再生混凝土柱抗震性能试验

胡 琼,卢 锦

(哈尔滨工业大学 土木工程学院,150090 哈尔滨,lujin123456hot@163.com)

摘 要: 为了进一步在实际工程中推广应用再生混凝土,进行了8根再生混凝土柱和4根普通混凝土柱的低周反复荷载试验.采用建研式加载方式获得了荷载-位移滞回曲线.试验结果表明:再生混凝土柱的破坏形式、滞回特性、能量耗散、骨架曲线、刚度、承载力与普通混凝土柱相近;在小轴压比时发生延性破坏,在大轴压比时,发生脆性破坏;再生混凝土柱延性比普通混凝土柱差,粉煤灰的掺入可以改善再生混凝土柱的延性,但承载力会降低.总之,再生混凝土柱的抗震性能与普通混凝土相近.

关键词: 再生混凝土柱;滞回曲线;抗震性能

中图分类号: TU375 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2012)02-0023-05

Experimental research on hysteretic behavior of recycled concrete

HU Qiong, LU Jin

(School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China, lujin123456hot@163.com)

Abstract: To further promote the use of recycled concrete in practice, Pseudo-static tests were carried out for 4 natural RC's(reinforced concrete) columns and 8 recycled RC's columns. During the institute of building type test, the Load(P)-displacement(Δ) relationship curves to each specimen were obtained, and the breakage mode, hysteresis loop, skeleton curves, energy dissipation, stiffness retrogression, ductility performance and carrying capacity of each specimen were similar to those of the natural RC's columns. In small axial ratio, the bradage mode was brittleness default, and in large axial ratio, the mode was ductility breakage. The ductility performance of recycled concrete is poor to the natural concrete. The fly ash could improve the ductility performance but lower the carrying capacity. In conclusion, the seismic behavior of recycled aggregate RC's column is apparently similar to that of natural RC's column.

Key words: recycled reinforced congcrete column menbers; hysteresis loop; seismic behavior

随着国内经济建设的迅速发展,基础建设尤为重要,其中新旧建筑的拆迁及新建使得混凝土的需求量急剧增长.2008年发生的汶川地震,房屋倒塌产生了大量建筑垃圾,若将再生混凝土应用到实际工程中,会减少天然骨料耗损、降低建筑垃圾运输费用、减少环境污染.

国内外学者对再生混凝土进行了一系列研究[1-4],但研究主要集中在配合比、材料、基本力学性能上,对再生混凝土构件抗震性能的研究相对较少且数据有一定离散性[5].

收稿日期: 2011-03-03.
基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(DO314).
作者简介: 胡 琼(1963—),女,副教授.

1 试验概况

1.1 混凝土配合比

水泥选用P.O42.5普通硅酸盐水泥,砂为普通河砂,天然粗骨料为连续级配,Ⅰ级粉煤灰.普通混凝土配置强度为C30,水灰比为0.55,其配合比见表1.再生骨料来源于哈尔滨某废弃建筑,经过二次破碎筛分得到.采用文献[6]提出的再生混凝土配合比设计方法配置再生混凝土.通过控制坍落度来保证混凝土的流动性.

将再生混凝土的拌合用水量分为两部分,一部分为骨料所吸附的水分,这部分水完全被骨料所吸收,在拌合物中不能起到润滑和提高流动性的作用,把它称为附加水,附加水为骨料吸水至饱和面干状

态时的用水量;另一部分为拌合水量,这部分水分分布在水泥砂浆中,提高拌合物的流动性,并且在混凝土凝结硬化时,这部分自由水除有一部分蒸发外,其余的要参与水泥的水化反应,称为自由水.

1.2　试件设计

各试件外形尺寸相同,剪跨比为3,构件混凝土保护层为30 mm. 按照"强剪弱弯"进行配筋,试件配筋见图1,在柱的端部箍筋加密,防止局压破坏. 试件试验数据与参数见文献[7]. 本试验影响因素为:再生粗骨料的取代率、粉煤灰掺量、轴压比,表1中的轴压比为设计轴压比,其表达式为 $n = N/f_cA$,其中,N 为设计轴力值,f_c 为混凝土设计抗压强度值,A 为试件截面面积,a、b、c 分别表示设计轴压比为0.02、0.3、0.6. 试验时采用试验轴压比,其值为 $n/1.722$[7]. 试件纵筋与箍筋屈服强度、极限强度分别为:331、518;290、416 MPa.

表1　试验数据与参数

试件	砼立方体强度/MPa	再生粗骨料取代率/%	n
Z-0-a	37.7	0	0.02
Z-0-b	37.7	0	0.30
Z-0-c	37.7	0	0.60
Z-50-a	41.2	50	0.02
Z-50-b	41.2	50	0.30
Z-50-c	41.2	50	0.60
Z-100-a	42.2	100	0.02
Z-100-b	42.2	100	0.30
Z-100-c	42.2	100	0.60
ZF15-b	34.9	100	0.30
ZF30-b	30.1	100	0.30

注:按照Z-0-c配合比和轴压比制作了两根试件Z-0-c1和Z-0-c2.

1.3　试验加载装置及加载制度

试验加载方式采用建研式[8],在哈尔滨工业大学结构抗震试验中心进行,加载装置主要由四连杆机构和L型大梁组成. 试件加载装置简图见图2. 按照JGJ101-96《建筑抗震试验方法规程》的规定,试验采用力-位移混合控制加载[7].

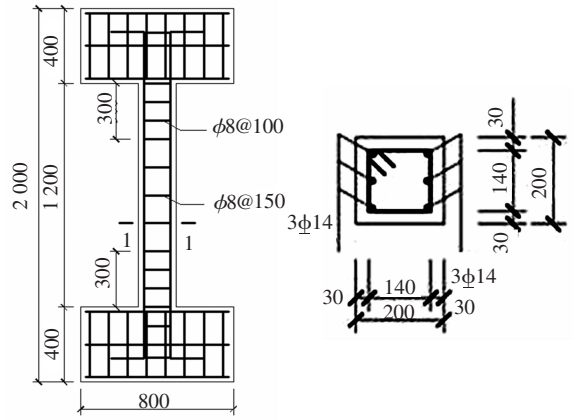


图1　试件配筋图(mm)

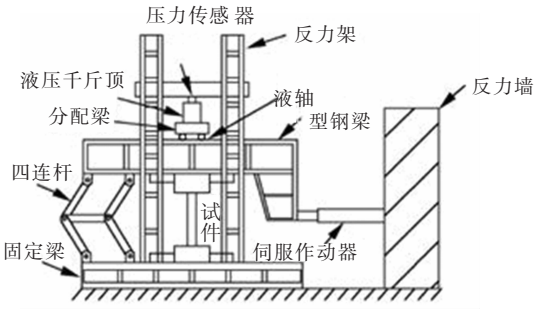


图2　试件加载简图

2　试验结果及分析

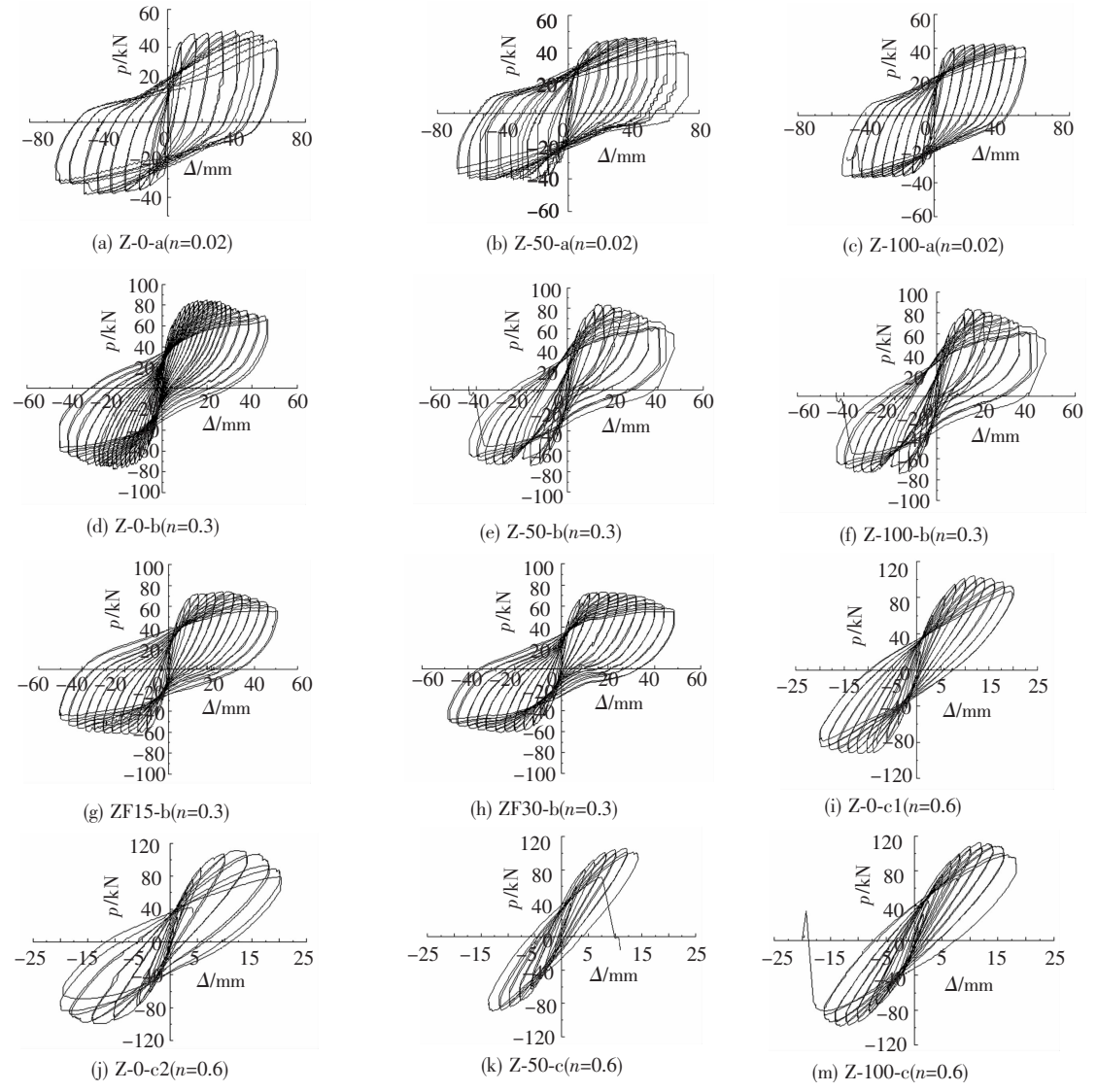
2.1　破坏现象

在加载过程中首先采用荷载控制,在水平荷载的作用下各试件首先在柱端出现水平裂缝,随着裂缝的不断发展延伸,纵向钢筋很快屈服,随后转为位移控制,水平裂缝向柱端发展形成斜裂缝. 荷渐逐渐达到峰值荷载之后,随着位移的不断增加荷载缓慢下降. 在柱的上下端出现混凝土保护层剥离、脱落,且混凝土受压区逐渐被压碎,待承载力下降到峰值荷载的85%时结束试验. 从试验现象可以看出,在相同条件下再生混凝土柱的裂缝宽度及破坏程度要比普通混凝土柱严重,这是因为再生粗骨料中有原生裂纹,且再生粗骨料内部水泥浆与新水泥浆之间有薄弱层. 试验结果表明:各试件的最终破坏模式基本一致. 在轴压比为0.02时,各试件随水平荷载增加试件端部水平裂缝不断发展然后再斜向发展,破坏类似于弯压型破坏;在轴压比为0.3时,破坏类似于延性破坏;而在轴压比为0.6时,破坏类似于脆性破坏.

2.2　滞回曲线

低周反复荷载与位移滞回曲线的形状直观反映了构件的抗震性能,是抗震分析的基础. 各试件的滞回曲线见图3. 各试件在钢筋屈服之前,已经出现了微裂缝,试件位移不大,正反向加载一次所构成的滞回环不明显. 当钢筋屈服后位移逐渐增大,结构进入弹塑性工作阶段,再生混凝土柱与普通混凝土柱的 $P-\Delta$ 滞回曲线基本相同,都呈梭型,在大轴压比时,出现捏拢现象,而在小轴压比时,表现出良好的塑性变形和耗能能力,说明轴压比对再生混凝土柱滞回曲线的影响与普通混凝土柱一致. 在相同轴压比条件下,再生混凝土柱与普通混凝土的峰值荷载以及峰值荷载对应的位移相差不多.

由图3可知,在轴压比为0.3时,试件ZF15-b和ZF30-b的峰值低于试件Z-100-b的相应值,说明粉煤灰的掺入降低了再生混凝土柱的峰值承载力.



(a) Z-0-a(n=0.02)　(b) Z-50-a(n=0.02)　(c) Z-100-a(n=0.02)

(d) Z-0-b(n=0.3)　(e) Z-50-b(n=0.3)　(f) Z-100-b(n=0.3)

(g) ZF15-b(n=0.3)　(h) ZF30-b(n=0.3)　(i) Z-0-c1(n=0.6)

(j) Z-0-c2(n=0.6)　(k) Z-50-c(n=0.6)　(m) Z-100-c(n=0.6)

图 3　滞回曲线

2.3　刚度退化

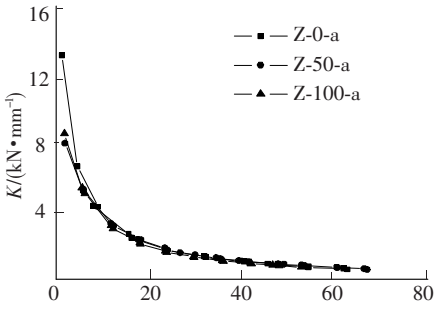
刚度退化见图 4. 刚度随位移增加而降低. 在相同轴压比情况下,再生混凝土粗骨料掺量对刚度影响不大;相同轴压比、再生粗骨料掺量情况下,添加粉煤灰会降低刚度;相同再生粗骨料掺量情况下,随轴压比增加刚度退化速度加剧[8].

2.4　骨架曲线

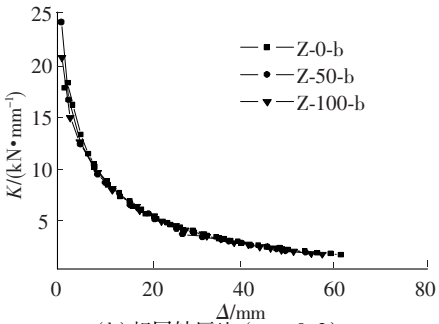
取荷载-位移关系曲线各级第一循环峰点(回载顶点)连接的包络线作为骨架曲线,各试件的骨架曲线见图 5. 骨架曲线有明显的开裂点、屈服点、最大荷载点以及最终控制位移点. 在相同轴压比情况下,再生粗骨料掺量对骨架曲线影响不大且再生混凝土柱与普通混凝土柱骨架曲线基本相同;掺入粉煤灰的再生混凝土柱开裂荷载和峰值荷载较低,延性较好,添加粉煤灰可改善再生混凝土的抗震性能;在相同再生粗骨料掺量情况下,再生混凝土柱与普通混凝土柱随轴压比增大,骨架曲线峰值荷载显著增加,峰值位移减小,延性降低.

2.5　延性分析

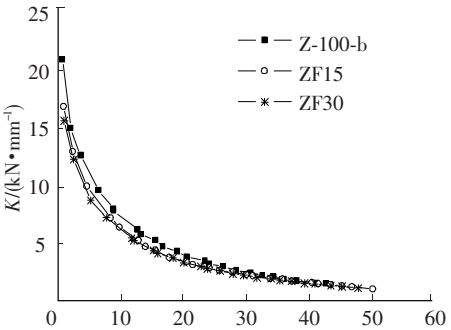
延性是指结构超过弹性阶段,在承载力没有显著下降情况下,结构具备的变形能力. 采用文献[7-8]中提出的 Park 方法确定屈服荷载和屈服位移. 根据抗震规范中规定,试件的延性系数,应根据极限位移和屈服位移之比计算:$\mu_\Delta = \Delta_u/\Delta_y$. 计算结果见文献[7]. 计算结果表明:在相同轴压比情况下,再生混凝土柱延性比普通混凝土柱差;掺入粉煤灰可改善其延性;在相同再生粗骨料掺量情况下,再生混凝土柱与普通混凝土柱延性随轴压比增加显著降低. 大轴压比再生混凝土柱延性较差,达不到规范标准,建议适量掺入粉煤灰改善再生混凝土柱延性.



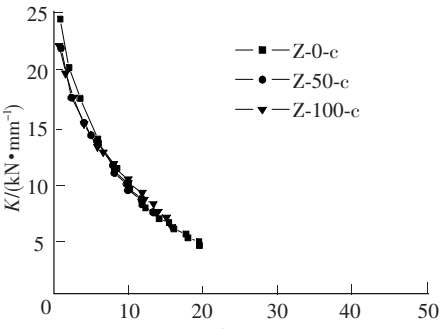
(a)相同轴压比(n = 0.02)



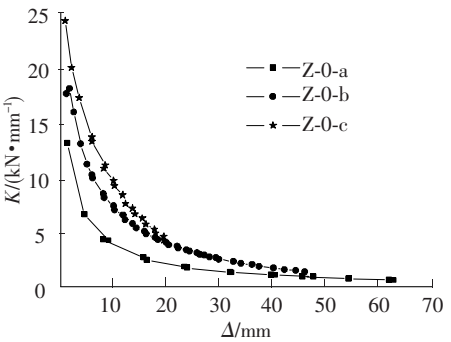
(b)相同轴压比(n = 0.3)



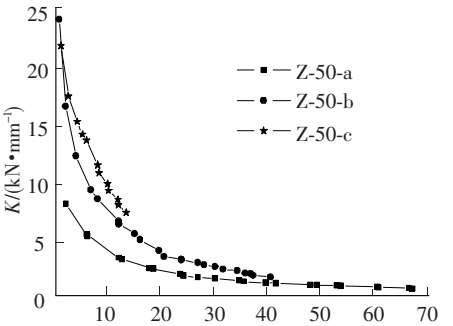
(c)相同轴压比(n = 0.3)



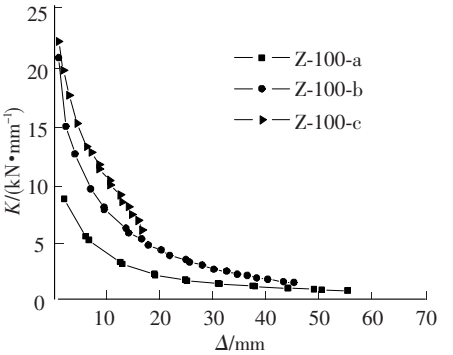
(d)相同轴压比(n = 0.6)



(e)不同轴压比(Z-0-a、Z-0-b、Z-0-c)



(f)不同轴压比(Z-50-a、Z-50-b、Z-50-c)



(g) 不同轴压比(Z-100-a、Z-100-b、Z-100-c)

图4　刚度退化曲线

2.6　耗能分析

采用累积耗能 E_{sum} 和平均耗能系数 μ_e[9] 来反映耗能能力和抗震性能. 各试件的累积耗能,平均耗能系数见文献[7].

$$\mu_e = \frac{E_{sum}}{mE_y}, \tag{1}$$

式中: E_{sum} 为各次循环的耗能总和;E_y 为名义弹性能量;m 为试件屈服后的循环次数.

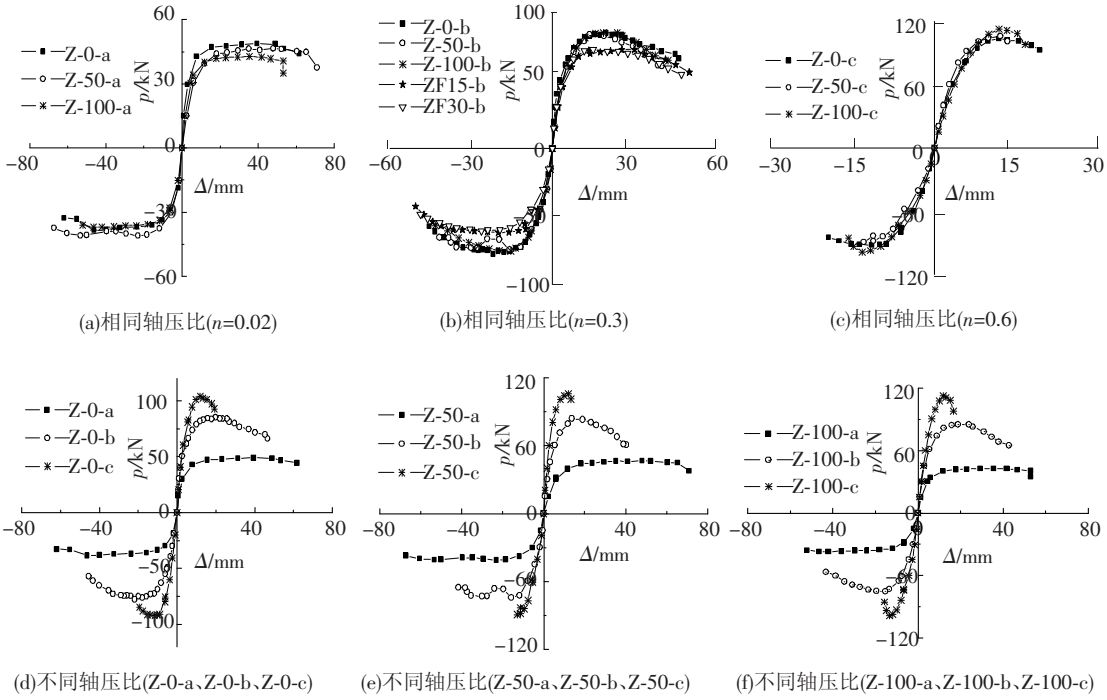
$$E_y = \frac{P_y\Delta_y}{2}. \tag{2}$$

式中 P_y 为试件屈服荷载.

试验结果表明,在相同轴压比情况下,再生粗骨料掺量对平均耗能系数影响不大,再生混凝土柱延性比普通混凝土柱差;掺入粉煤灰可增加再生混凝土柱的耗能;在相同再生粗骨料掺量情况下,再生混凝土柱与普通混凝土柱随轴压比增加平均耗能系数显著降低.

2.7　承载力分析

各试件的屈服荷载、峰值荷载、极限荷载见文献[7]. 在相同轴压比情况下,再生粗骨料掺量对屈服荷载、峰值荷载、极限荷载影响不大,且再生混凝土柱承载力与普通混凝土柱相近;掺入粉煤灰的再生混凝土柱承载力降低;在相同再生粗骨料掺量情况下的再生混凝土柱与普通混凝土柱承载力随轴压比增加显著增加.



(a)相同轴压比(n=0.02)　(b)相同轴压比(n=0.3)　(c)相同轴压比(n=0.6)

(d)不同轴压比(Z-0-a、Z-0-b、Z-0-c)　(e)不同轴压比(Z-50-a、Z-50-b、Z-50-c)　(f)不同轴压比(Z-100-a、Z-100-b、Z-100-c)

图 5　骨架曲线

3　结　论

1)在相同轴压比情况下,再生混凝土柱的破坏形式与普通混凝土柱相同,在小轴压比时,再生混凝土柱发生延性破坏,在大轴压比时,发生脆性破坏,二者 $P-\Delta$ 滞回曲线的特性非常接近.

2)再生粗骨料掺量对能量耗散、骨架曲线、刚度、承载力影响不大,且与普通混凝土柱相近.

3)相同轴压比情况下,未掺入粉煤灰的再生混凝土柱延性比普通混凝土柱略差,粉煤灰的掺入可改善再生混凝土柱延性,但也会降低其承载力.

参考文献:

[1] CORINALDESI V, MORICONI G. Behavior of beam-column joints made of sustainable concrete under cyclic loading[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2006 (5):650 – 638.

[2] MESBAH H A, BUYLE-BODIN F. Efficiency of polypropylene and metallic fibres on control of shrinkage and cracking of recycled aggregate mortars[J]. Construction and Building Materials, 1999,13(8):439 – 447.

[3] TOPCU I B. Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete[J]. Cemnet and Concrete Research, 1997,27(12):1817 – 1823.

[4] LIMBACHIYA M C, LEELAWAT T, DHIR R K. Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete [J]. Materials and Structures, 2000,33: 574 – 580.

[5] 肖建庄. 再生混凝凝土[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

[6] 史巍,侯景鹏. 再生混凝土技术及其配合比设计方法[J]. 建筑技术开发,2001,28(8):18 – 20.

[7] 卢锦. 再生混凝土受压构件滞回性能试验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.

[8] 姜睿. 超高强混凝土组合柱抗震性能的试验研究[D]. 大连:大连理工大学,2007.

[9] 张敏. 建筑结构抗震分析与减震控制[M]. 成都:西南交通大学出版社,2007.

(编辑　赵丽莹)