

12  
94-100

# 低周反复荷载作用下高强混凝土柱受力性能的试验研究

李立仁 支运芳<sup>✓</sup> 李明 牛绍仁

(重庆建筑大学建筑工程学院 630045)

TU375.303

曲成平

(青岛建筑工程学院建工系 266033)

**A 摘要** 通过 15 根高强混凝土柱的低周反复加载试验, 研究了影响高强混凝土柱延性及抗震能力的因素, 分析了轴压比, 配箍特征值及不同形式复合箍筋的影响及作用。在试验分析的基础上提出了改善高强混凝土柱的延性和抗震能力的构造方法及措施。

**关键词** 高强混凝土, 低周反复加载, 框架柱, 轴压比, 复合箍筋 **荷载, 受力性能**  
**中图法分类号** TU502.6

高强混凝土较普通混凝土更具脆性, 改善其延性及抗震性能是推广应用高强混凝土的一个重要课题。本文着重于研究影响高强混凝土柱延性的主要因素及改善延性的构造措施。试验中考虑了轴压比 ( $n = N / f_c b h$ )、配箍特征值 ( $\lambda_v = \rho_v f_{sv} / f_c$ ) 及三种不同形式复合箍筋对高强混凝土柱延性的影响。通过对试验数据的分析, 探讨了复合箍筋中大箍(外围箍筋)和小箍(内部附加箍)的作用。

## 1 试件及试验方法

### 1.1 试件

本次试验共 15 根柱试件, 考虑了  $n = 0.2, 0.3, 0.4$  三种轴压比和 a, b, c 三种形式的箍筋。试件尺寸及配筋见图 1。通过调整箍筋间距, 得到  $\lambda_v = 0.079 \sim 0.141$  几种配箍特征值。试件实测混凝土强度  $f_c^{\text{试}} = 52 \sim 56 \text{ MPa}$ 。主筋  $f_y = 382.8 \text{ MPa}$ , 箍筋  $\phi^5$  冷拔钢丝,  $f_{sv} = 631.5 \text{ MPa}$ 。

试件混凝土配合比为水泥: 砂: 石子: 水 = 1: 0.5: 2.42: 0.3。水泥为重庆水泥厂生产的 525 矿渣水泥, 石子为石灰岩碎石, 粒径 5~20 mm, 砂为长江特细砂,  $M_s = 0.6$ , 含泥量 3%。

收稿日期: 1995-09-19

李立仁 男, 1952 年生, 副教授

教育部博士点专项科研基金及重庆市科研基金资助项目

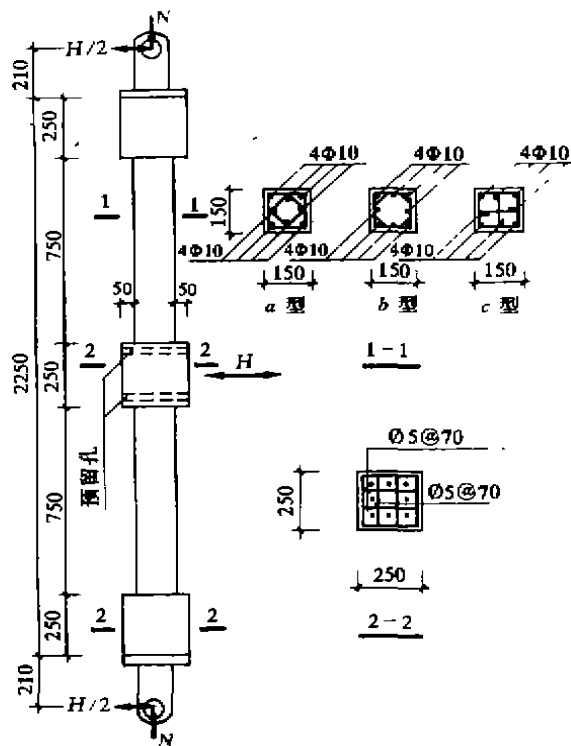


图1 试件尺寸及配筋

~5%。混凝土中掺加了水泥用量0.5%的高效减水剂NNO。全部材料为工地材料，未经专门选择。

试件混凝土用强制式搅拌机搅拌，木模卧式成型，人工室外养护。每批试件留三组试块，与试件同条件养护。

### 1.2 试验方法及加载程序

试验在重庆建筑大学大型试验室进行，采用MTS电液伺服式结构试验系统加载。试件竖向安装，用1000 kN液压作动器作竖向加载，用一个250 kN作动器作水平加载。试件上端设置了带滑轮的钢横梁，防止试件上端产生水平位移及平面外变形<sup>[1]</sup>。

图2为试件测点布置，用应变片量测了纵筋和箍筋中的应变值。在试件一侧布置了四个位移传感器，结合作动器测得位移值，测定了试件的侧向变形曲线。通过数据采

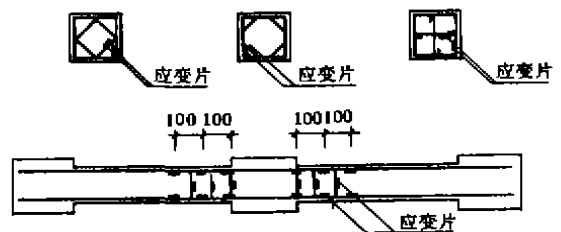


图2 测点布置

集,可了解试件应力及位移的变化,并据此绘出构件滞迴曲线。

数据采集用 HP 3 562 A 动态信号分析系统将荷载和位移量测信号转换后输入磁带记录仪,并连接绘图仪绘出滞迴曲线。同时,用 X-Y 函数记录仪绘出试件中点荷载-位移曲线,应变片信号用 7V08 数据采集系统记录。

加载按照文献 [2] 的规定执行,即按  $0.5\Delta_y$ ,  $0.75\Delta_y$ ,  $1.0\Delta_y$ ,  $2.0\Delta_y$ , ……每级循环三次的方式加载(见图 3)。对高轴压比试件,增加了  $1.5\Delta_y$  这一级荷载。加载由位移控制,先分级施加竖向荷载  $N$  到额定值,然后分级施加水平荷载  $H$ 。在试验中,MTS 系统可保证竖向荷载值在试件破坏前恒定不变。

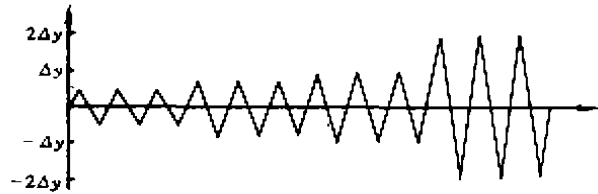


图 3 加载程序

## 2 试验结果及分析

### 2.1 破坏形态

本次试验柱的长细比较大,且所有试件均配有足够的抗剪箍筋,故截面均为正截面强度破坏。

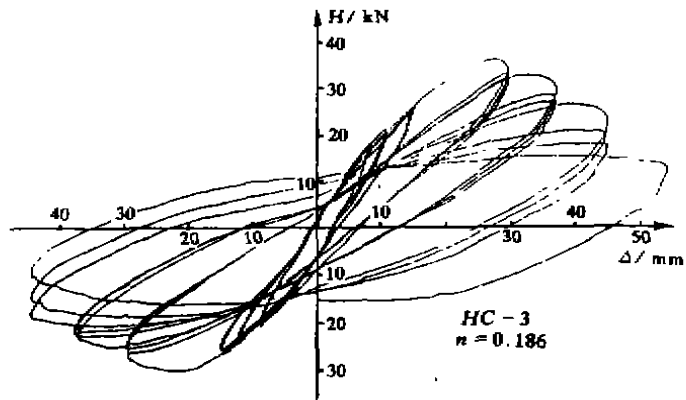
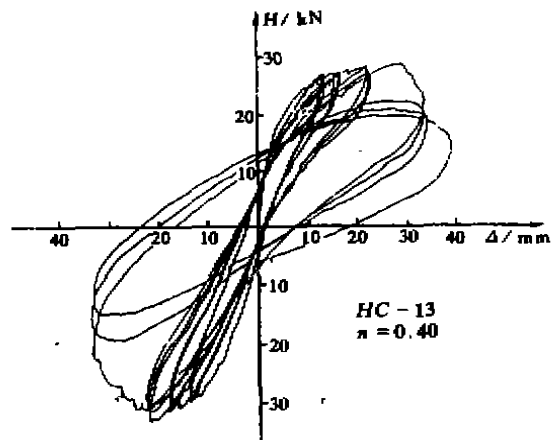
试件破坏均发生在柱根部(中部加大区上下位置)附近,随轴压比增大,破坏截面上移,破坏区段加长。箍筋间距较大者,破坏区段混凝土剥落严重,间距较小者,破坏区段混凝土剥落程度相对较轻。

对于低轴压比试件,在第一、二级循环( $\Delta = 0.5\Delta_y$  及  $\Delta = 0.75\Delta_y$ )时,试件表面未发现可见裂缝。试件基本处于弹性阶段,残余变形很小。在第三级循环时,拉区出现横向裂缝,压区混凝土沿纵筋也出现微裂缝。当进入第四级循环( $\Delta = 2\Delta_y$ )后,拉区裂缝明显加宽,并不断出现新的裂缝。同时,压区纵向裂缝也继续发展。当滞迴环的荷载值下降至  $0.6 \sim 0.7 P_{max}$  时,压区混凝土保护层大面积剥落,试件破坏截面距柱脚约 100 mm。

对于轴压比较大的试件,在第一级循环( $\Delta = 0.5\Delta_y$ )时,压区混凝土表面就出现沿纵筋方向的微裂缝,在随后的二、三级循环( $\Delta = 0.75\Delta_y$  及  $\Delta = 1.0\Delta_y$ )中,裂缝基本没发展,水平力  $H$  增加很小,个别试件还略有下降,在进入第四级循环( $\Delta = 1.5\Delta_y$ )后,拉区出现细短的横向裂缝,紧接着压区混凝土保护层部分脱落。破坏时箍筋间残留的混凝土形成两个倒角锥形状。由于 MTS 系统有很大的供油能力和精密的控制系统,能保证竖向力在试件破坏这一很短时间内不变。故试验中,高轴压试件一旦达最大承载力,破坏就从压区混凝土压溃开始,立即发展成整个破坏区段的突发性破坏,这一现象与 [3] 结果相符。

### 2.2 滞迴曲线

图 4、5 为实测的试件滞迴曲线。从分析实测滞迴曲线可发现,轴压比较小的试件,在达荷载最大值前,每一位移幅值的三次循环的  $H - \Delta$  轨迹几乎重合,试件强度和刚度没有退化迹象。轴压比较大时,随循环次数增加,刚度略有降低,但卸载轨迹仍重合,在经历最大荷载后,循环峰值位移已处于  $H - \Delta$  曲线的包络线的下降段上,这时,在位移相同的循环中,加载

图4  $H-\Delta$  滞回曲线图5  $H-\Delta$  滞回曲线

与卸载轨迹不再重合。

轴压比较大的试件在纵筋屈服前,刚度随循环次数增加而降低,卸载轨迹仍几乎重合。一旦经历最大荷载后,加载和卸载曲线都变得较“平”,强度和刚度都降低很多。

这次试验 15 个试件的滞回曲线中,除轴压比小的试件有较小的“捏拢”现象外,均未表现出明显的“捏拢”现象。

### 2.3 纵筋和箍筋应变

从分析实测钢筋应变可发现有如下现象:

- 1) 所有试件的纵筋在试件破坏时都屈服。
- 2) 不论箍筋为何种型式,也不管轴压比的大小,复合箍筋中的大箍的应变值均大于小箍

的应变值。在纵筋屈服时,小箍的应变值约是大箍的应变值的  $1/2 \sim 2/3$ 。但当水平荷载接近最大值时,箍内混凝土产生较大的横向变形,大箍的应变急剧增加,而小箍的应变值增加比大箍要慢一些,破坏时,小箍应变值约是大箍应变值的  $1/3 \sim 3/5$ 。

从实测箍筋的应变分布可看出,大箍与小箍的作用是不同的,大箍起着约束混凝土,增加构件延性的主要作用,小箍起着防止大箍向外弯曲,并与大箍共同形成约束作用的功能。然而,小箍的作用是不可缺少的。从三种不同箍筋型式柱的实测箍筋应力的分析可知,a, b 型箍筋对混凝土的约束作用相近,而 c 型箍筋约束作用相对差些。

#### 2.4 H- $\Delta$ 骨架曲线及延性系数

H- $\Delta$  骨架曲线即 H- $\Delta$  滞回曲线峰值点的连线。

图 6~12 为实测的 H- $\Delta$  骨架曲线,都以滞回曲线中先加荷一侧为准,根据实测的 H- $\Delta$  滞回曲线,取实测屈服位移  $\Delta$  为  $\Delta_y$ ,用  $H = 0.85 H_{max}$  所对应的位移作为极限位移  $\Delta_u$ ,则位移延性系数  $\mu = \Delta_u / \Delta_y$ 。

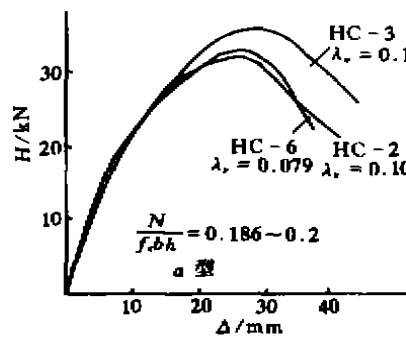


图 6

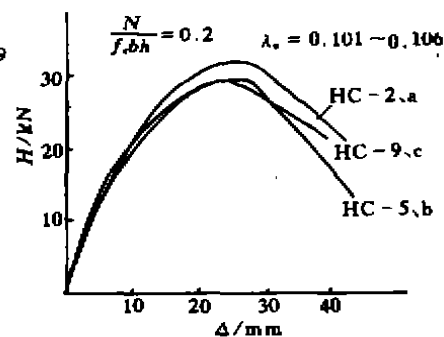


图 7

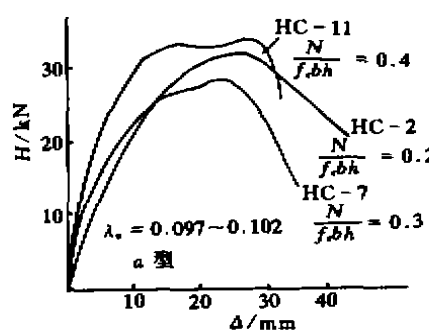


图 8

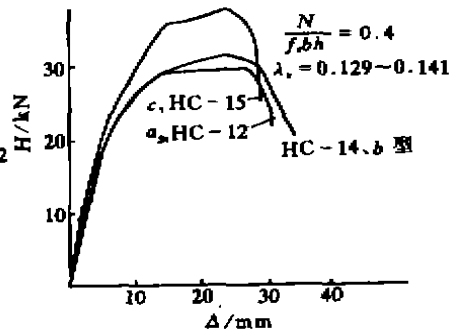


图 9

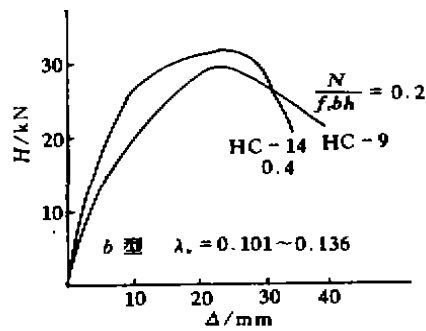


图 10

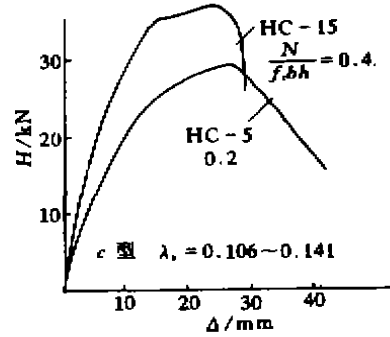


图 11

从实测骨架曲线可看出:

- 1) 随轴压比增大, 骨架曲线越来越靠近  $H$  轴, 表明轴压比大的构件的初始刚度大。
- 2) 当配箍特征值  $\lambda$  相近时, 随轴压比增大, 骨架曲线的下降段越来越陡 (见图 12), 且延性系数明显降低。

3) 在轴压比相同的条件下, 随配箍特征值增加, 延性系数增大, 且下降段越来越平缓 (如图 6)。

4) a、b、c 三种箍筋型式, a、b 两种作用十分接近, 但 c 型箍筋对提高构件延性的作用比 a、b 两种略差一些。

5) 15 个试件  $\Delta/l$  ( $l = 1335 \text{ mm}$ ) 的比值为  $1/33.8 \sim 1/59.1$ , 个别高轴压延性偏低, 实用中应采取提高延性措施。

总体说来, 轴压比是决定构件延性的主要因素, 配箍特征值的增大可以起到增加构件延性的作用。

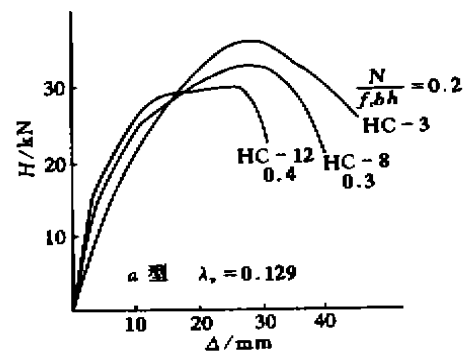


图 12

### 3 小 结

综合分析这次试验的 15 根试件的试验结果, 可以得出如下结论:

1) 高强混凝土框架柱在低周反复荷载作用下的滞回曲线与普通强度混凝土柱相同。但其骨架曲线具有较陡的下降段。

2) 与普通强度混凝土相比, 高强混凝土框架柱的延性要差, 特别是在高轴压比时。

3) 配置复合箍筋可以改善构件的延性, 但配箍特征值较小时, 延性的改善并不明显。增大配箍特征值可起到约束混凝土, 提高延性的作用, 但其受力及施工技术等因素尚需进一步

的研究。

4) a、b、c 三种复合箍筋均能起改善构件延性的作用, 相比之下, c 型箍筋的作用略差一点。

5) 轴压比对高强混凝土框架柱的延性的影响, 比配箍特征值要明显。故在设计高强混凝土柱时, 应严格控制轴压比。

6) 复合箍筋在构件接近破坏时, 承受很大的拉力。为保证箍筋能发挥作用, 箍筋应可靠搭接, 最好采用焊接, 箍筋宜采用强度较高的钢筋, 但为保证箍筋约束作用可靠, 建议取  $f_{yv} \leq 420$  MPa, 间距宜小一点。

#### 参 考 文 献

- 1 曲成平. 高强混凝土框架柱的抗震性能试验研究, 重庆建筑大学硕士研究生学位论文
- 2 混凝土结构试验方法标准(GB 50152-92). 北京: 中国建筑工业出版社, 1992
- 3 易伟建, 邹银生. 高强混凝土压弯构件抗震性能的试验研究. 1991.7

(编辑: 刘家凯)

## A Experimental Study on Behaviour of Reinforced High Strength Concrete Column Subjected to Low Cyclic Reversed Loads

*Li Liren Zhi Yunfan Li Ming Niu Shaoren*

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing Jianzhu University)

*Qu Chengping*

(Dept. of Civil Engineering, Qingdao Architecture and Engineering Institute)

**Abstract** Based on the experiment of 15 reinforced high - strength concrete columns subjected to low cyclic reversed lateral loads, the factors that affect the ductility and earthquake resistant behaviour of high - strength concrete columns have been researched, and the influence and effect of the axial compression ratio, the characteristic value of stirrups and the different arrangement of compound stirrups have been analyzed. The construction methods and the measures for improving the ductility and the earthquake resistant capacity of high - strength concrete columns are proposed on the base of the experimental and analytical investigations.

**Key Words** high - strength concrete, low cyclic reversed lateral load, frame column, axial compression ratio, compound stirrup.