往复循环2~3次,直到试件的水平承载力下降到最大承载力的85%或者试件不能再承担预定轴压力时结束试验,加载制度如图3所示.试验过程中通过TDS-602数据采集仪对试件变形及型钢、纵筋和箍筋的应变进行采集.

2 试验结果及分析

2.1 试验过程与破坏形态

型钢再生混凝土柱在竖向荷载和低周反复荷载作用下,主要呈现的是弯曲破坏,在柱根处出现塑性铰.本试验7根柱子破坏形态相似,只是各个阶段的裂缝多少、开裂程度和破坏的严重程度有所不同.其受力过程简要叙述如下:

在荷载控制阶段初期,四个角部开始出现细微裂缝并沿水平方向发展延伸,东西两侧(与作动器垂直)的水平微裂缝比南北面(与作动器平行)的水平微裂缝稍多.

在荷载控制阶段中期,柱根处部分纵筋已经开始屈服.在柱根处原有水平裂缝开始逐渐贯通,少量水平裂缝向下延伸.

在荷载控制阶段后期,柱根处型钢翼缘开始屈服.在东西侧的水平裂缝继续贯通,水平通缝持续变宽,宽度达0.2 mm.南北侧较多裂缝由角部斜向中部延伸.

进入位移控制阶段,随着位移逐渐增大,柱根处纵筋和型钢翼缘全部屈服.基本上不出现新的水平裂缝,在柱根南面开始出现竖向裂缝,表明已经出现粘结破坏.柱根再生混凝土被压碎,并开始剥落,从破坏面可以看出,再生混凝土的破坏界面主要集中在过渡界面,也存在再生骨料被压碎的现象.部分试件最终破坏形态见图4.

2.2 $P-\Delta$ 滞回曲线

图5是试件SRRC11~SRRC17在低周反复荷载作用下的 $P-\Delta$ 滞回曲线.它反映了构件在反复受力过程中的变形特征、刚度退化及耗能性能.

对试件SRRC11~SRRC17的 $P-\Delta$ 滞回曲线分析如下:

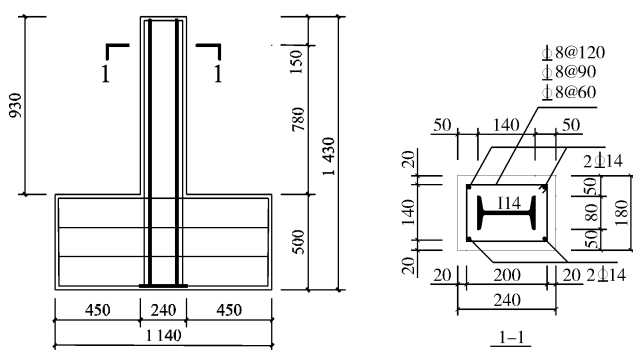
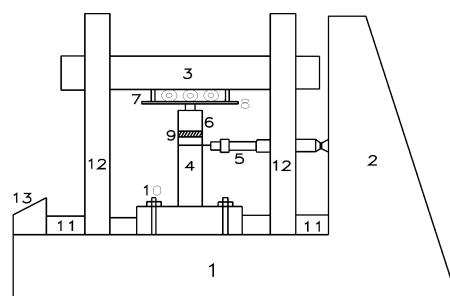


图1 试件尺寸及配筋

Fig. 1 Dimensions and steel reinforcement layout of specimens



1. 底座 2. 反力墙 3. 加载架 4. 试件 5. 作动器 6. 千斤顶 7. 滚珠
8. 钢板 9. 加载垫块 10. 小丝杠 11. 支撑钢架 12. 支架 13. 挡板

图2 试验加载装置

Fig. 2 Test set-up of loading

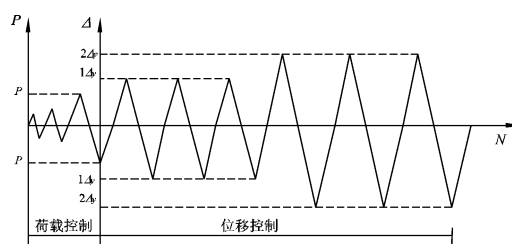


图3 试验加载制度

Fig. 3 Program for loading

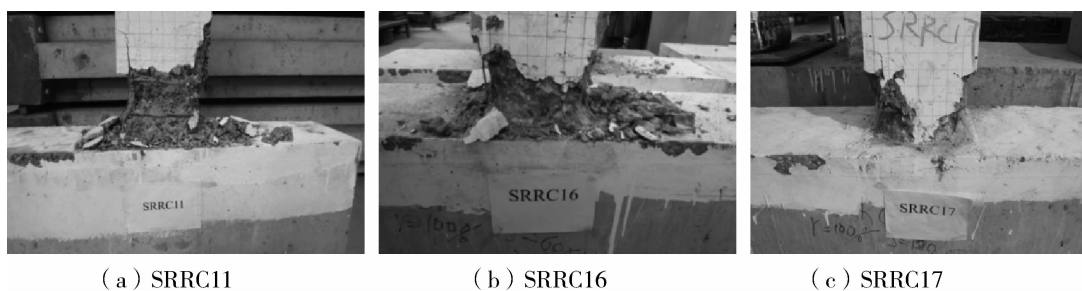


图4 部分试件的破坏形态
Fig. 4 Failure patterns of the members

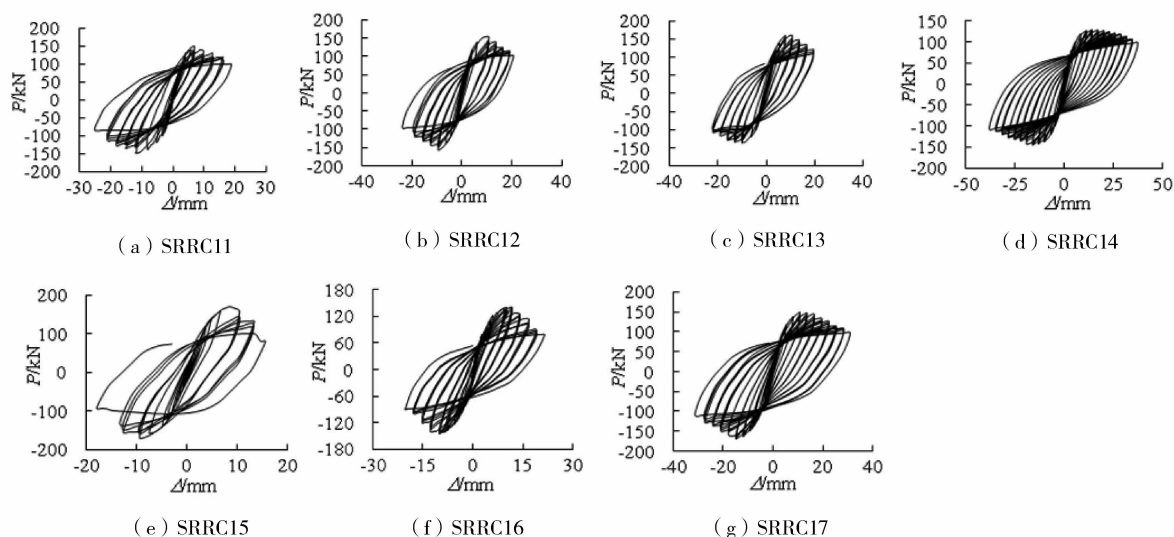


图5 试件 $P-\Delta$ 滞回曲线
Fig. 5 $P-\Delta$ hysteretic curve of the specimens

(1)所有曲线均为梭形,其丰满程度较好,没有明显的“捏拢”现象,没有呈现反S形,表明型钢再生混凝土柱的塑性变形能力强,耗能能力较好。

(2)在加载初期,荷载较小,裂缝出现前或者裂缝少量出现时,试件处于弹性阶段,荷载和位移之间基本呈直线变化,滞回环包围面积很小,残余变形和耗能较小。

(3)在试件达到屈服后,试件加载和卸载刚度逐步降低.在位移加载阶段,滞回曲线斜率逐渐降低,出现明显的滑移段,这是因为纵筋与型钢发生粘结滑移和塑性变形,试件变形很大,而承载力只是稍有增加.在位移卸载阶段,卸载曲线开始一段的斜率较大,试件位移变化有明显的滞后现象。

(4)对比 SRRC11~SRRC13 的滞回曲线可得,SRRC11($r=0\%$)的滞回曲线比 SRRC12($r=70\%$)略丰满,SRRC13($r=100\%$)的滞回曲线的丰满程度则略小于 SRRC11 和 SRRC12,这表明型钢再生混凝土柱比型钢普通混凝土柱的滞回性能略差。

(5)随着轴压比的增大,试件的滞回曲线的丰满程度降低,滞回曲线的循环次数、最大位移都减少,表明试件变形能力和耗能能力都有显著的降低. SRRC15 的轴压比达到 0.9,其滞回曲线却没有出现明显的“捏拢”现象,这表明型钢的加入能显著的增大其变形能力和耗能能力。

(6)试件随着体积配箍率的增大,水平最大位移有明显的增大,表明试件的变形能力显著提高,滞回曲线的丰满程度也相应提高,表明试件的耗能能力等抗震性能提高。

2.3 骨架曲线

再生骨料取代率、轴压比和体积配箍率所对应的试件骨架曲线见图 6。

对不同参数控制下试件的骨架曲线进行分析,可以看出:

(1)在低周反复荷载作用下,试件 SRRC11~SRRC17 的骨架曲线形状基本相同,所有试件都经历了弹性阶段、屈服阶段和破坏阶段.加载初期,荷载较小,故骨架曲线初始阶段为线性.随着荷载增大,骨架曲线的斜率逐渐降低,试件出现塑性变形,产生明显的刚度退化.

(2)试件 SRRC11、SRRC12、SRRC13 的骨架曲线基本重合,偏差极小,故再生骨料的掺入对骨架曲线影响不大.

(3)轴压比较大的试件,在弹性阶段骨架曲线的斜率大,表明试件的初始刚度较大.从变形能力上看,随着轴压比的降低,试件的最大位移提高,在峰值荷载以后,试件的骨架曲线下降较为平缓,表明试件的刚度退化明显减慢.故轴压比是影响型钢再生混凝土柱水平承载能力和变形能力的重要指标,轴压比越小,延性越好,变形能力越强,后期的承载力相当稳定.

(4)体积配箍率对试件的骨架曲线有较大的影响.在加载初期,钢筋未屈服,各试件的骨架曲线基本重合.在位移循环时,骨架曲线的下降段明显平缓,且试件的极限位移也更大,故提高体积配箍率,试件的变形能力更强.

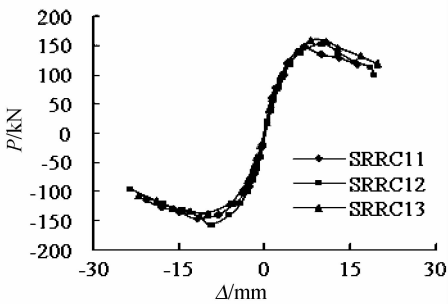
2.4 水平承载能力

试件的开裂荷载 P_{cr} 、屈服荷载 P_y 、峰值荷载 P_{max} 和破坏荷载 P_u 列于表 3. 并进行分析,如下所示:

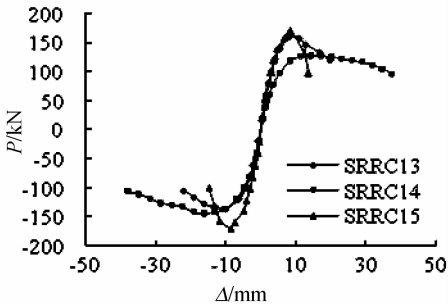
(1)试件 SRRC11 与 SRRC12 的开裂荷载基本相等, SRRC13($r = 100\%$)的开裂荷载则比前两个试件降低了 18.5% 左右,这表明全部由再生骨料掺入的型钢再生混凝土柱的抗裂性能较差,而部分掺入再生骨料的试件的抗裂性能则几乎没有降低.试件 SRRC11~SRRC13 的 P_y 、 P_{max} 、 P_u 基本相等.因此,再生骨料的部分掺入对型钢再生混凝土柱的水平承载力影响不大,但再生骨料掺入量达到 100% 时,其抗裂性能将会有较明显的降低.

(2)随着轴压比的增大,型钢再生混凝土柱的特征荷载都有不同程度的提高,对试件的开裂荷载影响最大,之后对特征荷载的影响逐渐降低.与 SRRC14($n = 0.3$) 相比, SRRC13($n = 0.6$) 的开裂荷载提高了 21.6% ,屈服荷载提高了 15.7% ,峰值荷载提高了 8.7% ,破坏荷载提高了 8.8% ;与 SRRC13 相比, SRRC15($n = 0.9$) 的开裂荷载提高了 22.0% ,屈服荷载提高了 17.4% ,峰值荷载提高了 14.4% ,破坏荷载提高了 14.4% .

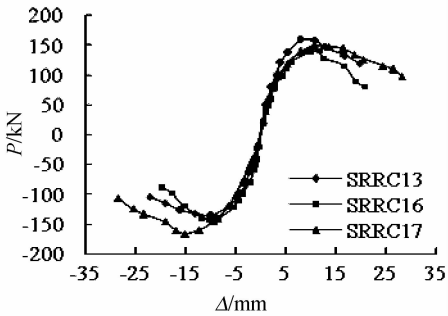
(3)随着体积配箍率的增大, SRRC13($\rho_{sv} = 1.36\%$) 与 SRRC17($\rho_{sv} = 2.04\%$) 的 P_{cr} 、 P_y 基本相等,分别比 SRRC16($\rho_{sv} = 1.02\%$) 的 P_{cr} 、 P_y 提高了 23.6% 、 11.8% .试验表明,体积配箍率大于 1.36% 时,试件的开裂荷载和屈服荷载没有更多的提高.3 个试件的 P_{max} 与 P_u 则随着体积配箍率的增大而分别提高 $7.3\% \sim 11.1\%$ 和 $3.6\% \sim 7.3\%$.



(a) 不同骨料取代率下的骨架曲线



(b) 不同轴压比下的骨架曲线



(c) 不同体积配箍率下的骨架曲线

图 6 试件的骨架曲线

Fig. 6 Skeleton curve of the specimens

表 3 试件的特征荷载

Tab. 3 Feature load of the specimens

试件编号	开裂荷载	屈服荷载	峰值荷载	破坏荷载
	P_{cr}/kN	P_y/kN	P_{max}/kN	P_u/kN
SRRC11	60.7	119.3	146.9	124.9
SRRC12	60.3	117.9	154.6	131.4
SRRC13	49.5	123.1	147.5	125.4
SRRC14	40.7	106.4	135.7	115.3
SRRC15	60.4	144.5	168.8	143.5
SRRC16	41.0	110.1	142.4	121.0
SRRC17	50.7	122.4	158.2	134.5

注:各特征荷载为正负向均值,破坏荷载定义为峰值荷载的 85% ,即 $P_u = 0.85 P_{max}$.

2.5 位移延性

本文采用位移延性系数来衡量延性,按“通用屈服弯矩法”确定屈服位移,按式(1)求得各试件的位移延性系数 μ :

$$\mu=\Delta_u/\Delta_y$$
 (1)

式中: Δ_u 为试件的破坏荷载对应的位移;
 Δ_y 为试件的屈服位移.

用“通用屈服弯矩法”确定屈服位移的方法如图 7 所示.求得试件 SRRC11-SRRC17 位移延性系数见表 4.对表 4 进行分析,可知:

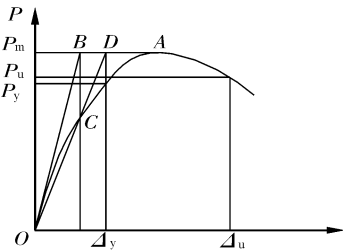


图 7 通用屈服弯矩法
Fig. 7 Moment yielding method

(1)SRRC11~SRRC17 中,大部分试件的延性系数大于 3,其中 SR-RC15 的延性系数为 2.19,但 7 个试件延性系数均值为 3.47,表明型钢再生混凝土柱基本上具有良好的延性,符合混凝土结构位移延性系数不小于 3 的要求.

(2)从试件 SRRC11~SRRC13 知,随着再生骨料取代率的增大,延性系数小幅度降低.但 SRRC13 ($r=100\%$)的延性系数仍大于 3,表明型钢的加入对提高延性系数起到了较大作用,使 100%取代率的 SRRC 试件仍能满足延性的要求.

(3)SRRC14($n=0.3$)、SRRC13($n=0.6$) SRRC15($n=0.9$)的位移延性系数分别为 5.22、3.30、2.19,轴压比增大 0.3,其延性系数就降低 33.6%~36.8%,基本上成线性降低.这是由于轴压比过大,在低周反复荷载作用下,受压区再生混凝土破碎较为严重,使试件过早破坏,影响了试件的变形能力.

(4)随着体积配箍率的增大,试件 SRRC16($\rho_{sv}=1.02\%$)、SRRC13($\rho_{sv}=1.36\%$)、SRRC17($\rho_{sv}=2.04\%$)的位移延性系数提高 5.4%~10.3%.体积配箍率对试件延性的影响小于轴压比的影响.

表 4 试件的位移延性系数

Tab. 4 Displacement ductility ratio of the specimens

试件编号	SRRC11	SRRC12	SRRC13	SRRC14	SRRC15	SRRC16	SRRC17
位移延性系数	3.47	3.35	3.30	5.22	2.19	3.13	3.64

2.6 耗能能力

本文采用的是等效粘滞阻尼系数 h_e 来表示试件的耗能能力.等效粘滞阻尼系数为图 8 中曲线 ABCDA 所围成面积与 $\triangle_{OAE}+\triangle_{OCF}$ 的面积按式(2)计算的比值:

$$h_e=\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{S_{ABCD A}}{S_{\triangle_{OAE}+\triangle_{OCF}}}$$
 (2)

在低周反复荷载作用下,试件 SRRC11-SRRC17 的等效粘滞阻尼系数如表 5 所示.由表 5 可以看出:

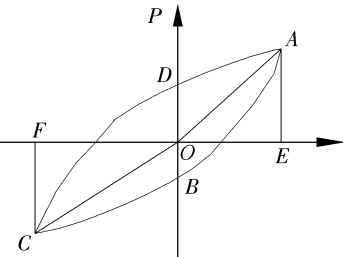


图 8 $P-\Delta$ 滞回环

Fig. 8 $P-\Delta$ hysteretic loop

(1)SRRC11($r=0\%$)的等效粘滞阻尼系数在各阶段都比 SRRC12 ($r=70\%$)、SRRC13($r=100\%$)的高.在屈服点,SRRC11 比 SRRC12、SRRC13 提高了 12.5%、13.9%;在峰值点,SRRC11 比 SRRC12、SRRC13 提高了 1.3%、1.9%;在破坏点,SRRC11 比 SRRC12、SRRC13 提高了 3.7%、6.1%.从总体上说,再生骨料的掺入会降低试件的耗能能力,在屈服点影响较大,而屈服点以后的影响很小.

(2)轴压比越大,各阶段的耗能能力都有不同程度的降低.在屈服点,SRRC13($n=0.6$)比 SRRC14($n=0.3$)降低了 7.1%,SRRC15($n=0.9$)比 SRRC13 降低了 13.9%.在峰值点,SRRC13 比 SRRC14 降低了 13.7%,SRRC15 比 SRRC13 降低了 21.5%.在破坏点,SRRC13 比 SRRC14 降低了 18.5%,SR-

表 5 试件等效粘滞阻尼系数

Tab. 5 Equivalent viscous damping coefficient

试件编号	屈服点	峰值点	破坏点
SRRC11	0.090	0.161	0.225
SRRC12	0.080	0.159	0.217
SRRC13	0.079	0.158	0.212
SRRC14	0.085	0.183	0.260
SRRC15	0.068	0.124	0.177
SRRC16	0.069	0.144	0.193
SRRC17	0.085	0.159	0.232

RC15 比 SRRC13 降低了 16.5 %。三者差距逐步增大,故轴压比越高,试件加载中后期的耗能能力越弱。

(3)随着体积配箍率的增加,在屈服点,与 SRRC16($\rho_{sv}=1.02\%$)相比,SRRC13($\rho_{sv}=1.36\%$)的等效粘滞阻尼系数提高了 14.5 %,SRRC17($\rho_{sv}=2.04\%$)提高了 23.2 %,三者差距较为明显;在峰值点,与 SRRC16 相比,SRRC13 提高了 9.7 %,SRRC17 提高了 10.4 %,可以发现,在峰值点,较高的体积配箍率,并没有体现出耗能优势,SRRC13 与 SRRC17 的耗能能力大致相当;在破坏点,与 SRRC16 相比,SRRC13 提高了 9.8 %,SRRC17 提高了 20.5 %,三者差距更加明显。

2.7 刚度退化

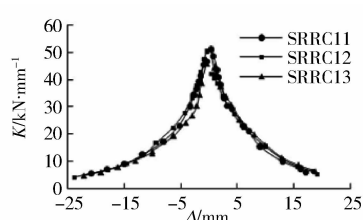
不同再生骨料取代率、轴压比、体积配箍率下各试件的刚度退化曲线见图 9,特征点刚度见表 6。对图表进行分析,可知:(1)在混凝土开裂以前,试件具有较高的刚度,在混凝土开裂以后到达屈服阶段时,试件的刚度迅速退化至开裂荷载时的 53.5 %~70.5 %,随着荷载持续增大,试件刚度降低至开裂荷载时的 11.9 %~32.1 %,试件破坏。(2)从试件 SRRC11~SRRC13 刚度退化曲线上可以看出,三个试件的曲线基本重合,从表中对比 SRRC11、SRRC12、SRRC13 的特征点刚度,可以发现,试件各特征点刚度区别不大,这表明再生骨料的掺入对试件的刚度影响不大。(3)轴压比的大小对试件的刚度产生明显的影响。增大轴压比,试件各特征点刚度有较大幅度的提高。从曲线可以看出,轴压比越小,在加载后期试件的刚度退化越平缓,几乎平行位移轴,试件后期刚度更稳定。(4)体积配箍率对试件的刚度也将产生影响,SRRC13、SRRC16 的特征点刚度都大于 SRRC17。这主要是体积配箍率增大,特征点的位移比特征荷载增大更明显,导致特征点刚度较小。在加载初期,体积配箍率的增大对三个试件刚度退化现象没有产生明显的影响,在加载后期,SRRC17($\rho_{sv}=2.04\%$)的刚度退化速度比 SRRC13($\rho_{sv}=1.36\%$)、SRRC16($\rho_{sv}=1.02\%$)的刚度退化速度慢,试件的后期刚度更加稳定。从整体上看,体积配箍率对试件刚度的影响小于轴压比对试件刚度的影响。

表 6 特征点刚度

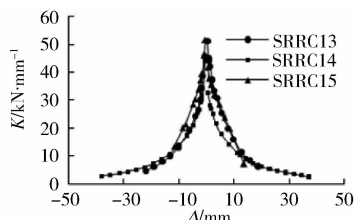
Tab. 6 Stiffness of the feature point

试件 编号	P_{cr}/Δ_{cr} kN/mm	P_y/Δ_y kN/mm	P_m/Δ_m kN/mm	P_u/Δ_u kN/mm
SRRC11	42.35	25.55	17.31	7.88
SRRC12	40.41	27.55	16.00	9.17
SRRC13	37.64	23.50	16.77	7.41
SRRC14	31.24	17.81	8.94	3.72
SRRC15	37.47	26.42	19.94	12.03
SRRC16	42.80	22.88	13.12	8.04
SRRC17	31.51	21.25	12.48	6.44

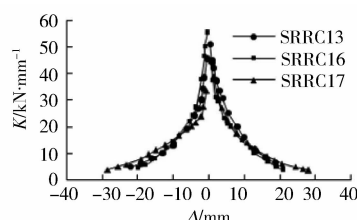
注: P_{cr} 、 P_y 、 P_m 、 P_u 分别为开裂荷载、屈服荷载、峰值荷载和破坏荷载, Δ_{cr} 、 Δ_y 、 Δ_m 、 Δ_u 分别为开裂荷载、屈服荷载、峰值荷载和破坏荷载所对应的位移。



(a)再生骨料取代率对试件刚度退化曲线的影响



(b)轴压比对试件刚度退化曲线的影响



(c)体积配箍率对试件刚度退化曲线的影响

图 9 刚度退化曲线

Fig. 9 The curve of stiffness degradation

3 结 论

(1)型钢再生混凝土柱在低周反复荷载作用下表现为弯曲破坏,破坏时在柱根处出现明显的塑性铰。(2)再生骨料的掺入对试件的水平承载力、位移延性、耗能能力和刚度的影响较小,故再生骨料对型钢再生混凝土柱的抗震性能影响不大。(3)轴压比越大,水平承载力有较大的提高,型钢再生混凝土柱的延性、耗能能力则有明显的降低,加载后期刚度退化显著,故为保证型钢再生混凝土柱的抗震性能,应严格限制轴压比。(4)体积配箍率增大,水平承载力有所提高,型钢再生混凝土柱的延性、耗能能力提高较为明显,后期刚度更稳定。(5)型钢再生混凝土柱应用在实际工程结构中具有可行性。

参考文献 References

- [1] 肖建庄. 再生混凝土[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
XIAO Jian-zhuang. Recycled Concrete[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.
- [2] 杨青. 再生骨料的吸水率对再生混凝土物理力学性能的影响研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.
YANG Qing. Research on physical and mechanical properties of recycled concrete affected by water absorption of recycled aggregate[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [3] 沈大钦. 再生骨料混凝土性能的研究[D]. 北京:北京交通大学,2006.
SHEN Da-qin. Study of Recycled Aggregate Concrete[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2006.
- [4] 崔卫光. 型钢再生混凝土组合柱正截面受力性能试验研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2011.
CUI Wei-guang. Experimental study on mechanical behaviors of normal cross-section of steel recycled concrete composite columns[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture & Technology, 2011.
- [5] 孙跃东. 再生混凝土框架抗震性能试验研究[D]. 上海:同济大学,2006.
SUN Yue-dong. Experimental Research On Seismic Behavior of Recycled Concrete Frame[D]. Shanghai: Tongji University, 2006.
- [6] 薛建阳. 钢与混凝土组合结构设计原理[M]. 北京:科学出版社,2010.
XUE Jian-yang. Design principle of steel and concrete composite structure[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [7] RAZAQPUR A G, FATHIFAZL G, ISGOR G, et al. How to produce high quality concrete mixes with recycled concrete aggregate[C]// Construction Waste Recycling and Civil Engineering Sustainable Development— Proceedings of the 2nd International Conference on Waste Engineering and Management, Tongji University, Shanghai, China; RILEM Publications SARL, 2010: 11-35.
- [8] 沈聚敏,周锡元,高小旺,等. 抗震工程学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
SHEN Ju-min, ZHOU Xi-yuan, GAO Xiao-wang, et al. Earthquake Engineering[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2000.
- [9] NAGATAKI Shigeyoshi, IIDA Kazuhiko, GOKCE Ahmet. A critical review on the use of recycled aggregate for concrete [C]// Proceedings of the 5th International Symposium on Cement and Concrete, Shanghai, China; Journal of the Chinese Ceramic Society, 2002(3): 3-12.
- [10] IKEDA T, YAMANE S. Strengths of Concrete Containing Recycled Aggregate[C]// Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo, Japan; RILEM Publications SARL, 1988: 585-594.

Experimental study on the seismic performance of steel reinforced recycled concrete columns

XUE Jian-yang^{1,2}, LIN Jian-peng¹, MA Hui¹

(1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China(XAUAT), Xi'an 710055, China)

Abstract: The pseudo-static tests were carried out on seven steel reinforced recycled concrete columns. The main design parameters of specimens were the recycled aggregate replacement ratio, axial compression ratio, and volumetric stirrup ratio. The results indicate that the incorporation of recycled aggregate doesn't reduce the horizontal bearing capacity, ductility and energy dissipation capacity of the specimens and has little effect on seismic performance. The seismic performance of steel reinforced recycled concrete column decreases significantly in high axial compression ratio. The ductility, horizontal bearing and energy dissipation capacity of steel reinforced recycled concrete column increases simultaneously with the volumetric stirrup ratio. This study provides a reference for the application of steel reinforced recycled concrete column.

Key words: steel reinforced recycled concrete column; seismic performance; recycled aggregate replacement ratio; axial compression ratio; volumetric stirrup ratio