

文章编号:1001-4888(2014)02-0207-08

取代率对钢管再生混凝土短柱 轴压性能退化的影响分析^{*}

陈宗平^{1,2}, 徐金俊¹, 薛建阳²

(1. 广西大学 土木建筑工程学院, 广西南宁 530004; 2. 广西大学 工程防灾与结构安全教育部重点实验室, 广西南宁 530004)

摘要: 为了揭示再生粗骨料含量对钢管再生混凝土短柱轴压性能退化的影响,以再生粗骨料取代率级差 10% 作为主要变化参数,分别进行了 22 组圆钢管试件(以直径 90mm 和 110mm 为次要变化参数)和 11 组方钢管试件的轴心受压试验,从组合轴压刚度退化、损伤以及耗能的角度分析了再生粗骨料取代率对其性能衰减的影响程度。研究表明:钢管再生混凝土短柱在非弹性阶段的退化特性大致表现为负指数函数的形式;再生粗骨料取代率较高时的轴压损伤累积比取代率较小的试件快;对于含钢率低、套箍系数小的圆钢管试件,其全过程耗能因子降低较快且变得较小;再生粗骨料取代率超过 50% 后,钢管再生混凝土的轴压终值耗能因子均随取代率的增加而降低。

关键词: 钢管再生混凝土; 取代率; 组合轴压刚度; 损伤; 耗能

中图分类号: TU398

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-13-083

0 引言

再生混凝土技术作为土木工程行业节能减排的重要组成部分,不仅可以减轻废弃建筑垃圾对环境的污染问题,而且能节约部分自然资源,进行二次或多次利用^[1]。相比于天然混凝土,现有研究结果表明再生混凝土存在部分物理力学等方面的缺陷,而钢管再生混凝土因其外包钢管的约束作用使得其内再生混凝土的性能得到一定程度的改善,从而有利于扩大再生混凝土结构的推广应用。已有学者通过试验和理论分析得到在再生混凝土与钢管界面间的粘结滑移性能^[2-4]、构件的轴压性能^[5-12]以及受剪承载性能^[13]等方面的成果,他们均认为钢管再生混凝土与钢管混凝土的最大区别在于其再生与天然粗骨料的配比问题,即再生粗骨料取代率的变化是导致再生混凝土各项性能发生改变的内在原因。在钢管再生混凝土的研究中,以往的多数研究对再生粗骨料取代率的划分上较为粗略,因此导致研究结果存在较大的离散性,极有可能遗漏最优取代率。基于此,本文以 10% 作为再生粗骨料取代率的变化级差,针对圆钢管与方钢管再生混凝土轴压短柱的性能退化来揭示其再生粗骨料含量的影响程度。

1 试验概况

1.1 试验材料

试验中圆钢管采用两种不同管径的钢管,其中 CA 系列为 90mm、CB 系列为 110mm;方钢管(S 系

^{*} 收稿日期: 2013-05-23; 修订日期: 2013-10-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(50908057)、广西自然科学基金项目(2012GXNSFAA053203)、广西科技攻关项目(桂科攻 12118023-3)和广西理工科学实验中心重点项目(LGZX201102)

通讯作者: 陈宗平(1975—),男,工学博士,教授,博士生导师。主要从事再生混凝土结构、异形柱结构体系、钢-混凝土组合结构以及结构检测鉴定与加固等研究。E-mail: zpchen@gxu.edu.cn

列)边长 D 为 121mm, 依标准试验方法测得钢管的屈服强度和极限强度见表 1。水泥采用 32.5R 普通硅酸盐水泥, 砂采用普通天然黄砂(粗砂), 拌合水为城市自来水, 天然粗骨料为连续级配的碎石, 粒径为 1.4~2.8cm, 堆积密度为 1437kg/m³。再生粗骨料来源于已服役 50 年的废弃混凝土构件(原设计强度为 C30), 按照我国行业标准 GB/T25177—2010《混凝土用再生粗骨料》的相关规定, 经破碎、筛分、清洗等工艺流程后得到, 粒径为 1.4~2.8cm, 堆积密度为 1385kg/m³。为了能较准确地反映再生粗骨料含量对钢管再生混凝土力学性能的影响, 配制了 11 种再生混凝土。再生粗骨料的取代率是指再生粗骨料质量占全部粗骨料质量的百分比, 以取代率为 0% 的天然混凝土 C30 为基准配方, 其配合比为水: 水泥: 砂: 天然粗骨料: 再生粗骨料=215: 524: 532: 1129: 0, 单位为 kg/m³。

1.2 试件制作

以再生粗骨料取代率为主要影响参数, 钢管截面形式与套箍系数为次要变化参数, 共设计 33 个试件。试件采用分层人工振捣直至密实, 并预留各再生粗骨料取代率下的混凝土立方体试块 3 块, 所有试件均采用自然养护。各试件设计及实测参数如表 1 所示。

表 1 试件各相关参数及实测强度

Tab. 1 Related parameters and the measured strengths for specimens

试件编号	γ (%)	L (mm)	D (mm)	t (mm)	L/D	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_{th} (MPa)	α	ξ
CA-0	0	285	88.34	2.59	3.23	343	420	23.6	0.1285	1.87
CA-1	10	286	88.20	2.60	3.24	343	420	22.1	0.1292	2.01
CA-2	20	286	88.20	2.67	3.24	343	420	21.4	0.1330	2.13
CA-3	30	286	88.24	2.55	3.24	343	420	24.6	0.1264	1.76
CA-4	40	284	88.02	2.44	3.23	343	420	25.7	0.1208	1.61
CA-5	50	286	88.20	2.54	3.24	343	420	23.9	0.1260	1.81
CA-6	60	287	88.20	2.43	3.25	343	420	23.1	0.1200	1.78
CA-7	70	285	88.30	2.54	3.23	343	420	27.3	0.1258	1.58
CA-8	80	286	88.10	2.51	3.25	343	420	28.1	0.1245	1.52
CA-9	90	283	88.14	2.40	3.21	343	420	26.1	0.1185	1.56
CA-10	100	284	88.32	2.51	3.21	343	420	29.2	0.1242	1.46
CB-0	0	363	112.00	1.78	3.24	357	443	23.6	0.0667	1.01
CB-1	10	363	112.38	2.07	3.23	357	443	22.1	0.0780	1.26
CB-2	20	360	111.88	1.88	3.22	357	443	21.4	0.0708	1.18
CB-3	30	361	111.70	1.65	3.23	357	443	24.6	0.0618	0.90
CB-4	40	357	112.10	2.05	3.18	357	443	25.7	0.0774	1.08
CB-5	50	360	112.00	1.90	3.21	357	443	23.9	0.0715	1.07
CB-6	60	360	112.70	2.00	3.19	357	443	23.1	0.0750	1.16
CB-7	70	360	112.18	2.01	3.21	357	443	27.3	0.0757	0.99
CB-8	80	363	112.16	1.98	3.24	357	443	28.1	0.0745	0.95
CB-9	90	364	112.08	1.92	3.25	357	443	26.1	0.0722	0.99
CB-10	100	359	113.14	2.27	3.17	357	443	29.2	0.0854	1.04
SA-0	0	359	121.00	3.08	2.97	340	428	23.6	0.0529	1.59
SA-1	10	357	121.00	3.25	2.95	340	428	22.1	0.0560	1.80
SA-2	20	357	121.00	3.13	2.95	340	428	21.4	0.0538	1.78

续表 1

试件编号	γ (%)	L (mm)	D (mm)	t (mm)	L/D	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_{ck} (MPa)	α	ξ
SA-3	30	363	121.00	3.06	3.00	340	428	24.6	0.0526	1.51
SA-4	40	362	121.00	3.16	2.99	340	428	25.7	0.0544	1.50
SA-5	50	356	121.00	3.20	2.94	340	428	23.9	0.0551	1.63
SA-6	60	359	121.00	3.12	2.97	340	428	23.1	0.0536	1.64
SA-7	70	354	121.00	3.07	2.93	340	428	27.3	0.0527	1.37
SA-8	80	359	121.00	3.15	2.97	340	428	28.1	0.0542	1.37
SA-9	90	355	121.00	3.13	2.93	340	428	26.1	0.0538	1.46
SA-10	100	359	121.00	3.08	2.97	340	428	29.2	0.0529	1.28

注： γ 为再生骨料取代率； L 为试件高度； D 为钢管外径(或方钢管边长)； t 为钢管厚度； f_y 为钢管屈服强度； f_u 为钢管极限强度； f_{ck} 为各试件对应的混凝土抗压强度标准值； α 为含钢率($\alpha=A_s/A_c$ ， A_s 、 A_c 分别为钢管截面积与混凝土的面积)； ξ 为套箍系数($\xi=\alpha f_y/f_{ck}$)。

1.3 加载装置及加载制度

试验采用 RMT-201 岩石与混凝土力学试验机加载,加载装置如图 1 所示,采用位移控制的加载制度,加载速率设定为 0.01mm/s。考虑到试验仪器的安全性,如在加载过程中荷载下降至极限荷载的 70%以下,或荷载下降段不明显但压缩变形达到 3cm 时,试验停止加载。



图 1 试验加载装置
Fig. 1 Test setup



图 2 试件破坏形态
Fig. 2 Failure modes of specimens

2 试验结果与计算

2.1 试件的破坏形态

圆钢管和方钢管再生混凝土试件的最终破坏形态与普通钢管混凝土相似,分别呈腰鼓状斜剪压破坏和斜压破坏,见图 2。

2.2 轴压荷载—变形曲线

通过试验机自动采集的各试件受力全过程荷载—变形曲线数值,采用归一化模型,按式(1)转化得到各试件的轴压荷载—变形曲线,如图 3 所示。

$$n = \frac{N}{N_u} \quad u = \frac{\Delta}{\Delta_u} \tag{1}$$

式中： N 为试件的轴向荷载； N_u 为试验中实测荷载—位移曲线上的峰值点荷载； Δ 为试件的轴向压缩位移； Δ_u 为试件峰值点荷载对应的位移,称为峰值位移。

2.3 割线刚度

以轴压荷载—变形曲线上的试验点为研究对象,通过求解原点 O 至各点的连线与横坐标夹角的正切值,定义曲线上各特征点的轴压割线刚度,其所得结果见图 4。观察圆钢管试件与方钢管试件在峰值轴压割线刚度对应的相对位移可知,前者的 Δ/Δ_u 一般不大于 0.5,而后者的 Δ/Δ_u 接近于 1,由此说明了圆钢管再生混凝土短柱在越过弹性受力阶段后,还可继续增长承载能力,其强度安全富余度较之方钢管再生混凝土短柱的大。

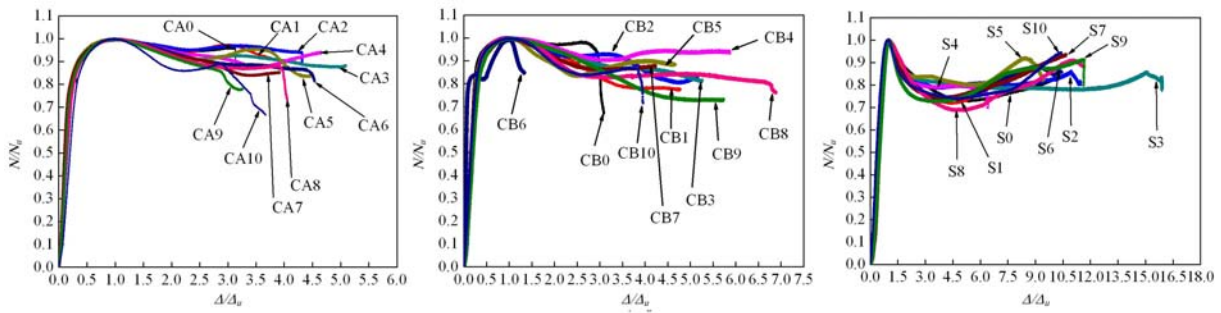


图 3 钢管再生混凝土轴压荷载-变形曲线

Fig. 3 Curves of axial compression load-deformation for RACFST

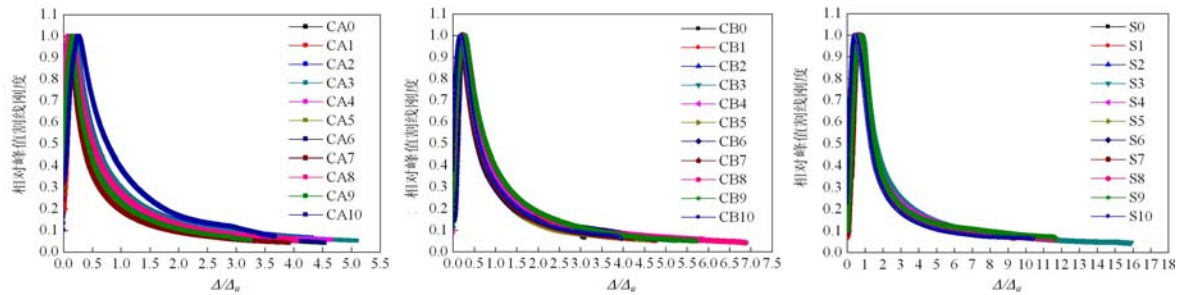


图 4 钢管再生混凝土短柱的轴压割线刚度

Fig. 4 Axial compression secant stiffness of RACFST short columns

2.4 考虑取代率的组合弹性轴压刚度模型

根据前述导出的钢管再生混凝土轴压割线刚度,在弹性阶段近似认为其为钢管与再生混凝土的组合弹性轴压刚度,可通过求解峰值点割线刚度至初始加载时的值的平均刚度来定义该值。为了描述具有统一性与可比性,文中约定以取代率为 0% 时的钢管混凝土为基准,其余各值均除以基准值来获取,所得结果示于图 5 中。经比较发现,方钢管再生混凝土的组合弹性轴压刚度在 50% 附近达到最小,从最优的拟合结果来看,也与之呼应;而圆钢管再生混凝土组合轴压弹性刚度具有一定的离散性,对于含钢率高、套箍系数大的 CA 系列,其值在取代率至 50% 时达到最大,而含钢率低、套箍系数小的 CB 系列,则在取代率为 50% 时达最小。观察各自的拟合曲线,CA 系列呈现先增后减的趋势,CB 系列则随取代率的增大而渐增,但在取代率为 100% 时有所降低。图 5 所示为钢管再生混凝土组合弹性轴压刚度的最优拟合结果,其计算模型见式(2)。

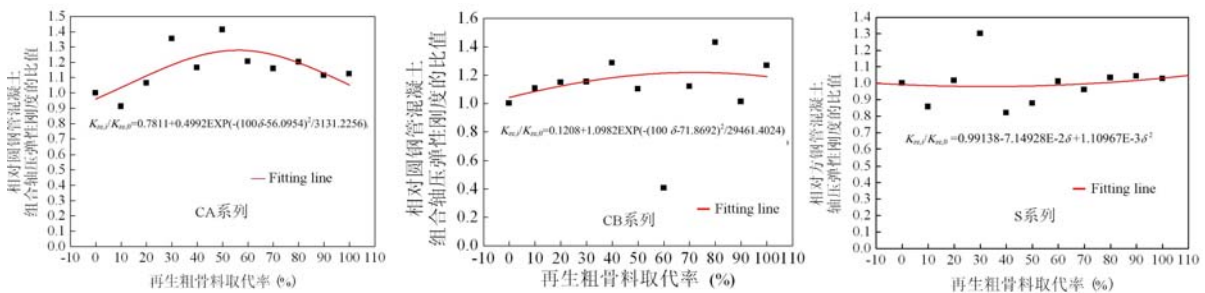


图 5 相对组合弹性轴压刚度分布与最优拟合结果

Fig. 5 Relative combined elastic axial compressive stiffness distribution and the optimal fitting results

$$K_{x,i} = \begin{cases} K_{x,0} (A + Be^{-\frac{(100\delta - C)^2}{D}}) & \text{圆钢管再生混凝土} \\ K_{x,0} (E - Fe^{-2\delta} + Ge^{-3\delta^2}) & \text{方钢管再生混凝土} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $i=0, 1, 2, \dots, 9, 10$; 对于 CA 系列, 建议取值为 $A=0.7811$ 、 $B=0.4992$ 、 $C=56.0954$ 、 $D=$

3131.2256;对于CB系列,建议取值为 $A=0.1208$ 、 $B=1.0982$ 、 $C=71.8692$ 、 $D=29461.4024$;对于S系列,建议取值为 $E=0.99138$ 、 $F=7.14928$ 、 $G=1.10967 \times 10^{-3}$ 。

3 取代率对 RACFST 轴压性能的影响

3.1 组合轴压刚度退化

由轴向荷载—变形曲线可知,钢管再生混凝土短柱历经弹性受力以及非弹性受力这两个阶段,由此可见构件抵抗轴向压缩变形的能力逐步退化。为了评估钢管再生混凝土组合轴压刚度的退化性能,建立其数学评价模型具有实用意义。文中以试件的割线刚度为准,定义其弹性阶段的刚度值为常数,即相对弹性刚度为“1”,图6为各试件组合轴压刚度退化曲线,通过试验拟合后,得到表达式如下:

$$\frac{K}{K_e} = \begin{cases} 1 & 0 < \Delta \leq \Delta_u \\ ae^{-b(\Delta/\Delta_u)^c} + c & \Delta_u < \Delta \end{cases} \quad (3)$$

式中: a 、 b 、 c 均为拟合系数。对于CA系列,建议取值 $a=1.089$ 、 $b=1.055$ 、 $c=0.0959$;对于CB系列,建议取值 $a=1.126$ 、 $b=0.981$ 、 $c=0.0931$;对于S系列,建议取值 $a=1.679$ 、 $b=0.872$ 、 $c=0.0949$ 。 Δ_u 为试验的峰值位移。

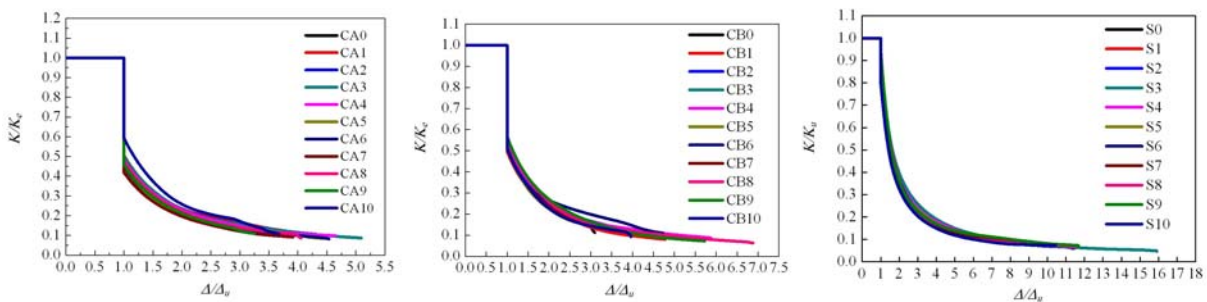


图6 钢管再生混凝土组合轴压刚度退化曲线

Fig. 6 Combination axial compression stiffness degradation curves for RACFST

3.2 损伤

钢管再生混凝土短柱的抗轴向压缩能力随着荷载的增长而逐渐破坏,这种破坏模式的发生源于钢管与再生混凝土组合材料的横向膨胀不断累积与扩大,进而导致损伤由两端逐步向柱中截面发展,宏观上表现为轴向位移的不断增长与柱身腰鼓状变形的加剧。为了定量描述钢管再生混凝土短柱压缩损伤的发展过程,依据经典损伤力学原理,提出组合轴压损伤度 D_z 的概念。文献[14]表明:采用材料的弹性模量变化定义其损伤度是最实用、有效的方法。基于此,本文提出的组合轴压损伤度 D_z 是建立在轴压刚度之上而得到的,其表达式如下:

$$D_z = 1 - \frac{\overline{K_z}}{K_z} \quad (4)$$

式中: $\overline{K_z}$ 为损伤后的钢管再生混凝土轴压刚度。为便于考察,假定在加载的弹性阶段,其损伤可近似认为没发生,此时令 $D_z=0$,所得计算结果见图7。

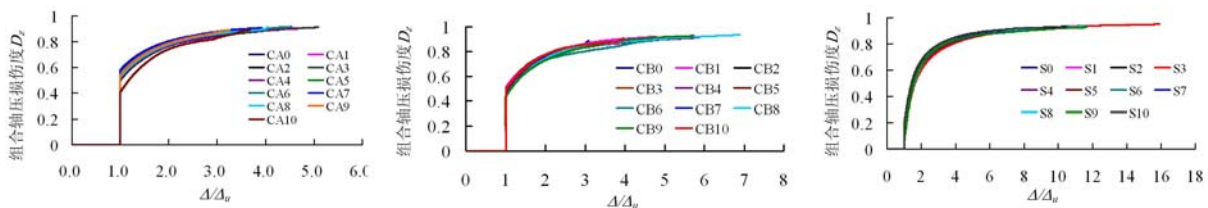


图7 钢管再生混凝土的组合轴压损伤度

Fig. 7 Combination axial compression damage for RACFST

对比公式(3)与公式(4)并由图7可见,钢管再生混凝土短柱的组合轴压损伤度与刚度衰减相互关

联,即两者之和为单位“1”,其实质为等价关系。比较圆钢管与方钢管的损伤发展趋势,圆形试件较之方形试件在峰值位移时发展得快,其区别在于两者约束机制的不同:方形试件在其钢板壁中轴线上比其角部对核心混凝土的约束更弱,而圆形试件在周向为均匀约束;在轴向压力作用下,一方面钢管受压,另一方面钢管受混凝土的横向挤压,如此首先导致在钢管的薄弱部位产生钢管与混凝土相互分离的趋势,而这种趋势对方钢管而言则为横向失效逐步累积的过程,即损伤从方钢板的中轴线向方钢管角部发展,其发生较为缓慢。

大体来看,无论是圆形试件还是方形试件,再生粗骨料取代率较高时的损伤累积的发生比取代率较小试件的快,这也说明了再生粗骨料在破碎过程中的初始损伤会加速在钢管再生混凝土短柱轴压性能方面的退化,导致其损伤累积的加快。一般来看,在加载的非弹性阶段,圆钢管再生混凝土的 D_c 从 0.5 发展至 0.9,而方钢管试件从 0.1 发展至 0.9。

3.3 耗能

轴压耗能反映了柱子本身轴向吸能与耗能相互间的内在关系,具有全局变量的意义。在加载全过程中,根据轴向荷载—变形曲线,定义其上各加载点曲线与该点横坐标包围的面积比上加载过程中该点之前的最大荷载与该点位移的乘积为轴压耗能系数,其数学表达如下:

$$\eta = \begin{cases} \frac{S_{O\Delta_i\Delta_i}}{P_i \cdot \Delta_i} & 0 < \Delta_i < \Delta_u \\ \frac{S_{O\Delta_i\Delta_i}}{P_u \cdot \Delta_i} & \Delta_u \leq \Delta_i \leq \Delta_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

式中: η 为耗能因子; $S_{O\Delta_i\Delta_i}$ 为试件加载至 Δ_i 时,荷载—位移曲线与横坐标所包围的面积,见图 8。

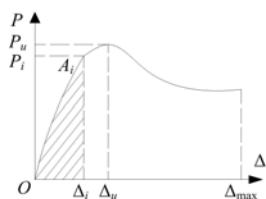


图 8 耗能分析模型

Fig. 8 Energy consumption analysis model

图 9 所示为钢管再生混凝土组合柱受压全过程耗能因子的变化规律。由图 9 可见,在加载初期,无论是圆钢管试件还是方钢管试件,其耗能能力均随位移的增长呈现降低之势。比较 CA 与 CB 两系列在加载初始时刻的耗能因子可知,含钢率低、套箍系数小的 CB 系列,其数值下降较快且变得较小,但两者大致从 0.6 下降至 0.3。从受力机理来看,试件含钢率越大、套箍系数越大,圆钢管对其内再生混凝土的约束能力越强,因此导致加载初期试件的耗能能力衰减较小;而对比圆钢管试件与方钢管试件的耗能因子(CB 与 S 系列比较),后者大致从 0.7 降至 0.3,降幅较之圆钢管试件的大,究其原因在于方钢管的约束作用主要集中在四个角部,对核心再生混凝土的约束作用较圆钢管的差。

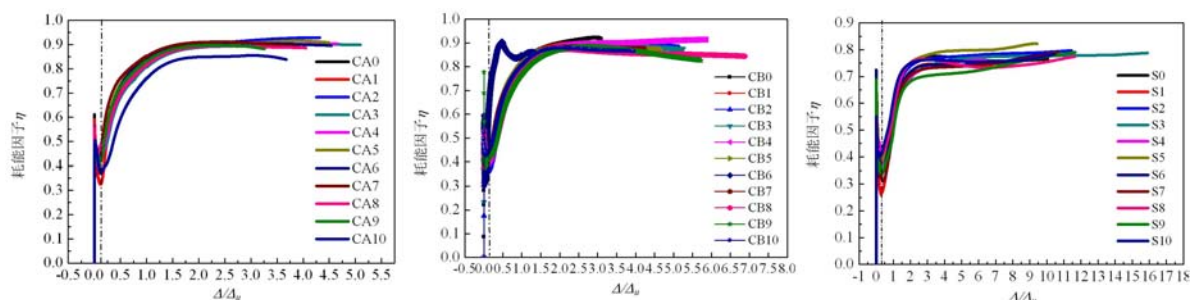


图 9 钢管再生混凝土短柱受压全过程耗能

Fig. 9 The whole process of compression energy dissipation for RACFST

表 2 给出了钢管再生混凝土终值轴压耗能因子。通过比较发现,圆钢管试件的终值耗能因子随再生粗骨料取代率的增加而表现为降低的趋势;而方钢管试件的耗能则以取代率 50% 为界限,当再生粗骨料含量低于 50% 时,其值随取代率的增加而略微增大,之后则随之降低。上述现象在很大程度上说明了再生粗骨料含量越高,对钢管再生混凝土短柱的轴压耗能能力具有一定的削弱作用,这极有可能是再生粗骨料存在的微裂缝在压缩过程中闭合导致其吸收较多能量所致,由此减少了内能的比例。

表 2 钢管再生混凝土轴压终值耗能因子

Tab. 2 Axial compression terminal value energy dissipation factor of RACFST

试件编号	CA0	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CA7	CA8	CA9	CA10
最终耗能	0.915	0.915	0.929	0.899	0.904	0.909	0.896	0.893	0.886	0.882	0.839
试件编号	CB0	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10
最终耗能	0.916	0.851	0.880	0.876	0.915	0.874	0.862	0.876	0.844	0.827	0.865
试件编号	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
最终耗能	0.765	0.768	0.797	0.788	0.762	0.822	0.786	0.791	0.775	0.791	0.784

4 结语

(1) 圆钢管和方钢管再生混凝土试件的最终破坏模式与普通钢管混凝土相似,分别呈腰鼓状斜剪压破坏和斜压破坏。

(2) 以轴压割线刚度为研究对象,得到钢管再生混凝土轴压非弹性阶段的退化特性大致表现为负指数函数的形式。

(3) 再生粗骨料取代率较高时的组合轴压损伤度的增长比取代率较小试件的快;在受力非弹性阶段,圆钢管再生混凝土的 D_z 从 0.5 发展至 0.9,而方钢管试件的 D_z 则从 0.1 发展至 0.9。

(4) 对于含钢率低、套箍系数小的圆钢管试件,其全过程耗能因子下降较快且变得较小;圆钢管试件的终值耗能因子随再生粗骨料取代率的增加而表现为降低的趋势;而方钢管试件的耗能则以取代率 50%为界限,低于 50%时其值随取代率的增加而略微增大,之后则随之降低。

参考文献:

[1] 陈宗平,徐金俊,郑华海等.再生混凝土基本力学性能试验及应力应变本构关系研究[J].建筑材料学报,2013,16(1):26—34 (Chen Zongping, Xu Jinjun, Zheng Huahai, et al. Basic mechanical prosperities test and stress-strain constitutive relations of recycled coarse aggregate concrete [J]. Journal of Building Materials, 2013,16(1): 26—34 (in Chinese))

[2] 李卫宁,徐金俊,陈宗平,苏益声.方钢管再生混凝土粘结滑移性能试验研究[J].广西大学学报(自然科学版),2012,37(1):68—74 (Li Weining, Xu Jinjun, Chen Zongping, Su Yisheng. Experimental research on the bond-slip behaviour of recycled aggregate concrete-filled square steel tubes [J]. Journal of Guangxi University (Natural Sciences), 2012, 37(1):68—74 (in Chinese))

[3] 陈宗平,徐金俊,薛建阳,苏益声.钢管再生混凝土黏结滑移的推出试验与黏结强度计算[J].土木工程学报,2013,46(3):49—58 (Chen Zongping, Xu Jinjun, Xue Jianyang, Su Yisheng. Push-out test on the interface bond-slip behavior and calculation on bond strength between steel tube and recycled aggregate concrete in RACFST structures [J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 46(3):49—58(in Chinese))

[4] 徐金俊,陈宗平,薛建阳,苏益声.圆钢管再生混凝土界面黏结失效的推出试验研究[J].建筑结构学报,2013,34(7):148—157 (Xu Jinjun, Chen Zongping, Xue Jianyang, Su Yisheng. Failure mechanism of interface bond behavior between circular steel tube and recycled aggregate concrete by push-out test [J]. Journal of Building Structures, 2013, 34(7):148—157 (in Chinese))

[5] Yang Youfu, Han Linhai. Experimental behaviour of recycled aggregate concrete filled steel tubular columns [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2006, 62(12):1310—1324.

[6] Huang Yijie, Xiao Jianzhuang, Zhang Ch. Theoretical study on mechanical behavior of steel confined recycled aggregate concrete [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2012, 76(9):100—111.

[7] Liu Yixiang, Zha Xiaoxiong, Gong Guobin. Study on recycled-concrete-filled steel tube and recycled concrete based on damage mechanics [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2012, 71(4):143—148.

[8] 张向冈,陈宗平,薛建阳等.钢管再生混凝土轴压长柱试验研究及力学性能分析[J].建筑结构学报,2012,33(9):12—20 (Zhang Xianggang, Chen Zongping, Xue Jianyang, et al. Experimental study and mechanical behavior analysis of recycled aggregate concrete filled steel tubular long columns under axial compression [J]. Journal of

- Building Structures, 2012, 33(9):12–20 (in Chinese))
- [9] 陈宗平, 李启良, 张向冈 等. 钢管再生混凝土偏压柱受力性能及承载力计算[J]. 土木工程学报, 2012, 45(10): 72–80 (Chen Zongping, Li Qiliang, Zhang Xianggang, et al. Mechanical behavior and bearing capacity calculation of recycled aggregate concrete-filled circular steel tube columns under eccentric loading [J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(10):72–80 (in Chinese))
- [10] 肖建庄, 杨洁, 黄一杰, 王正平. 钢管约束再生混凝土轴压试验研究[J]. 建筑结构学报, 2011, 32(6):92–98 (Xiao Jianzhuang, Yang Jie, Huang Yijie, Wang Zhengping. Experimental study on recycled concrete confined by steel tube under axial compression [J]. Journal of Building Structures, 2011, 32(6):92–98 (in Chinese))
- [11] 马静, 王振波. 圆钢管再生混凝土轴压短柱承载力试验研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2012, 29(3):104–107 (Ma Jing, Wang Zhenbo. Experimental study on bearing capacity of recycled concrete-filled circular steel tubular columns under axial compression [J]. Journal of Guizhou University (Natural Sciences), 2012, 29(3):104–107 (in Chinese))
- [12] 吴波, 刘伟, 刘琼祥, 许喆. 钢管再生混合短柱的轴压性能试验[J]. 土木工程学报, 2010, 43(2):32–38 (Wu Bo, Liu We, Liu Qiongxiang, Xu Zhe. Experimental study on the behavior of recycled-concrete-segment/lump filled steel tubular stub columns subjected to concentrically axial load [J]. China Civil Engineering Journal, 2010, 43(2):32–38 (in Chinese))
- [13] 吴波, 许喆, 刘琼祥, 刘伟. 薄壁钢管再生混合柱的抗剪性能试验[J]. 土木工程学报, 2010, 43(9):12–21 (Wu Bo, Xu Zhe, Liu Qiongxiang, Liu Wei. Test of the shear behavior of thin-wall steel tubular columns filled with demolished concrete segments/lumps [J]. China Civil Engineering Journal, 2010, 43(9):12–21 (in Chinese))
- [14] 蔡四维, 蔡敏. 混凝土的损伤断裂[M]. 北京:人民交通出版社, 1999 (Cai Siwei, Cai Min. Damage and fracture of concrete [M]. Beijing: China Communications Press, 1999 (in Chinese))

Influence of Replacement Ratio on Axial Compression Performance Degradation of Recycled Aggregate Concrete-filled Steel Tube Short Column

CHEN Zong-ping^{1,2}, XU Jin-jun¹, XUE Jian-yang²

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Key Laboratory of Disaster Prevention and Structural Safety of China Ministry of Education, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In order to reveal the influence of content of recycled coarse aggregate on axial compression performance degradation of RAC-filled steel tube short columns, taking RCA replacement ratio grade 10% as the main variable parameter, axial compression tests for 22 groups of circular steel tube specimens (taking diameters 90 mm and 110 mm as the secondary parameter, respectively) as well as 11 groups of square steel tube specimens were carried out. The influence of recycled coarse aggregate replacement ratio on the performance degradation was analyzed by taking into account the combined axial compression stiffness degradation, damage and energy dissipation. Results show that degradation characteristics of recycled aggregate concrete-filled steel tube short columns approximately present negative exponential function form on non-elastic stage; when RCA replacement ratio is higher, combined axial compression cumulative damage is rapider than that of specimens with lower replacement ratio; for circular steel tube specimens with low steel ratio and small ferrule coefficient, their energy dissipation factor decreases faster and becomes smaller; when RCA replacement ratio exceeds 50%, the final value of energy dissipation factor of recycled aggregate concrete-filled steel tube decreases with the increase of replacement ratio.

Keywords: recycled aggregate concrete-filled steel tube; replacement ratio; combined axial compression stiffness; damage; energy dissipation