

表 2 试件参数

Tab.2 Parameters of specimen

| 试件 编号 | 混凝土实测强度 f_{cu}/MPa | | 梁实测长度 | 柱实测长度 | 钢纤维体 | 钢纤维掺加 | 核心区 |
|----------|-----------------------------|-------|-----------------|-----------------|----------------|-------|--------------|
| | HSC | SFHSC | l_b/mm | l_c/mm | 积率 $\rho_f/\%$ | 范围/mm | 配箍 |
| A-1 | 63.2 | — | 1 260 | 1 480 | — | — | 2 排 $\Phi 8$ |
| A-2 | 58.8 | — | 1 260 | 1 470 | — | — | 5 排 $\Phi 8$ |
| B-1 | 68.9 | 70.1 | 1 270 | 1 470 | 0.5 | 125 | 2 排 $\Phi 8$ |
| B-2 | 69.6 | 64.1 | 1 130 | 1 440 | 1.0 | 125 | — |
| B-3 | 59.8 | 58.8 | 1 165 | 1 430 | 1.5 | 125 | — |

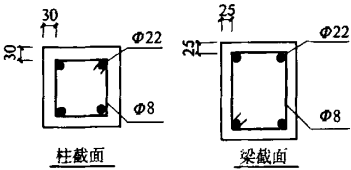


图 2 梁、柱截面配筋

Fig.2 Beam and column cross section reinforcement

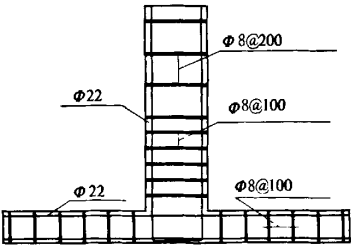


图 3 试件的箍筋布置

Fig.3 Stirrup layout of specimen

试件变形通过位移计和百分表量测,具体布置如图 4 所示.核心区剪切变形通过 4 个预埋销钉布置百分表量测,梁端位移通过试验机作动器中的位移传感器量测,柱端位移通过位移计量测.梁柱中纵向钢筋和箍筋的应变通过预埋的钢筋应变片量测.

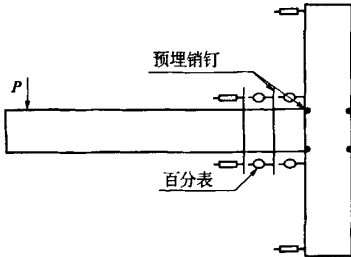


图 4 试件的仪表布置

Fig.4 Instrument layout of specimen

本试验采用多功能液压伺服疲劳试验机对梁端进行低周反复加载.在整个实验过程中,柱顶用液压千斤顶保持恒定轴力,使轴压比恒为 0.3.加

载制度采用荷载一位移联合控制,如图 5 所示.

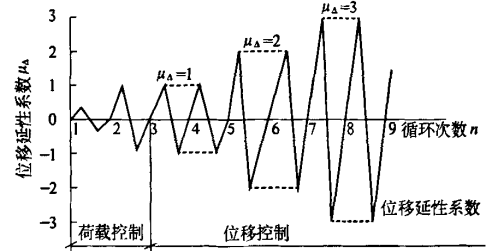


图 5 试件加载程序

Fig.5 Specimen loading program

2 试验结果分析

2.1 滞回曲线

图 6 为本文试验得到的 5 个试件的滞回曲线.由图 6(a)、(b)可以看到,构件 A-1 的滞回曲线在后期的非线性变形过程中有明显的“捏缩”现象,略成倒 S 形,而 A-2 的滞回曲线较为饱满.这是由于 A-1 核心区配箍率较小,使其核心区剪切变形增大,从而造成试件刚度降低.这也说明节点核心区较高的配箍率在地震荷载作用下,能有效帮助核心区抗剪,保证了节点核心区的完整性.

通过图 6(a)、(c)的对比可见,在相同的配箍率情况下,掺入 0.5% 体积率钢纤维的 B-1 试件耗能能力比 A-1 试件要好许多,且滞回曲线较为饱满,从变化形态上来讲和 A-2 试件较为接近,这说明用钢纤维来替代部分箍筋的做法是完全可行的.

通过图 6(a)、(d)和(e)的对比可以发现,在 B-2 试件中,用 1.0% 体积率的钢纤维来完全替代核心区箍筋,耗能能力有一定提高,但效果不明显.当钢纤维体积率增加至 1.5% 时, B-3 试件的耗能能力比 A-1 试件有非常显著的改善.这说明,在框架节点核心区部位,增大钢纤维体积率能显著提高节点的抗震性能.

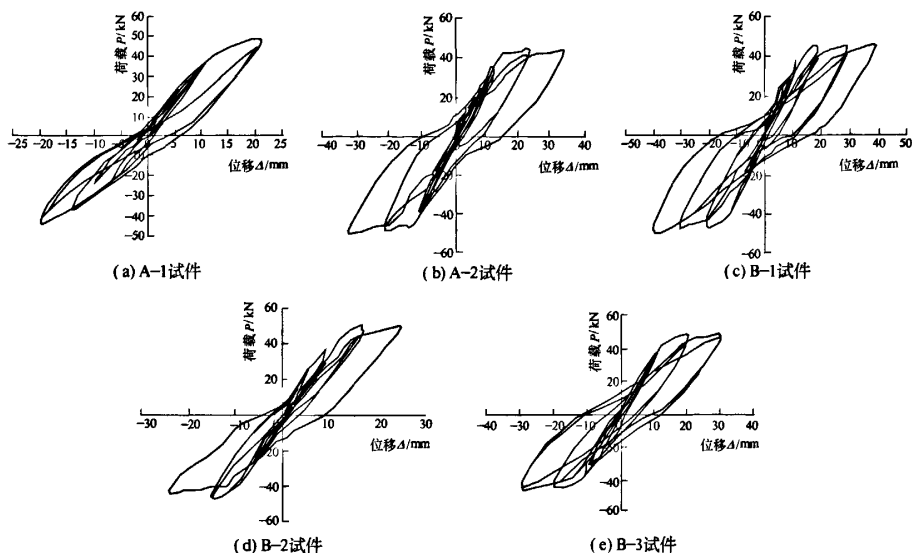


图 6 试件滞回曲线

Fig. 6 The hysteresis curve of specimen

2.2 位移延性

延性^[3]是指结构或构件进入破坏阶段以后,在承载能力没有明显降低的情况下承受变形的能力,是结构抗震性能中很重要的一个特性.结构或构件的延性越好,表示其耗散地震能量、经受非弹性变形的能力越强,其抗震性能越好.对于钢筋混凝土结构一般用位移延性系数来反应其延性的大小.

设 Δ_y 为结构的屈服位移, Δ_u 为结构的极限位移,则结构的位移延性系数定义为

$$\mu_{\Delta} = \Delta_u / \Delta_y, \quad (1)$$

各构件位移延性系数计算结果见表 3.

表 3 构件延性系数

Tab.3 The component ductility coefficient

| 节点 试件 | 屈服位移 Δ_y /mm | 极限位移 Δ_u /mm | 位移延性 μ_{Δ} | 延性系数 提高/% |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| A-1 | 10.26 | 21.28 | 2.07 | — |
| A-2 | 12.00 | 33.67 | 2.80 | 35 |
| B-1 | 11.28 | 39.01 | 3.46 | 67 |
| B-2 | 9.06 | 25.00 | 2.76 | 33 |
| B-3 | 10.41 | 30.38 | 2.92 | 41 |

由表 3 可知:构件 A-2 比构件 A-1 的延性系数要提高 35%,表明提高配箍率可显著提高节点的延性;构件 B-1 比构件 A-1 的延性系数提高 67%,表明在相同配箍率的情况下,掺加钢纤维的节点具有很好的延性;相对于构件 A-1,构件 A-2 和 B-2 的位移延性提高幅度较为相近,

B-3 的位移延性高于 B-2,表明在节点区采用 1% 体积率的钢纤维替代箍筋可以达到较好的节点位移延性,且钢纤维掺量的提高有助于提高节点的延性.

2.3 能量耗散能力

能量耗散能力是以荷载一位移滞回曲线所包围的面积来衡量,它反映了构件在反复荷载作用下对能量的耗散能力.良好的能量耗散能力能保证能量迅速耗散,使构件的振幅迅速衰减,减少构件震动的循环次数,使结构不易被破坏.能量耗散能力常用的指标有等效黏滞阻尼系数 h_e 和功比指数 I_w ,笔者采用功比指数 I_w 来表达塑性铰区域在加荷过程中吸收的能量,具体计算结果见表 4.

$$I_w = \sum_{i=1}^n \frac{P_i \Delta_i}{P_y \Delta_y} \quad (2)$$

式中: P_y 为屈服荷载; Δ_y 为屈服位移; P_i 为第 i 循环的荷载; Δ_i 为第 i 循环的位移; n 为总循环数; i 为第 i 循环数.

表 4 构件的功比指数

Tab.4 Power ratio index of specimen

| 节点 试件 | 屈服 荷载 P_y /kN | 屈服 位移 Δ_y /mm | 极限 荷载 P_u /kN | 极限 位移 Δ_u /mm | 功比 指数 I_w | 功比 指数 提高/% |
|----------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------|------------------|
| A-1 | 36.00 | 10.26 | 47.83 | 21.28 | 8.34 | — |
| A-2 | 34.04 | 12.00 | 44.20 | 33.67 | 11.77 | 41 |
| B-1 | 36.33 | 11.28 | 45.25 | 39.01 | 17.04 | 104 |
| B-2 | 36.30 | 9.06 | 49.21 | 25.00 | 11.72 | 40 |
| B-3 | 36.21 | 10.41 | 47.75 | 30.38 | 15.80 | 89 |

由表4可知:相对于构件A-1,提高核心区配箍率和在核心区掺加钢纤维均可提高构件的能量耗散能力.由B-2和B-3的对比可知,在一定范围之内,钢纤维掺量的提高有助于提高节点的能量耗散能力.

边节点在平面框架中要承受梁端和上、下柱端传来的弯矩、剪力和轴力,当节点具有良好的承受外力的性能时,有利于结构抗震.目前,常见的节点剪切机理主要有斜压杆机理模型、桁架机理模型和剪摩擦机理模型.在剪摩擦机理中,节点的抗剪能力由两部分组成:一部分是核心区的对角处,在弯曲压力下所产生的混凝土摩擦力;另一部分是穿过裂缝的箍筋在受拉屈服时所承担的剪力.

当节点配置有较多的箍筋时,有利于加强节点的抗剪能力,从而提高节点的能量耗散能力,通过构件A-2和A-1的对比可以得到验证;前期研究表明^[2-4]:钢纤维高强混凝土的断裂韧度、断裂能、裂缝张开位移较高强混凝土有显著提高,对于加强节点的能量耗散能力是有利的,这点通过构件B-1和A-1的对比得到验证.

3 结论

(1)提高节点核心区的配箍率,能够保证节

点的完整性,有利于提高框架节点抗震性能.

(2)在高强混凝土中加入钢纤维,有利于提高节点的延性,加强节点的能量耗散能力,从而改善框架节点的抗震性能.

(3)在框架节点核心区,采用钢纤维高强混凝土可以有效减少节点的箍筋用量,有利于工程施工.在条件允许的情况下,可以通过在核心区采用较高体积率的钢纤维来完全替代核心区箍筋.

参考文献:

- [1] 高丹盈,朱海堂,汤寄予.纤维高强混凝土抗剪性能的试验研究[J].建筑结构学报,2004,25(6):88-92.
- [2] 高丹盈,王占桥,朱海堂.钢纤维高强混凝土断裂性能的试验研究[J].郑州大学学报:工学版,2004,25(1):1-5.
- [3] 唐九如.钢筋混凝土框架节点抗震[M].南京:东南大学出版社,1988.
- [4] 傅剑平,游渊,白绍良.钢筋混凝土抗震框架节点传力机构分析[J].重庆建筑大学学报,1996,18(2):53-51.

Experimental Study on the Energy Dissipation of Steel Fiber Reinforced High Strength Concrete Edge Joints

GAO Dan - ying, WEI Dong, ZHU Hai - tang, ZHAO Ke - yan, WANG Liang

(Research Center of New Building Material & Structure, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Taking five steel fiber reinforced high - strength concrete edge joints with the variable parameters of the fraction of steel fiber by volume (0.5%、1%、1.5%) and the ratio of stirrup (two rows of a diameter of 8mm, five rows of a diameter of 8mm) in core zone, the hysteresis curve, displacement ductility and the working index of the steel fiber reinforced high - strength concrete frame edge joint under the low cycles loading are investigated. The results show that the steel fiber can significantly improve the ductility and enlarge the energy dissipation capacity of the high strength concrete frame joint. So the steel fiber will be conducive to anti - seismic structure and have a significant effect on resolving the crowded conditions of the stirrups in core zone of the joints and constructional conditions.

Key words: joint; high - strength concrete; steel fiber; low cycles loading; anti - seismic behavior