

焊接箍筋混凝土框架柱抗震性能试验研究

杨 勇¹, 张雪昭¹, 焦卫丽^{1,2}

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 中国建筑科学研究院西北分院, 陕西 西安 710055)

摘要: 通过 4 个绑扎箍筋钢筋混凝土柱和 5 个焊接箍筋钢筋混凝土柱的低周反复水平加载试验, 对比了焊接箍筋形式和绑扎箍筋形式对钢筋混凝土柱抗震性能的影响, 探讨了焊接箍筋钢筋混凝土柱在抗震方面的性能, 试验研究结果表明, 焊接箍筋混凝土柱比绑扎混凝土柱的抗震性能有所提高. 根据试验结果, 分析焊接箍筋钢筋混凝土柱的滞回曲线和骨架曲线, 得出不同轴压比和配箍率对焊接箍筋钢筋混凝土柱的耗能能力、延性性能和刚度退化的影响. 在低周反复荷载下, 焊接箍筋钢筋混凝土柱随着轴压比的降低, 耗能能力增强, 位移延性增大; 在轴压比相同的条件下, 耗能能力和位移延性随着配箍率的增大而增大.

关键词: 焊接箍筋; 钢筋混凝土; 框架柱; 抗震性能; 试验研究

中图分类号: TU375.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7930(2014)03-0323-06

为减少钢筋混凝土结构中钢筋用量, 节省材料, 笔者提出一种新型箍筋形式—全焊接箍筋^[1-2] (见图 1). 该新型焊接箍筋是采用专用的电阻电焊焊接, 制作质量可靠, 不仅可以节省钢材, 而且由于没有弯钩, 在混凝土浇筑施工时不会卡振捣棒, 方便混凝土浇筑振捣^[3-4]. 焊接箍筋焊点采用专用焊机焊接, 焊点性能高, 不会出现普通绑扎箍筋由于箍筋弯钩拉直导致箍筋失效的现象^[5].

在钢筋混凝土柱中, 箍筋主要起约束混凝土和承担抗剪受力钢筋作用, 项目组先后开展了采用焊接箍筋的钢筋混凝土梁斜截面受剪试验研究和钢筋混凝土短柱 (剪跨比小于 2.0)、钢筋混凝土框架柱 (剪跨比大于 2.0) 的低轴反复拟静力试验研究, 对采用焊接箍筋的钢筋混凝土结构开展了系列研究. 本文主要介绍 5 个焊接箍筋钢筋混凝土框架柱和 4 个绑扎箍筋钢筋混凝土框架柱的低周反复水平拟静力试验, 对分别采用焊接箍筋和绑扎箍筋的钢筋混凝土框架柱抗震性能进行对比研究.

1 试验方案

1.1 试件设计

本次试验共设计了 9 个钢筋混凝土试件, 通过箍筋形式、轴压比和配箍率的变化研究焊接箍筋混凝土柱的抗震性能. 所有试件均为 1:2 的模型, 所采用的箍筋分两种形式: 一种为绑扎箍筋, 另一种为焊接箍筋. 混凝土采用商品混凝土 C30, 其立方体试块抗压强度平均值为 40.3 MPa; 纵筋和箍筋均为 HRB335 级钢筋, 纵筋直径为 20 mm, 其实测抗拉强度平均值为 535.6 MPa, 箍筋直径为 8 mm, 实测抗拉强度平均值为 578.1 MPa. 各试件参数见表 1, 试件尺寸和配筋见图 2.

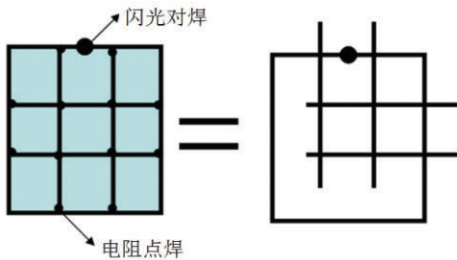


图 1 焊接箍筋构造示意图
Fig.1 Welding stirrup

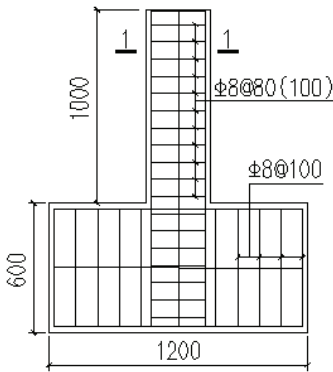


图 2 试件尺寸及截面配筋 (单位 mm)
Fig.2 Sizes and reinforcement sections of specimens

表 1 试件参数
Tab.1 Parameters of specimens

试件编号	剪跨比	箍筋形式	箍筋	P_v (%)	试验轴压比 n_t
P1-80-1	3.0	绑扎	Φ8 @ 80	2.4	0.45
H1-80-1	3.0	焊接	Φ8 @ 80	2.4	0.45
P2-100-1	3.0	绑扎	Φ8 @ 100	1.9	0.45
H2-100-1	3.0	焊接	Φ8 @ 100	1.9	0.45
P3-80-2	3.0	绑扎	Φ8 @ 80	2.4	0.39
H3-80-2	3.0	焊接	Φ8 @ 80	2.4	0.39
P4-100-2	3.0	绑扎	Φ8 @ 100	1.9	0.39
H4-100-2	3.0	焊接	Φ8 @ 100	1.9	0.39
H5-80-3	3.0	焊接	Φ8 @ 80	2.4	0.33

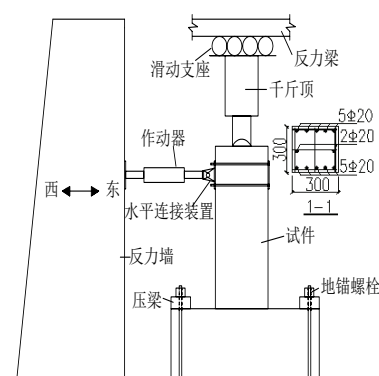
1.2 加载制度

试验采用悬臂式加载^[10-12], 加载装置如图3所示, 首先对试件预施加竖向荷载, 当竖向荷载达到设计值后, 保持竖向荷载在整个实验过程中恒定不变, 然后在柱顶施加水平低周往复荷载, 整个试验过程中采用位移控制加载. 初始水平位移为 0.6 mm, 以 0.3 mm 为级差分级加载, 每级循环一圈; 当位移角接近 1/450 (2 mm) 时, 每级位移幅值增加 3 mm 并往复循环三圈, 直到试件水平承载力下降到峰值承载力的 85% 停止加载. 试验中所有数据均通过 TSD-602 数据采集仪采集.

2 试验现象及破坏形态

试件 H1、H2、H3、H4、H5 裂缝的开展和发展有个共同规律: 在水平位移约为 3.6 mm 时, 出现初始裂缝, 其位置在距柱底约 500 mm 高度范围内的柱正面和背面边缘. 随着荷载的增加, 边缘处的裂缝继续发展延伸, 最下面的裂缝呈水平向延伸至柱脚, 最上面的裂缝由原来的水平裂缝往下斜向延伸; 随着循环次数的增加, 在柱左右两侧不同高度处有数条水平裂缝出现, 同时柱正面左右下边缘出现了数条竖向裂缝, 柱脚受压区混凝土逐渐被压酥, 开始剥落, 随后在柱根部左右两侧 200 mm 范围内出现混凝土大量剥落掉块现象, 直到试件不能继续承载, 即达到破坏. 从试件的破坏形态看出, 各试件发生弯曲破坏.

试件 P1、P2、P3、P4 裂缝趋势共同规律: 在水平位移约为 2 mm 第三圈时, 试件出现初始水平裂缝, 其位置距柱底约 500 mm 处的柱身边缘. 随着荷载的增加, 裂缝缓慢发展延伸, 下部裂缝呈水平向至柱脚处; 随着循环次数的增加, 柱脚左右两侧裂缝继续发展, 部分裂缝斜向下延伸, 柱脚受压区混凝土开始出现竖向裂缝, 剥落; 继续加载, 柱根部混凝土大量掉块, 试验加载至试件不能继续承载, 试件最终发生弯曲破坏, 破坏形态图如下图4所示.



(a) 示意图



(b) 加载装置图

图3 试验加载装置
Fig.3 Test load set-up



图4 试件破坏形态

Fig.4 Failure patterns of specimens

3 试验结果及分析

3.1 滞回曲线

从各试件滞回曲线图可以看出,焊接箍筋混凝土柱比绑扎箍筋混凝土柱的滞回曲线环饱满,说明本次试验中焊接箍筋混凝土柱的耗能性能优于绑扎箍筋混凝土柱,更有利于结构的抗震.从试件 H1、H3、H5 可知,箍筋间距均为 80 mm,即配箍率相同的情况下,随着试件试验轴压比从 0.45—0.39—0.33 变化,滞回曲线越来越饱满,在轴压比为 0.33,配箍率 2.4% 时,试件的滞回曲线接近于梭形,说明随着轴压比的降低,焊接箍筋混凝土柱的耗能能力增强.从试件 H1-H2 的滞回曲线对比中可以看出,试件试验轴压比均为 0.45,试件 H1 的配箍率大于试件 H2,试件 H1 滞回环的饱满程度高于 H2,说明本试验焊接混凝土柱的耗能性能随着配箍率的增大而提高.各试件滞回曲线如图 5 所示.

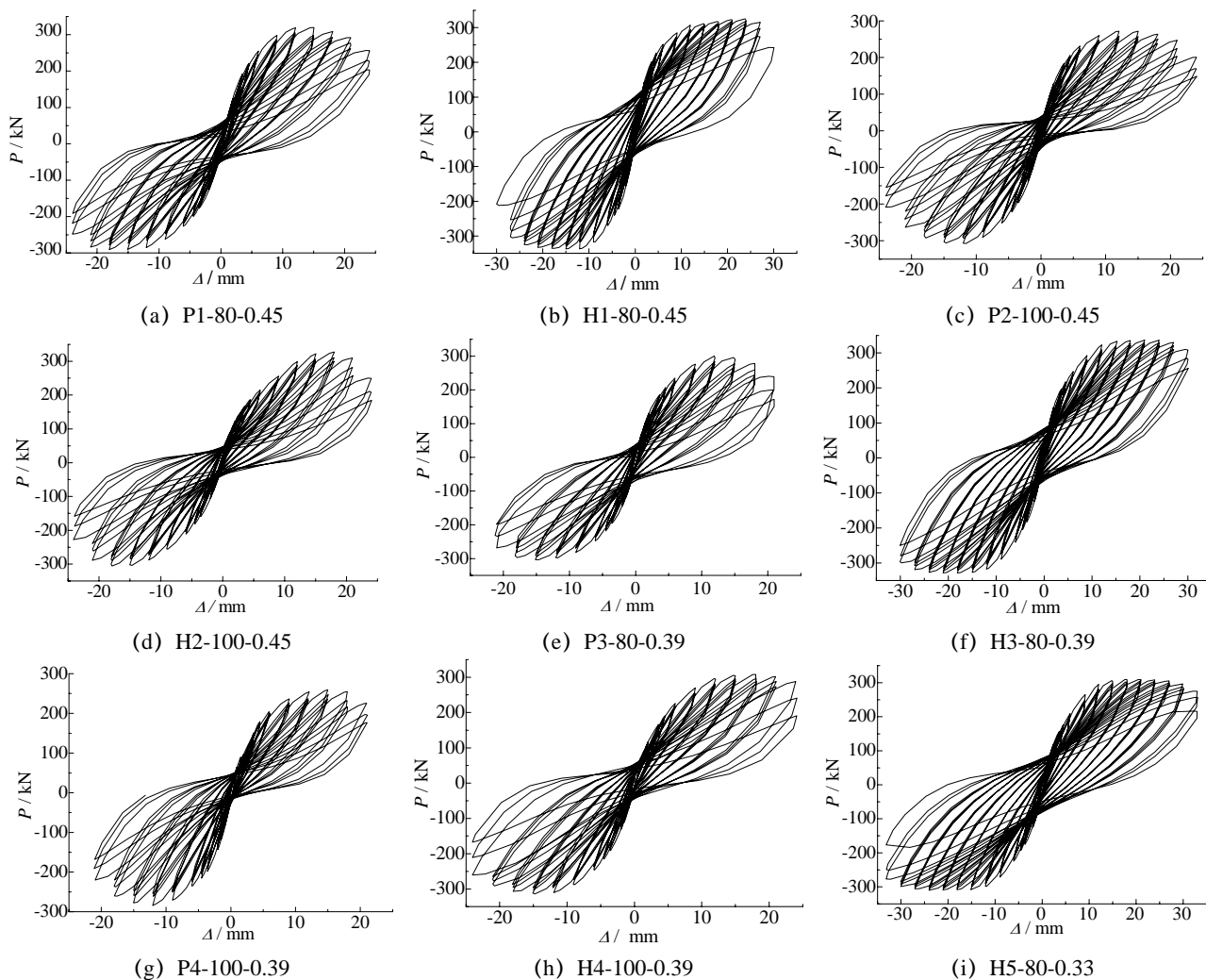


图5 滞回曲线图

Fig.5 Hysteretic loops of specimens

试件在反复加载中,每个加载卸载循环所包围的面积大小等于这一循环中的非弹性变形耗能值,本试验耗能能力强弱用粘滞阻尼系数体现.取各试件屈服-峰值-极限三种状态的耗能能力为各试件耗能代表值.从等效粘滞阻尼系数表 2 可以看出,焊接箍筋混凝土柱和绑扎箍筋混凝土柱在屈服、峰值和极限三种状态的粘滞阻尼系数变化趋势类似,在位移反复推拉过程中,各试件的粘滞阻尼系数逐渐增大,试件的不可恢复变形也越来越大,结构的耗能能力亦增大.在本次试验中,在相同配箍率和相同轴压比下,焊接箍筋混凝土柱滞回环所包围的面积在峰值状态下明显高于绑扎箍筋混凝土柱所包围的滞回环面积,说明焊接箍筋混凝土柱的耗能能力较好,更有利于结构的抗震;各试件从峰值状态直到破坏,焊接箍筋柱比绑扎箍筋柱的粘滞阻尼系数大,其原因可能是由于焊接箍筋在往复推拉过程中,焊接箍筋约束混凝土的效果较好,发挥作用力较大,各试件特征点处等效粘滞阻尼系数见表 2.

表 2 试件特征点处等效粘滞阻尼系数
Tab.2 Energy dissipation ratios of specimens at the feature points

试件编号	屈服状态			峰值状态			极限状态		
	$S_{\text{滞回环}}$	$S_{\text{三角形}}$	h_e	$S_{\text{滞回环}}$	$S_{\text{三角形}}$	h_e	$S_{\text{滞回环}}$	$S_{\text{三角形}}$	h_e
P1	560.73	1 464.36	0.06	2 980.26	4 592.20	0.10	4 682.62	6 055.02	0.12
H1	653.81	1 563.64	0.07	4 369.19	5 874.79	0.12	8 175.22	8 341.39	0.16
P2	554.84	1 460.29	0.06	1 798.76	3 483.97	0.08	3 479.05	5 353.81	0.10
H2	495.18	1 277.15	0.06	3 040.76	5 661.54	0.09	3 883.24	6 289.93	0.10
P3	568.16	1 454.18	0.06	1 744.18	3 559.24	0.08	4 585.80	5 322.23	0.14
H3	529.66	1 477.95	0.06	3 673.85	5 990.42	0.10	7 876.29	4 642.80	0.27
P4	538.24	1 317.31	0.07	1 625.87	3 261.03	0.08	3 035.08	4 669.72	0.10
H4	512.90	1 424.75	0.06	2 368.22	4 632.23	0.08	5 164.07	6 573.26	0.13
H5	512.92	1 301.02	0.06	4 656.72	6 512.60	0.11	9 245.11	9 122.47	0.16

注: $S_{\text{滞回环}}$ 各状态下的滞回环面积, $S_{\text{三角形}}$ 为三角形面积, h_e 为等效粘滞阻尼系数。

3.2 骨架曲线

根据本次试验滞回曲线归纳出各个试件的骨架曲线如图 6 所示。由骨架曲线可以看出, 焊接箍筋混凝土柱与绑扎箍筋混凝土柱相比, 在相同轴压比, 相同配箍率条件下, 两种箍筋形式的骨架曲线形状相似, 变化规律近似, 焊接箍筋柱的峰值承载力比绑扎箍筋柱的峰值承载力稍有提高, 其中在试验轴压比 0.39, 配箍率 1.9% (试件 P4-H4) 时, 焊接箍筋比绑扎箍筋混凝土柱的最大水平承载力提高了 18.6%, 在试验轴压比 0.45, 配箍率 2.4% (试件 P3-H3) 时, 焊接箍筋柱比绑扎箍筋柱的最大水平承载力提高了 12.2%, 在试件达到屈服后, 焊接箍筋柱的水平承载力下降缓慢。由本次试验数据分析可知, 对于焊接箍筋混凝土柱, 在相同试验轴压比下($n=0.39$), 试件 H3、H4 的最大水平承载力分别为 337.2 kN 和 308.1 kN, 最大承载力随着配箍率的提高而增大; 从试件 H1、H3、H5 骨架曲线可以看出, 随着轴压比降低, 试件最大承载力稍有降低。

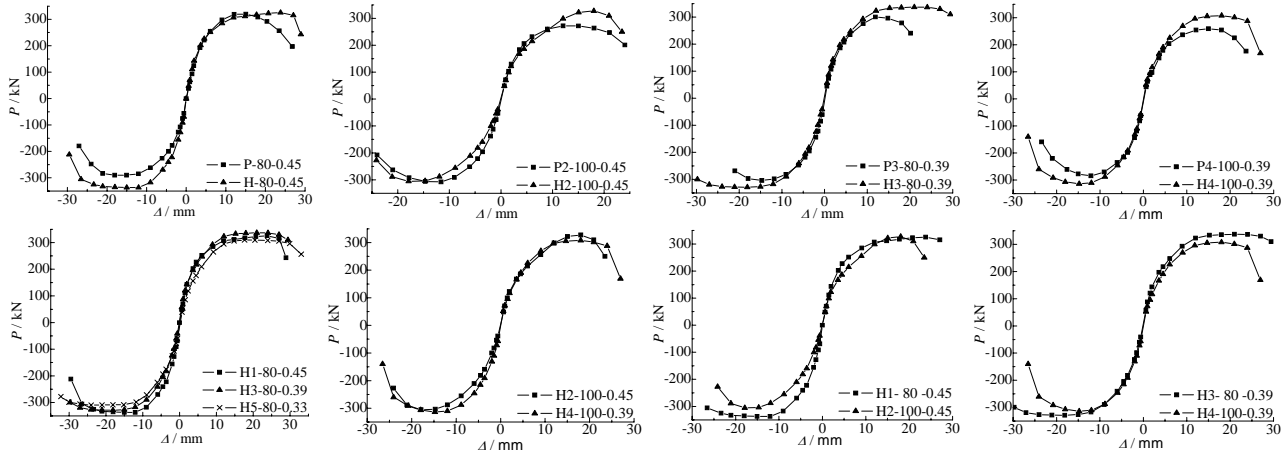


图 6 骨架曲线
Fig.6 Skeleton curves of specimens

3.3 延性指标

为了表示试件达到弹性极限后, 承载力没有明显变化的情况下产生的塑性变形能力, 本文用位移延性系数表示。根据本试验结果分析可知, 焊接箍筋与绑扎箍筋约束的钢筋混凝土柱在正反向的位移延性系数值均在 3.1~5.1 之间, 符合钢筋混凝土抗震结构的延性要求, 而且根据具体的数值可以看出, 在相同的条件下, 焊接箍筋混凝土柱的延性系数稍高于绑扎箍筋混凝土柱, 说明本试验中焊接箍筋柱的抗震性能优于绑扎箍筋柱。针对本试验的焊接箍筋约束混凝土柱各试件的延性系数可以看出, 在相同配箍率下, 试件位移延性系数随着轴压比的减小略有提高, 如试件 H1、H3、H5, 箍筋间距均为 80 mm, 试验轴压比从 0.45—0.39—0.33 变化, 正向延性系数由 4.86—4.90—5.05 变化, 反向延性系数由 4.57—4.78—5.02 变化; 对于轴压比相同的情况下, 试件的位移延性系数随着配箍率的增大而增大, 其一是因为减小箍筋间距即就是减小了纵筋的无支撑长度, 延缓纵筋屈服, 其二是因为配箍率的提高, 混凝土的受压应力应变下降缓慢, 两个原因可能提高焊接箍筋柱的延性。具体根据能量法计算位移延性比见表 3。

根据本试验数据分析, 对于焊接箍筋约束的混凝土柱, 试件达到极限状态时, 极限位移角接近于结构抗震设计规定的极限位移角 1/50; 在轴压比相同的条件下, 焊接箍筋柱达到破坏时的极限位移角大于绑扎箍筋柱。具体数值变化见表 4。

根据本试验中两种箍筋形式低周反复试验结果对比, 造成这些差异的原因可能有以下几点: ①试件在

浇筑过程中, 焊接箍筋比绑扎箍筋易于浇筑, 其浇筑质量可能较好, 使纵筋箍筋与混凝土之间的粘结效果较好, 故导致焊接箍筋混凝土柱在低周反复作用下的滞回曲线饱满, 延性系数较大; ②由于焊接箍筋将混凝土分隔在小区域内, 其约束混凝土的效果可能比绑扎箍筋约束混凝土效果好, 导致焊接箍筋柱在本次试验中的抗震性能优于绑扎箍筋混凝土柱; ③在本次试验过程中, 在试件接近屈服时, 绑扎箍筋的弯钩可能被拉平, 导致其承载能力下降, 相比焊接箍筋, 其焊接处尚未发生断裂脱开, 故其承载力较高。

表 3 各试件的延性系数
Tab.3 Ductility ratios of specimens

试件 编号	正向加载							反向加载						
	P_y /kN	Δy /mm	P_m /kN	Δm /mm	P_u /kN	Δu /mm	延性 系数	P_y /kN	Δy /mm	P_m /kN	Δm /mm	P_u /kN	Δu /mm	延性 系数
P1	255.64	6.16	319.76	15.06	271.80	22.14	3.59	-181.41	-6.36	-209.35	-18.05	-177.94	-27.12	4.26
H1	246.92	5.77	316.03	23.78	276.91	28.06	4.86	-260.42	-5.94	-325.24	-12.05	-286.61	-27.15	4.57
P2	216.59	6.93	272.00	12.07	231.20	22.07	3.19	-245.17	-5.72	-307.74	-11.61	-261.58	-21.11	3.69
H2	244.12	5.75	327.76	18.03	278.60	22.28	3.87	-235.26	-5.89	-305.47	-17.90	-259.65	-22.52	3.82
P3	229.49	5.68	300.55	11.89	255.47	19.32	3.40	-234.24	-5.38	-304.00	-14.96	-258.40	-22.14	4.11
H3	255.71	6.61	337.22	21.00	286.63	32.41	4.90	-253.83	-6.82	-328.94	-18.08	-279.60	-32.58	4.78
P4	204.79	5.93	259.60	14.99	220.66	21.25	3.58	-221.63	-5.00	-284.66	-12.08	-241.96	-19.13	3.82
H4	233.27	6.11	308.01	18.02	261.80	24.61	4.03	-245.11	-5.88	-313.86	-14.78	-266.78	-23.36	3.98
H5	235.58	6.45	309.93	17.65	263.44	32.55	5.05	-235.39	-6.72	-309.98	-24.03	-263.48	-33.74	5.02

注: P_y 为试件的屈服荷载, Δy 为试件的屈服位移; P_m 为试件的峰值荷载, Δm 为峰值荷载对应的峰值位移; P_u 为试件的极限荷载, Δu 为极限位移。

表 4 各试件平均荷载和侧移角
Tab.4 Average loads and rotation angle of specimens

试件编号	Δy /mm	Δu /mm	P_y /kN	P_u /mm	P_u/P_y	$\Delta u/H$	试件编号	Δy /mm	Δu /mm	P_y /kN	P_u /mm	P_u/P_y	$\Delta u/H$
P1	6.26	16.55	218.52	264.55	1.21	1/54	H3	6.71	19.54	254.77	333.08	1.31	1/46
H1	5.85	17.91	253.67	320.63	1.26	1/50	P4	5.47	13.53	213.21	272.13	1.28	1/67
P2	6.32	11.84	230.88	289.87	1.26	1/76	H4	5.99	16.40	239.19	310.93	1.30	1/55
H2	5.82	17.96	239.69	316.62	1.32	1/50	H5	6.58	20.84	235.48	309.95	1.32	1/43
P3	5.53	13.43	231.86	302.28	1.30	1/67	/	/	/	/	/	/	/

注: Δy 为试件的平均屈服位移; Δu 正反向平均极限位移, P_y 为试件的正反向平均屈服荷载, P_u 正反向平均极限荷载, H 为试件高度, $\Delta u/H$ 为侧移角。

3.4 刚度退化

本试验中试件的刚度退化用环线刚度表示. 图 7 为不同约束条件下焊接箍筋混凝土柱环线刚度退化对比图. 从图中可见, 焊接箍筋混凝土柱在水平位移较小时, 试件的环线刚度退化较快, 由于开始加载时, 试件侧面混凝土出现受拉裂缝, 导致截面刚度减小, 故而刚度随着水平位移的增大而减小; 随着位移的增大, 水平荷载增加, 裂缝继续向试件内部发展, 所以试件的刚度退化较缓慢. 即在各试件的开裂-屈服-破坏过程中, 随着位移的增大, 裂缝持续延伸发展, 导致试件的刚度逐渐降低. 从试件 H1、H3、H5 的刚度退化曲线可以看出, 在同等配箍率下, 焊接箍筋混凝土柱的环线刚度随着试验轴压比的降低刚度退化缓慢; 从试件 H1(H-80-0.45)、H2(H-100-0.45)可以看出, 在同等轴压比下, 焊接箍筋混凝土柱随着配箍率的增大, 刚度退化缓慢.

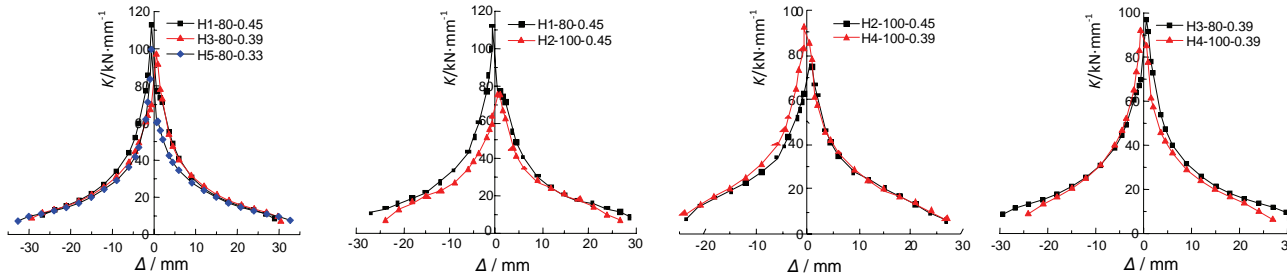


图 7 刚度退化
Fig.7 Stiffness degradation

4 结论

通过完成 4 个绑扎箍筋混凝土柱和 5 个焊接箍筋混凝土柱的低周反复试验, 对试验现象和试验结果进行综合分析, 得到以下几点结论:

- (1) 本试验中, 从试验现象和试件最终破坏形态可以看出, 采用焊接箍筋的混凝土柱和绑扎箍筋的混凝土柱均发生了弯曲破坏;
- (2) 在低周反复水平加载下, 焊接箍筋混凝土柱比绑扎混凝土柱的抗震性能有所提高, 位移延性、

弹塑性变形能力、耗能能力有所改善,焊接箍筋混凝土柱的滞回曲线较为理想,耗能能力增强,试件的延性有所提高,最大承载力较大,刚度退化平缓;

(3) 在相同的轴压比下,焊接箍筋混凝土柱的耗能能力随着配箍率的增大而增强,延性随着配箍率的增大而提高;

(4) 在相同的配箍率下,焊接箍筋混凝土柱的耗能性能随着轴压比的增加而降低,位移延性系数随着轴压比的增加而降低.

参考文献 References

- [1] 王铁宏. 亟需推广应用高强钢筋和高性能混凝土[J]. 建设科技, 2005(6): 28-29.
WANG Tiehong. Extending the application of the high-strength steel bars and high-performance concrete[J]. Construction Engineering, 2005(6): 28-29.
- [2] 张剑. 推广高强钢筋与高性能混凝土对建筑业的积极影响[J]建筑, 2010(24): 21-24.
ZHANG Jian. Promotion of high strength steel and the positive influence to the instruction of high performance concrete[J]. Architecture and Construction, 2010(24): 21-24.
- [3] 杨秀敏, 杨力列. 焊接封闭环式箍筋应用技术[J]. 广东土木与建筑, 2003(5): 41-43.
YANG Xiumin, YANG Lilie. Welding sealing ring hoop reinforcement application technology[J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2010(24): 21-24.
- [4] 李升才, 罗小庆, 章炯. 焊接环式箍筋约束高强砼柱裂缝开裂[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2010, 31(4): 458-462.
LI Shengcai, LUO Xiaoqing, ZHANG Jiong. Welding ring hoop confined high strength concrete of fracture crack[J]. Journal of Huaqiao University: Natural Science, 2010, 31(4): 458-462.
- [5] 郭忠贤, 杨志红. 配有方形螺旋箍筋柱箍筋受力性能分析[J]. 工程力学, 2001(S1): 364-368.
GUO Zhongxian, YANG Zhihong. Equipped with a square spiral stirrups column stirrup stress performance analysis[J]. Engineering Mechanics, 2001(S1): 364-368.
- [6] 姜维山, 白国良. 配复合箍、螺旋箍、X形筋砼短柱的抗震性能及抗震设计[J]. 建筑结构学报, 1994, 15(1): 2-15.
JIANG Weishan, BAI Guoliang. Seismic behavior and structural design of RC stub columns with tied stirrups, spiral stirrups and X-shape bars[J]. Journal of Building Structures, 1994, 15(1): 2-15.
- [7] 翁义军, 沈聚敏, 马宝国. 复合箍对钢筋混凝土柱延性的改善[J]. 建筑结构学报, 1985, 6(1): 41-47.
WENG Yijun, SHEN Jumin, MA Baoguo. The improvement of the ductility of reinforced concrete column composite straps[J]. Journal of Building Structures, 1985, 6(1): 41-47.
- [8] 韩小雷, 戚永乐. CRB550 级箍筋混凝土柱抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2011, 32(12): 2365-241.
HAN Xiaolei, QI Yongle. Studies on the seismic behavior of concrete columns with CRB500[J]. Journal of Building Structures, 2011, 32(12): 235-241.
- [9] 司炳君, 孙治国, 王东升, 等. 高强箍筋约束高强混凝土柱抗震性能研究综述[J]. 土木工程学报, 2009, 42(4): 1-9.
SI Bingjun, SUN Zhiguo, WANG Dongsheng, et al. Review of studies on the seismic behavior of high strength concrete columns with high strength transverse reinforcement[J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(4): 1-9.
- [10] 李忠献. 工程结构试验理论与技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004.
LI Zhongxian. Engineering structure test theory and technology[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2004.
- [11] 过镇海, 时旭东. 钢筋混凝土原理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
GUO Zhenhai, SHI Xudong. Reinforced concrete theory and analyze[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [12] 中国建筑科学研究院. JGJ 101-1996 建筑抗震试验方法规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
China Academy of Building Research. JGJ 101-1996 Procedures of the a seismic test method[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1997.

Experimental study on seismic performance of reinforced concrete frame columns with welding stirrups

YANG Yong¹, ZHANG Xuezhao¹, JIAO Weili^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China
2. Northwest Branch China Construction Science Research Institute, Xi'an 710055, China)

Abstract: Through low cyclic horizontal loading tests about the four reinforced concrete column with tie stirrup and five with welding stirrups, the effects of welding stirrups and tie stirrups on the seismic performance of reinforced concrete columns have been compared, and the performance of welding stirrups confined reinforced concrete columns in the earthquake have been explored. According to test results, this paper analyzed the hysteresis curves and skeleton curves about welding stirrups confined reinforced concrete columns. The influence of energy dissipation, ductility performance and stiffness degradation about welding stirrups confined reinforced concrete columns at different axial compression ratios and stirrup ratios are derived. Under the low reversed cyclic loading, to welding stirrups constraint reinforced concrete columns, the energy dissipation capacity enhancement and displacement ductility will increase as the axial compression ratios decreased. At the same axial compression ratio, the energy dissipation capacity and displacement ductility increased with the stirrup ratios.

Key words: welding stirrups; reinforced concrete; frame columns; seismic performance; experimental study

(本文编辑 桂智刚)