

焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱抗震性能试验研究

杨 勇，于云龙，高德亮，薛建阳

(西安建筑科技大学土木工程学院，陕西 西安 710055)

摘要：为研究焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱的抗震性能，首先进行了 5 根配置焊接复合箍筋的钢筋混凝土短柱和 3 根普通箍筋的钢筋混凝土短柱（作为对比）抗震拟静力试验，并对其破坏形态、滞回曲线、骨架曲线、延性及耗能指标、强度刚度退化、抗剪承载力等进行了对比分析。结果表明，焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱与普通箍筋短柱的抗震性能各项指标两者基本一致或稍有提高，其中破坏过程相似，呈现出剪切破坏及部分剪切粘结型破坏形态，各构件滞回曲线表现出明显的“捏拢”效应，延性、耗能能力及强度刚度退化速度两者相当，同时均为明显的脆性破坏，但其位移延性均在 3.58~5.52 之间，表现出较好的延性抗震能力，表明焊接复合箍筋可用于工程实践和推广。

关键词：焊接复合箍筋；钢筋混凝土短柱；抗震性能；抗剪承载力

中图分类号：TU 375 **文献标志码：**A **文章编号：**1006-7930(2014)04-0466-08

钢筋混凝土结构箍筋焊接技术是指把传统的箍筋弯钩形式取代以焊接连接，其焊接箍筋技术可以全采用电阻点焊的形式或者外围采用闪光对焊中间复合箍筋处采用电阻点焊的形式构成。箍筋焊接后在节约箍筋用量、加快施工速度、利于工业化生产和提高混凝土柱特别是节点处的浇筑质量方面具有明显优势。目前箍筋闪光对焊技术应用已经十分广泛，并有相关的技术规程进行施工质量指导和约束；但是复合箍筋电阻点焊技术国内却少有研究和工程实践，同时国内外历次大地震后进行的灾害调查表明，短柱的剪切破坏现象十分严重，它的破坏是钢筋混凝土框架结构破坏甚至倒塌的重要原因^[1]，因此有关短柱的试验及理论研究一直以来都具有极为重要的意义，本文对焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱抗震性能进行了研究，为促进此种复合箍筋焊接技术在工程实践中的应用提供理论参考依据和指导。

1 试验研究

1.1 试件设计

本次试验研究共设计了 5 个配置焊接复合箍筋的钢筋混凝土短柱试件，作为对比，又设计了 3 个普通复合箍筋混凝土短柱试件，钢筋的材料参数见表 1，试件编号及试件设计详细情况及箍筋焊接形式见图 1 及表 2。

表 1 钢筋的材料参数

Tab.1 Properties for reinforcing steel

类型	钢筋级别	屈服强度/MPa	极限强度/MPa	弹性模量/MPa
焊接箍筋	Φ8	602	690	2.10×10^5
普通箍筋	Φ8	571	672	1.91×10^5
纵向钢筋	Φ32	540	943	1.90×10^5

表 2 试件设计详表

Tab. 2 Design details of specimens

编号	截面尺寸/mm	有效高度/mm	剪跨比	混凝土强度/MPa	纵向受力配筋		箍筋		试验轴压比
					配筋	配筋率 ρ_l (%)	配筋	配筋率 ρ_v (%)	
P1	350×350	700	2.0	35.6	10Φ32	6.89	Φ8@150	0.49	0.36
H2	350×350	700	2.0	35.6	10Φ32	6.89	Φ8@150	0.49	0.36
P3	350×350	700	2.0	35.6	10Φ32	6.89	Φ8@150	0.49	0.28
H4	350×350	700	2.0	35.6	10Φ32	6.89	Φ8@150	0.49	0.28
P5	350×350	700	2.0	26.8	10Φ32	6.89	Φ8@100	0.74	0.48
H6	350×350	700	2.0	26.8	10Φ32	6.89	Φ8@100	0.74	0.48
H7	350×350	700	2.0	26.8	10Φ32	6.89	Φ8@150	0.49	0.48
H8	350×350	525	1.5	26.8	10Φ32	6.89	Φ8@100	0.74	0.48

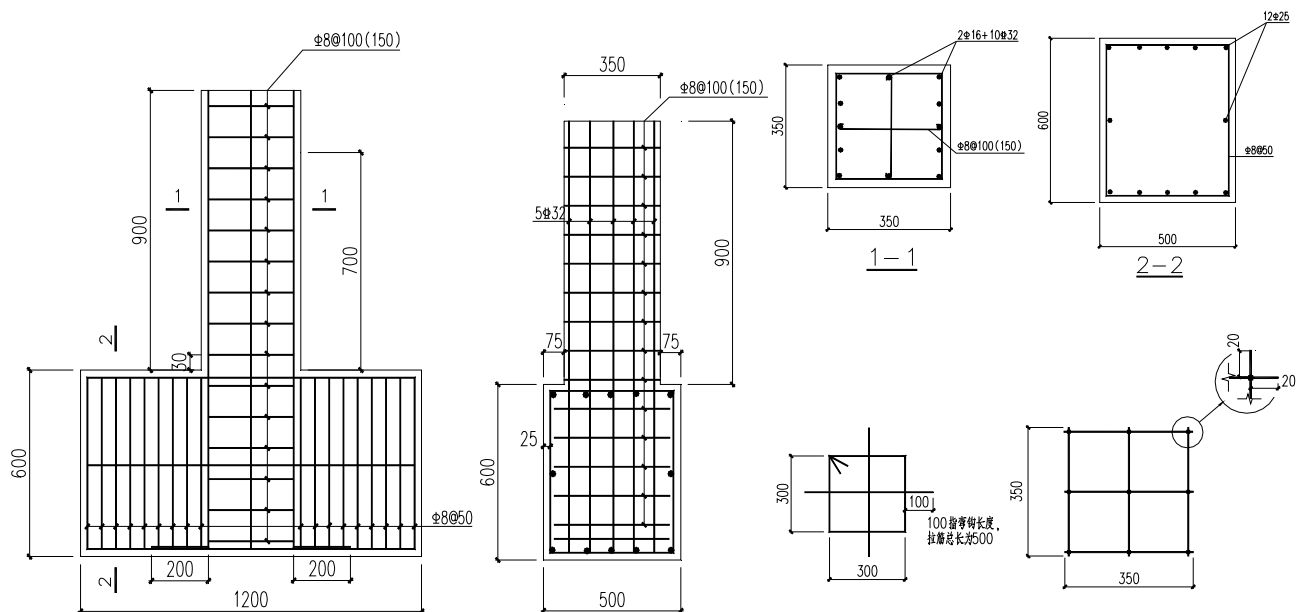


图1 试件构造示意图

Fig.1 Design details of specimens

注: P1、P3 和 P5 试件为普通复合箍筋钢筋混凝土短柱试件, 其余均为焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱试件(H), 设计轴压比和试验轴压比之间的关系为 $n = 1.68n_t$ 。

1.2 加载和测量方案

本次试验是在西安建筑科技大学土木工程试验研究中心进行的, 采用低周反复加载方式, 试验装置见图 2 所示。液压千斤顶对构件施加轴向恒定荷载, 然后确保该荷载值不变, 水平作动器施加往复水平荷载。水平荷载采用位移控制, 其数据由 MTS 作动器内部系统自动记录; 各纵筋箍筋应变片数据以及柱角测量剪切变形而设置的位移计数据采集均由 TDS-602 静态应变仪采集系统自动采集; 初始弹性阶段每级位移循环一次, 构件屈服后位移往复循环 3 次, 直到试件的水平承载力下降到最大水平荷载的 85% 或试件不能再承担预定轴压力时结束试验。



图2 试验装置

Fig.2 Test setup

2 试验结果

2.1 短柱破坏现象

加载初始阶段, 为混凝土裂缝发展阶段, 此时柱纵筋部位保护层和核心混凝土均参加工作, 在柱根部位均不同程度出现短的横向裂缝, 随着荷载的增加, 横向裂缝延伸并斜向发展, 同时在垂直于加载方向的截面上水平裂缝和柱侧面的斜裂缝逐步扩展; 随着侧向位移的增大, 短柱进入延性发展阶段, 1~4 号钢筋混凝土短柱侧面剪切斜裂缝发展明显, 一般形成 1~2 道主剪裂缝, 沿纵筋虽有混凝土的粘结劈裂裂缝但未构成主要破坏, 箍筋应变均超过 3000 微应变, 已达到屈服, 短柱呈剪切破坏形态; 5~8 号短柱由于箍筋和轴压比较大, 混凝土保护层较薄, 混凝土强度相比于前 4 根短柱较低, 当水平荷载达到最大值的 75% 左右时, 混凝土沿纵筋表面劈裂, 并不断延伸, 随后出现近似竖向或斜向的短细裂缝, 荷载继续增大, 混凝土与纵向钢筋的粘结作用遭到破坏, 使两者产生滑移, 影响了剪应力的传递, 使纵筋部位的混凝土产生应力集中, 在荷载不断增加的过程中使混凝土的主拉应力达到其极限抗拉强度时便产生一系列短而斜的粘结裂缝, 试件角部混凝土大片剥落, 随着荷载的增加与反复, 各处的粘结裂缝贯通, 构件承载力降低直至柱子破坏, 试件虽有剪切裂缝但最终由纵筋的粘结破坏控制, 箍筋应变均低于 3 000 微应变未屈服, 呈现出剪切粘结破坏形态。从试验纵筋应变数据可以得知纵筋都未屈服, 达到防止弯曲破坏的目的。各短柱的破坏形态如下图 3 所示。

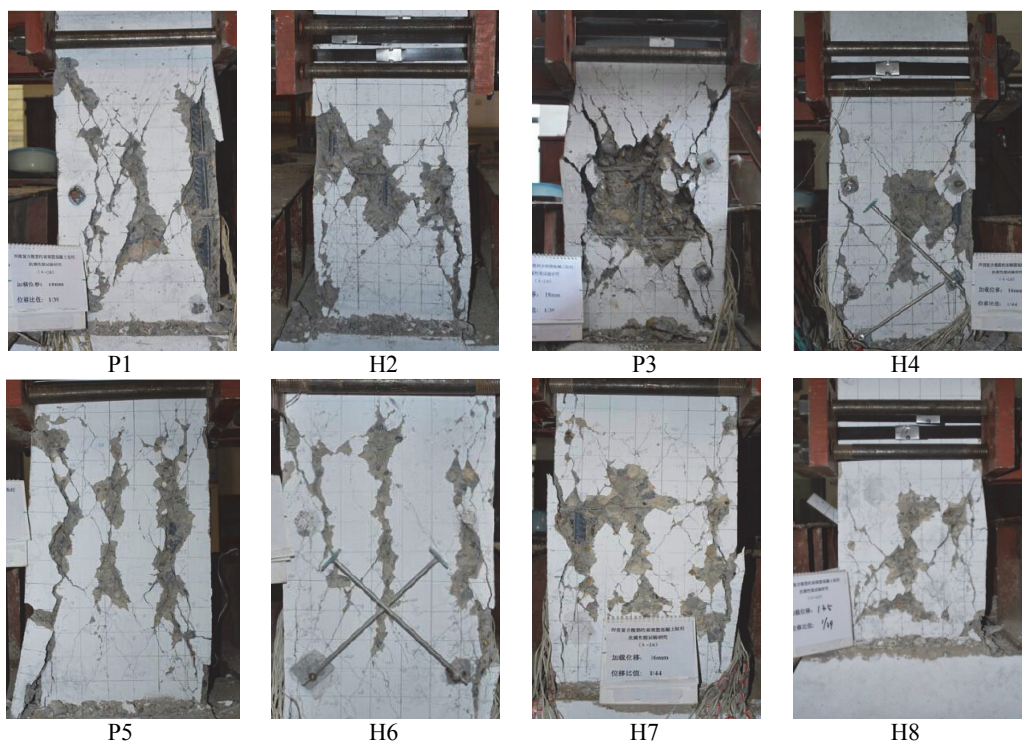


图 3 短柱的破坏形态
Fig.3 The failure patterns of short columns

2.2 短柱滞回曲线及骨架曲线

各试件的侧向荷载 P 和柱顶位移 Δ 滞回曲线见图 4, 由于试件发生剪切破坏及剪切粘结破坏, 各曲线的“捏拢”效应明显, 且滞回曲线均呈现弓形, 直观耗能性能差, 刚度强度退化迅速。

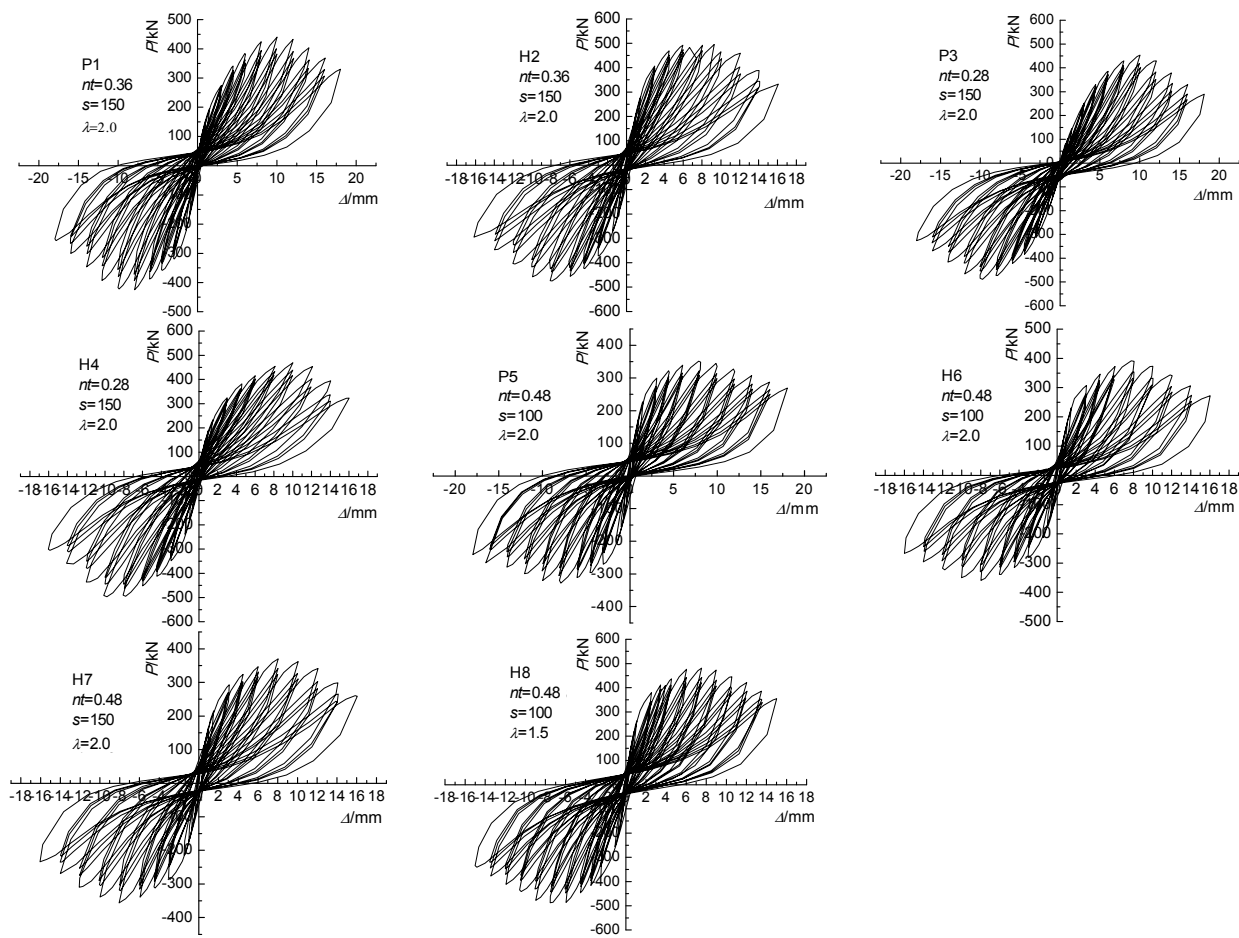


图 4 短柱的滞回曲线
Fig.4 The hysterrtic curves of short columns

滞回曲线峰值点的连线(外包线)即为骨架曲线见图5,骨架曲线上能够反映出结构或构件的屈服位移和屈服荷载、极限位移、极限荷载和延性等性能指标,这些都是衡量焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱抗震性能的重要指标;另外,从图6中可以发现,焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱与普通复合箍筋短柱的滞回曲线基本一致,并无明显的饱满程度上的差别;同时从图5(a)和(b)两幅图中可以发现,焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱在相同条件下的最大水平荷载承载力均大于普通复合箍筋钢筋混凝土短柱,图5(c)中的焊接复合箍筋短柱的最大水平荷载承载力则随着剪跨比的增大有降低的趋势。同时由于焊接箍筋和普通箍筋屈服强度有30 MPa的差别,反应到整体抗震性能上差别不是很大,以下分析焊接复合箍筋短柱和普通复合箍筋短柱抗震性能区别时均忽略不计。

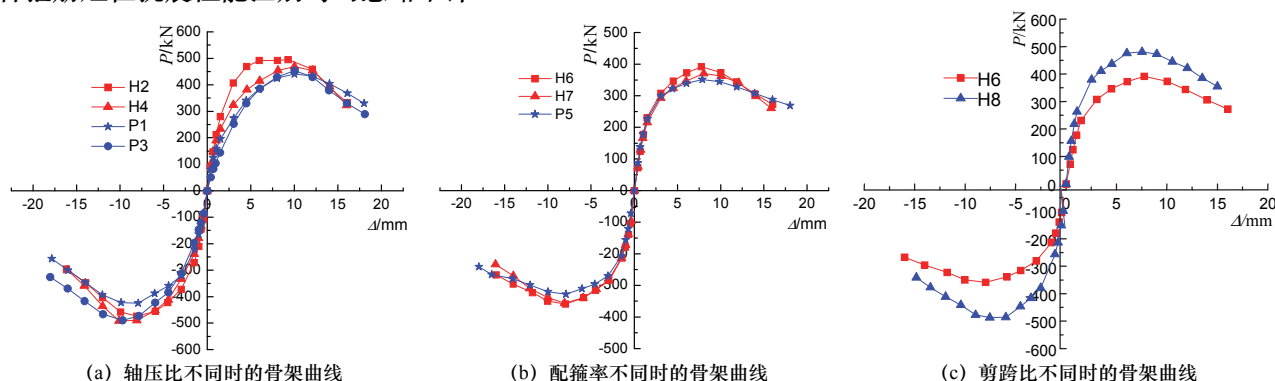


图5 短柱的骨架曲线

Fig.5 The skeleton curves of short columns

3 短柱抗震能力分析

3.1 延性及耗能分析

采用国内外应用较为广泛的延性及耗能指标^[11]对各短柱延性抗震能力进行对比分析,各指标定义详见图6示,计算得到的短柱屈服位移、极限位移、位移延性系数列于表3中,等效粘滞阻尼系数计算后直观绘制于图7中。

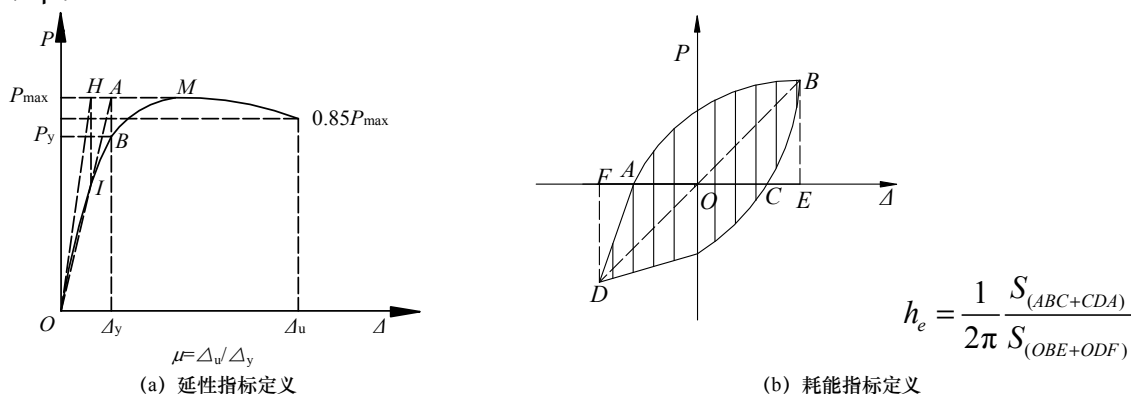


图6 短柱延性及耗能指标的定义

Fig.6 Definition of the ductility and dissipated energy parameters for short columns

从表3可以发现, H2和P1、H4和P3相比,焊接复合箍筋短柱的延性比普通复合箍筋短柱较好; H6和P5从反向位移延性来看两者相差不大,正向位移延性在没有排除试验数据和处理误差的情况下表现出明显的延性差别。总体来看,焊接复合箍筋约束下的钢筋混凝土短柱比普通钢筋混凝土短柱表现出较好的位移延性,各焊接复合箍筋短柱的位移延性均3.58~5.52之间,表现出较好的延性抗震能力。另外,从表3数据可以看出,焊接复合箍筋短柱的位移延性随着轴压比和配箍率的变化规律与普通复合箍筋短柱基本一致。从试件H6和H7比较可以看出,柱反向位移延性随配箍率的增大有增大趋势;通过对比试件H6和H8可以看出,随剪跨比增大,位移延性也相应提高。但是,从试件H2, H4和H6,试件P1, P3和P5的延性变化规律来看,试件位移延性却随着轴压比的增大有增大趋势,这与以前相关研究结果矛盾。试验最大轴压比为0.48,相当于设计轴压比为0.810,在高轴压比下仍具有较好延性的原因可能是由于纵筋配筋率较大,若按考虑纵筋计算轴压比,则混凝土实际轴压比偏低,而在较低轴压比下,轴压力增加可以有效提高短柱抗剪性能,从而改善焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱的延性性能。

从图 7 可看出,焊接复合箍筋短柱的耗能性能在后期上升段均表现出比普通复合箍筋短柱较好的耗能性能. 试验初期所有试件的阻尼系数都很小, 大约都在 0.06~0.15 之间, 当水平位移逐渐增大时, 所有试件的阻尼系数都线性降低, 主要因为加载初期, 随着位移的加大, 剪切斜裂缝数量增多, 短柱耗能能力逐渐减弱. 在位移为 3.0 mm (剪跨比为 2.0 时约为 2.5 mm) 时是位移控制加载循环开始阶段, 此时纵筋与混凝土之间的粘结力随着往复荷载滑移, 粘结裂缝发展迅速, 曲线出现转折点, 随后短柱耗能均有所增加, 并可以发现随着轴压比的增大耗能减弱, 而配箍率和剪跨比的增大却能有效提高短柱后期的耗能性能.

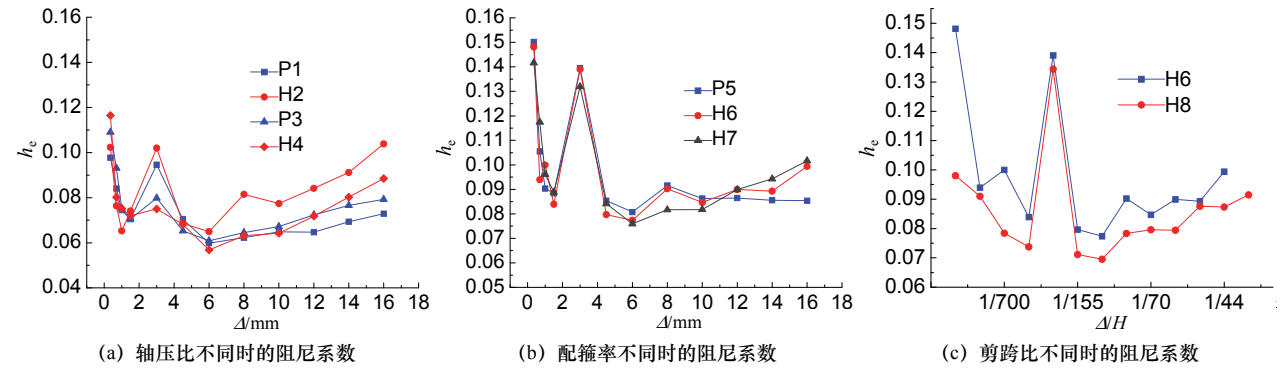


图 7 短柱等效粘滞阻尼系数对比
Fig.7 Comparison of the equivalent viscous damping coefficient

表 3 短柱延性指标的对比
Tab.3 Comparison of the RC ductility parameters

试件编号	屈服荷载 P_y /kN	屈服位移 Δ_y /mm	峰值荷载 P_m /kN	峰值位移 Δ_m /mm	极限荷载 P_u /kN	极限位移 Δ_u /mm	延性系数 μ	延性系数 平均值
P1	正向 322.6	4.08	440.6	10.00	374.5	15.69	3.85	3.87
	反向 332.8	3.43	424.4	7.93	360.7	13.34	3.89	
H2	正向 416.5	3.23	494.8	9.29	420.6	13.15	4.07	4.13
	反向 362.5	2.87	473.7	8.08	402.6	12.02	4.19	
P3	正向 374.7	5.73	453.8	10.05	385.7	13.74	2.40	2.79
	反向 382.0	4.42	489.2	9.72	415.8	14.05	3.18	
H4	正向 341.0	3.47	469.0	10.03	398.7	13.89	4.00	3.62
	反向 379.2	3.85	490.9	10.13	417.3	12.50	3.25	
P5	正向 271.7	2.48	351.6	7.89	298.9	14.09	5.68	5.52
	反向 258.1	2.75	328.1	7.91	278.9	14.75	5.36	
H6	正向 312.4	3.22	391.6	7.76	332.9	12.49	3.88	4.52
	反向 263.8	2.56	359.1	7.97	305.2	13.20	5.16	
H7	正向 294.7	3.16	370.4	8.05	314.8	13.33	4.22	4.63
	反向 262.8	2.45	356.3	8.06	302.9	12.37	5.05	
H8	正向 367.6	3.39	480.5	7.55	408.4	12.59	3.71	3.58
	反向 371.1	3.42	487.0	7.53	414.0	11.77	3.44	

3.2 短柱的刚度退化

为了描述焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱的刚度退化规律, 每级循环的割线刚度可以由每级循环荷载作用下正、负方向荷载的绝对值之和与相应的正、负方向位移的绝对值之和的比值得出, 用 K 表示为如下公式 (1) 所示:

$$K = \frac{|+P_i| + |-P_i|}{|+\Delta_i| + |-\Delta_i|}$$

(1)

式中: $+P_i$ 和 $-P_i$ 分别表示第 i 次循环的最大正向和负向荷载; $+\Delta_i$ 和 $-\Delta_i$ 为其对应的位移值. 同时各短柱试件的刚度随加载位移变化规律见图 8 所示.

从图 8 (a) 可以看出, 在加载位移达到 9mm 之前, 由于沿纵筋部位细微粘结裂缝以及截面斜裂缝的迅速发展, 加速了短柱刚度退化速度, 同时普通复合箍筋短柱比焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱的刚度退化速度快; 位移达到 9mm 以后, 短柱的剪切破坏基本完成, 箍筋已经屈服, 剪力由截面核心混凝土继续承

担,四个短柱的刚度退化速度基本一致;同时随着轴压比的增大,刚度退化速度都有所降低,原因可能是轴向力限制了斜裂缝的发展,从而延缓了其刚度退化速度;从此图中我们可以得出,在短柱受力初始阶段,焊接复合箍筋比普通复合箍筋能延缓短柱的刚度退化速度.图8(b)中焊接复合箍筋短柱与普通短柱的刚度退化曲线基本一致,可能由于纵筋粘结破坏的原因,配箍率的提高在短柱剪切粘结破坏中没能有效的发挥延缓刚度退化的优势.图8(c)代表了不同剪跨比条件下的试件刚度退化对比示意图,可以看出,剪跨比较小的焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱 H8 的刚度退化速度比 H6 前期退化较快,后期两者相比不是十分明显但仍可以看出 H8 的退化速度较快.

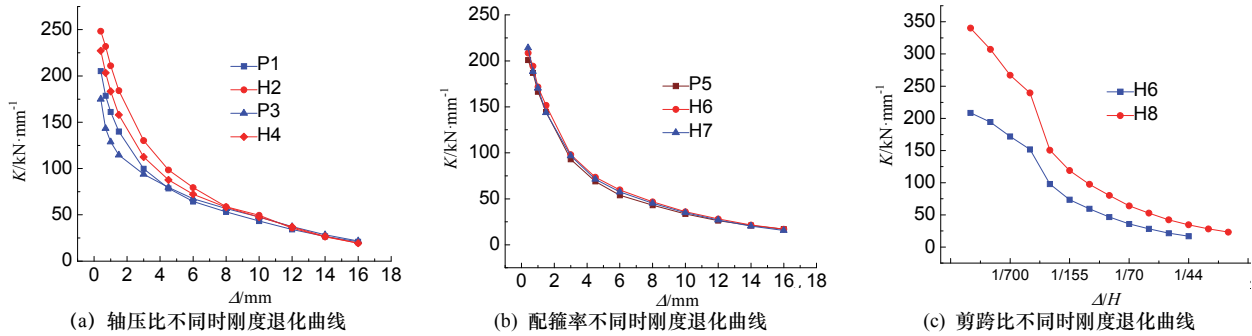


图8 短柱刚度退化对比

Fig.8 Comparison of the Stiffness degradation for short columns

3.3 短柱的强度衰减

焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱在循环反复荷载作用下,某一级位移幅值下,其峰值荷载随着循环次数的增加而下降的现象称为强度退化,在水平反复荷载和竖向荷载共同作用下,试件的强度不断退化,通常可以用各级荷载下第3次循环和第1次循环承载力的比值来表示各试件强度退化规律,用强度退化系数 λ_i 表示,见公式(2)^[12-13]:

$$\lambda_i = P_{i,3}/P_{i,1} \quad (2)$$

式中: $P_{i,3}$ 、 $P_{i,1}$ 分别为第 i 级位移加载时第3次循环和第1次循环的水平荷载,为了消除正、反的不对称影响,这里的系数采用正、反向的平均数.各焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱和普通复合箍筋钢筋混凝土短柱的强度衰减曲线见图9所示.

从图9(a)中纵向焊接复合箍筋短柱对比可以发现,随着轴压比的增大强度衰减变缓, P1 和 H2 对比得知,焊接复合箍筋短柱比普通复合箍筋短柱强度衰减较慢;图9(b)中配箍率的提高没有延缓短柱剪切粘结破坏时强度的衰减速度表现出普通复合箍筋短柱却比焊接复合箍筋短柱要好,综合来看,焊接和普通复合箍筋短柱两者的强度衰减相差不大.图9(c)中剪跨比较大的短柱剪切粘结破坏时强度衰减明显,其不同于剪切破坏强度衰减规律的原因仍可能由于纵筋配筋率过大的缘故.各图横向来看,每个短柱其强度衰减明显并随着循环位移的加大而加快.同时,焊接复合箍筋短柱与普通复合箍筋短柱相比,随位移的加大,强度衰减速度基本一致.

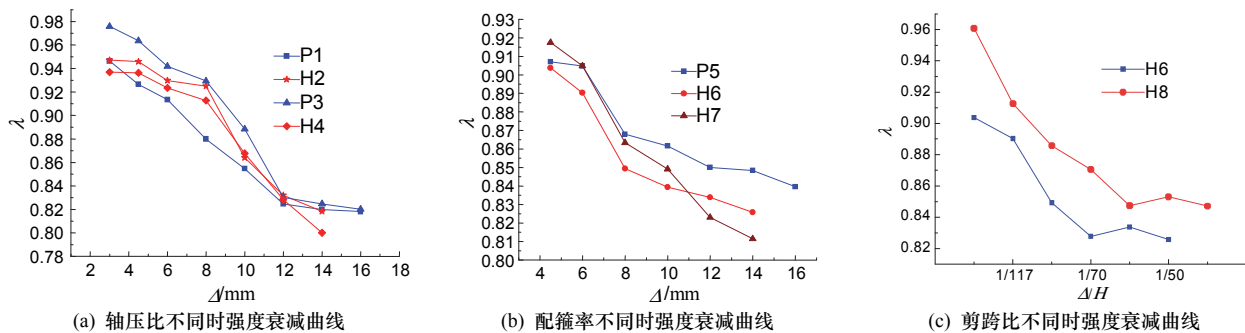


图9 短柱强度衰减对比

Fig.9 Comparison of the bearing capacity degradation for short columns

3.4 短柱的抗剪承载力分析

(1)我国混凝土结构设计规范(GB50010-2010)给出偏心受压柱斜截面受剪承载力计算公式为^[14]:

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda+1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.07 N \quad (3)$$

(2) 美国 ACI318-05 规范^[15]规定的柱抗剪承载力计算公式为:

$$V = V_c + V_s \quad (4)$$

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N}{14 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b h_0 \quad (5)$$

$$V_s = \frac{A_{sv} f_{yv} h_0}{s} \quad (6)$$

由于剪切粘结破坏机理较为复杂,按剪切粘结破坏建立受剪承载力计算公式比较复杂,且考虑到剪切粘结破坏和剪压破坏二者的斜截面承载能力相差不大,因此,本文暂按剪压破坏给出斜截面受剪承载力计算公式,以上式中的参数见各对应规范.现将实测混凝土抗压强度、箍筋屈服强度(未屈服的代入实测箍筋最大受力值)以及按规范规定的公式换算的圆柱体抗压强度、混凝土抗拉强度带入式(3)与式(4)进行计算,其值分别用 V_{1c} 和 V_{2c} 表示,试验值用 V_t 表示,并一起列于表4中.

将本文试件最大抗剪承载力与以上两式计算的结果进行对比,发现各短柱试件的实测抗剪承载力大部分均高于采用规范公式计算所得的值,但是由于剪切破坏是脆性破坏,其规范规定的可靠度要求比较高,规范公式实际是取了下限值,所以用规范公式计算的短柱抗剪承载力本身就偏于保守,然而通过比较可以得知,用我国混凝土结构设计规范(GB50010-2010)计算结果变异系数较小,更适合计算焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱的抗剪承载能力,美国规范计算时没有考虑轴压比的影响可能造成计算值偏差过大.进一步结合钢筋应变进行分析,本试验测得的箍筋最大应变范围为1800~4500微应变,1~4号短柱试件的箍筋都已屈服,发生剪切破坏,之所以规范计算值偏小除了可靠度要求较高外,可能由于本次试验短柱的纵向钢筋配筋率6.89%,没有考虑纵筋抗剪的原因,同时纵筋最大有效应变为1200~2500微应变,基本没有屈服;5~8号短柱箍筋未屈服,纵筋与混凝土的粘结破坏、混凝土强度等级越低,其与钢筋形成的粘结力亦越小.因此,在外荷载作用下越易发生因钢筋混凝土间粘结传力不足的剪切粘结破坏.所以短柱的剪切粘结破坏承载力与剪切破坏承载力由于破坏机理不同会产生计算偏差,对此应进行进一步研究其剪切粘结破坏承载力.

表4 试验短柱承载力与公式计算承载力比较

编号	V_t/kN	V_{1c}/kN	V_{2c}/kN	V_t/V_{1c}	V_t/V_{2c}
P1	432.5	366.72	333.04	1.179 4	1.298 6
H2	484.25	376.07	342.39	1.287 7	1.414 3
P3	471.5	366.72	317.59	1.285 7	1.484 6
H4	479.95	376.07	326.94	1.276 2	1.468 0
P5	339.85	365.38	378.01	0.930 1	0.899 1
H6	375.35	382.37	395.72	0.981 6	0.948 5
H7	363.35	314.79	321.25	1.154 3	1.131 1
H8	483.75	425.37	395.72	1.137 2	1.222 5
平均值				1.154 0	1.233 3
变异系数				0.118 5	0.183 5

4 结论

本文在试验基础上,对焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱和普通复合箍筋钢筋混凝土短柱进行了抗震性能试验研究,主要得出以下结论:

(1) 焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱与普通箍筋短柱破坏形态相似,各构件滞回曲线表现出明显的“捏拢”效应,延性及耗能能力两者基本一致甚至焊接复合箍筋短柱稍有提高.

(2) 可以将箍筋电阻点焊技术应用于复合箍筋的制作工艺中并可用于工程实践,各项抗震性能指标与传统绑扎箍筋无明显区别符合规范要求.

(3) 焊接复合箍筋钢筋混凝土短柱的抗剪承载力计算可以采用我国现有规范规定的抗剪承载力公式进行计算,变异系数小,符合较好.

参考文献 References

- [1] 钱国芳,童岳生,白国良,等.配置不同形式箍筋的钢筋混凝土短柱抗震性能实验研究[J].西安冶金建筑学院学报,1991,23(3):248-257.
QIAN Guofang, TONG Yuesheng, BAI Guoliang, et al. Experimental research on earthquake-resistan behavior of R. C short columns tied with different types of combined stirrup[J]. Journal of Xi'an Institute of Metallurgical Construction, 1991, 23(3), 248-257.
- [2] 王东升,郭迅,孙治国.汶川大地震公路桥梁震害初步调查[J].地震工程与工程振动,2009,29(3):84-94.

- WANG Dongsheng, GUO Xun, SUN Zhiguo. Damage to highway bridges during Wenchuan earthquake[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2009, 29(3):84-94.
- [3] 温增平, 徐超, 陆鸣. 汶川地震重灾区典型钢筋混凝土框架结构震害现象[J]. 北京工业大学学报, 2009, 35(6):753-760.
WEN Zengping, XU Chao, LU Ming. Damage features of RC frame structures in Wenchuan earthquake[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2009, 35(6):753-760.
- [4] 庄卫林, 刘振宇, 蒋劲松. 汶川大地震公路桥梁震害分析及对策[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(7):137-1387.
ZHUANG Weilin, LIU Zhenyu, JIANG Jinsong. Earthquake-induced damage analysis of highway bridges in Wenchuan earthquake and countermeasures[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(7):1377-1387.
- [5] ZHAO B, TANCER F, ROSSETTO T. Field investigation on the performance of buildings during the 12 may 2008 Wenchuan earthquake in China[J]. Engineering Structures, 2009, 31(8):1707-1723.
- [6] SASANI M. Life-safety and near-collapse capacity models for seismic shear behavior of reinforced concrete columns[J]. ACI Structural Journal, 2007, 104(1):30-38.
- [7] 赵国藩. 高等钢筋混凝土结构学[M]. 北京:中国电力工业出版社, 1999.
ZHAO Guofan. Advanced reinforced concrete structures[M]. Beijing: China Electric Press, 1999.
- [8] 陈家夔. 钢筋混凝土框架柱的抗震性能[J]. 西南交通大学学报, 1990, 25(2):23-32.
CHEN Jiakui. Seismic behavior of columns in reinforced concrete frames[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1990, 25(2):23-32.
- [9] 徐贱云, 吴健生, 铃木计夫. 多次循环荷载作用下钢筋混凝土柱的性能[J]. 土木工程学报, 1991, 24(3):57-70.
XU Jianyun, WU Jiansheng, SUZUKI Kazuo. Behaviour of reinforced concrete columns under cyclic lateral load[J]. China Civil Engineering Journal, 1991, 24(3):57-70.
- [10] 姜维山, 白国良. 配复合箍、螺旋箍、X形筋钢筋混凝土短柱的抗震性能及抗震设计[J]. 建筑结构学报, 1994, 15(1): 2-16.
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): 2-16.
- [11] BAYRAK O, Sheikh S A. Confinement reinforcement design considerations for ductile HSC columns[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1998, 124(9):999-1010.
- [12] 唐九如. 钢筋混凝土框架节点抗震[M]. 南京:东南大学出版社, 1989.
TANG Jiuru. Earthquake resistance of joints of reinforced concrete frame[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1989.
- [13] 孙治国, 司炳君, 王东升, 等. 高强箍筋高强混凝土柱抗震性能研究[J]. 工程力学, 2010, 27(5):128-136.
SUN Zhiguo, SI Bingjun, Wang Dongsheng, et al. Research on the seismic performance of high-strength concrete columns with high-strength stirrups[J]. Engineering Mechanics, 2010, 27(5): 128-136.
- [14] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010.
GB 50010-2010 Code for design of concrete structures[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [15] ACI Committee 318. Building code requirements for structural concrete and commentary(ACI 318M-05)[S]. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005.

Experimental Study on Seismic Performance of RC Short Column with Welded Stirrups

YANG Yong, YU Yunlong, GAO Deliang, XUE Jianyang

(School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to evaluate the seismic performance of reinforced concrete short column specimens with welded stirrups, pseudo-static tests of five reinforced concrete short column specimens with welded stirrups and three reinforced concrete short column specimens with common stirrups assembled by hands were conducted. During the experiments, the failure patterns, hysteresis curves, the skeleton curves were measured, and the ductility ratios, energy dissipation index, shear bearing capacity, as well as stiffness degradation laws were detailed analyzed. From the experiment and analysis results, it could be concluded that seismic performance of reinforced concrete short column specimens with welded stirrups were similar and sometime better than that of reinforced concrete short columns with common assembling stirrups, and both two types reinforced concrete short columns had similar failure patterns, a typical shear failure pattern with "pinching effect". Both of two types short columns were same in ductility, energy dissipating capacity, stiffness degradation laws. From the experiment results, the ductility ratios of all the specimens were in the range of 3.58 to 5.32, which showed that all the specimens had enough ductility, and then it could be concluded that the welded stirrups could be used in the reinforced concrete short columns, which could be also as effective as common stirrups assembled by hands.

Key words: welded stirrups; reinforced concrete short columns; seismic performance; experiment study; pseudo-static test

(本文编辑 桂智刚)