

配置 HRB500 钢筋的混凝土桥墩滞回性能研究

戎 贤^{1,2}, 宋 鹏¹, 张健新¹, 刘 平^{1,2}

(1. 河北工业大学 土木工程学院, 天津 300401; 2. 河北省土木工程技术研究中心, 天津 300401)

摘 要: 对 4 根配置 HRB500 钢筋的混凝土桥墩抗震性能进行了拟静力试验的研究, 对其在低周往复荷载作用下的破坏特征、滞回曲线、骨架曲线、刚度退化进行分析, 研究钢筋强度、箍筋间距、轴压比对桥墩抗震性能的影响规律. 结果表明, 增大钢筋强度对提高构件的承载能力和变形能力效果显著, 配箍率对构件承载能力和变形能力的影响不大, 轴压比的增大虽可以显著提高构件承载能力但却不能提高构件的变形能力.

关键词: HRB500 钢筋; 桥墩; 轴压比; 箍筋间距; 抗震性能

中图分类号: TU 375.3 **文献标志码:** A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2014.06.018

0 引言

随着社会的发展, HRB500 钢筋因其具有强度高、延性好、社会经济效益显著等一系列优点而得到了更加广泛的应用^[1-2]. 在地震作用下桥墩极易发生破坏, 因此, 在桥墩中采用高强钢筋替换部分纵筋和箍筋, 利用高强钢筋弹性模量与普通钢筋相近而强度高的材料特性来改善桥墩在强地震作用下损伤后的耗能能力具有十分重要的理论和工程实际意义^[3-4]. 为推广 HRB500 钢筋在混凝土桥墩中的应用, 笔者对配置 HRB500 钢筋的混凝土桥墩进行了拟静力试验的研究, 分析箍筋间距、轴压比对桥墩抗震性能的影响规律^[5-6].

1 试验概况

1.1 试验方案设计

本试验设计了 4 根钢筋混凝土桥墩, 桥墩均由墩身和基座两部分组成. 墩身截面尺寸为 300 mm × 300 mm, 墩身净高 900 mm. 为方便施加水平荷载, 柱端设置高为 240 mm, 截面尺寸为 300 mm × 300 mm 的方形加载头, 柱头内钢筋加密, 以防止柱头局部破坏. 笔者为了体现单位体积内的箍筋量, 引用了配箍特征值这一在 高强钢筋和高强混凝土中的常用概念, 而箍筋间距则是配箍率的重要影响因素, 具体试件设计参数见表 1, 试件配筋情况如

图 1 所示. 设计混凝土强度为 C50, 立方体抗压强度实测值为 48.1 MPa, 轴心抗压强度实测值为 33.2 MPa. 保护层厚度 20 mm, 试验纵筋采用直径为 16 mm 的 HRB335 和 HRB500 两种钢筋, 箍筋采用直径为 10 mm 的 HPB300 和 HRB500 两种钢筋, 其具体力学性能指标如表 2 所示.

表 1 试件设计参数
Tab. 1 Experimental parameters of specimens

构件编号	轴压比	箍筋间距/mm	纵筋强度/(N·mm ⁻²)	箍筋强度/(N·mm ⁻²)
CJ1	0.07	80	335	300
CJ2	0.07	80	500	500
CJ3	0.07	120	500	500
CJ4	0.14	120	500	500

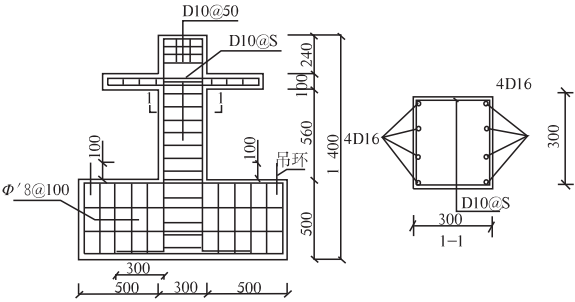


图 1 试件尺寸及配筋 (mm) (图中 s 代指箍筋间距)
Fig. 1 Dimensions and reinforcement of specimen

收稿日期:2014-05-07;修订日期:2014-09-19
基金项目:天津市自然科学基金项目(12JCYBJC14100);河北省交通运输厅科技计划项目(Y-2011052);河北省交通运输厅科技计划项目(Y-2012041).
作者简介:戎贤(1965-),男,河北定州人,河北工业大学教授,博士,博士生导师,主要从事结构抗震研究.

表 2 钢筋力学性能指标
Tab.2 Property indexes of steel MPa

钢筋种类	屈服强度	极限强度	弹性模量
HPB300 级 10 mm	352	543	1.95×10^5
HRB500 级 10 mm	585	750	1.92×10^5
HRB335 级 16 mm	383	546	1.95×10^5
HRB500 级 16 mm	600	756	1.92×10^5

1.2 试验加载方案

本试验加载采用力 - 位移混合控制制度进行. 在墩柱顶端使用液压千斤顶施加 190 kN 和 380 kN 两种竖向荷载,在加载头上用液压千斤顶施加水平荷载,并加装荷载传感器,由 DH3815 静态联机系统采集柱顶荷载 - 位移曲线,具体加载步骤主要分为两个阶段:第一个阶段为荷载控制阶段,在试件发生屈服前,通过控制对试件施加的荷载的大小来进行每级的加载,每个荷载控制等级循环一次. 第二个阶段为位移控制阶段,即在试件发生屈服后,通过控制试件加载位置处位移的大小来划分各荷载等级,每级位移荷载循环 3 次,直至荷载下降至极限荷载的 85% 后,认为试件破坏,停止加载. 具体加载装置如图 2.

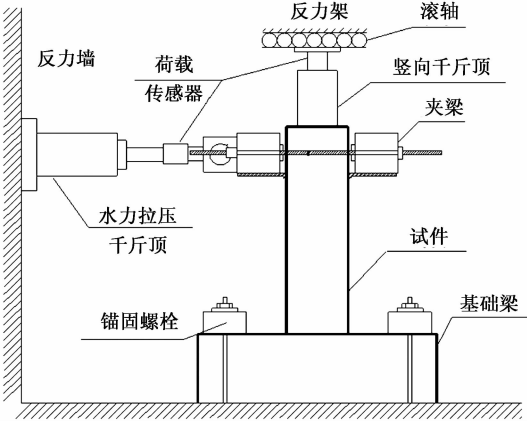


图 2 试验装置简图
Fig.2 Test device

2 破坏特征

4 根试件破坏时均呈现弯曲剪压破坏,试验破坏形态如图 3 所示. 试件在低周反复荷载作用下,开始阶段受拉侧墩底首先出现水平裂缝,随着荷载的增加,原有裂缝逐渐扩展,沿墩高方向出现新的裂缝,墩柱侧面开始出现斜向裂缝,墩角处混凝土出现剥落;当钢筋屈服时,试件进入弹塑性阶段,试件出现经典 X 形裂缝. 随着位移的不断增大,受压侧混凝土被压碎,试件承载力也大幅下降,试件破坏.

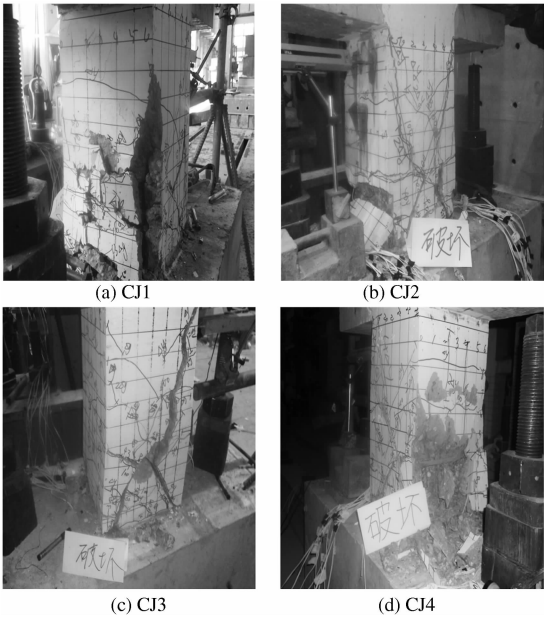


图 3 试件破坏形态
Fig.3 Failure pattern of specimens

3 试验结果分析

3.1 滞回特性

滞回曲线是研究结构试件抗震性能的主要指标,它综合反映了试件在加载中任意时刻的承载及变形能力、耗能能力及刚度退化现象^[7]. 4 种试件的滞回曲线如图 4 所示.

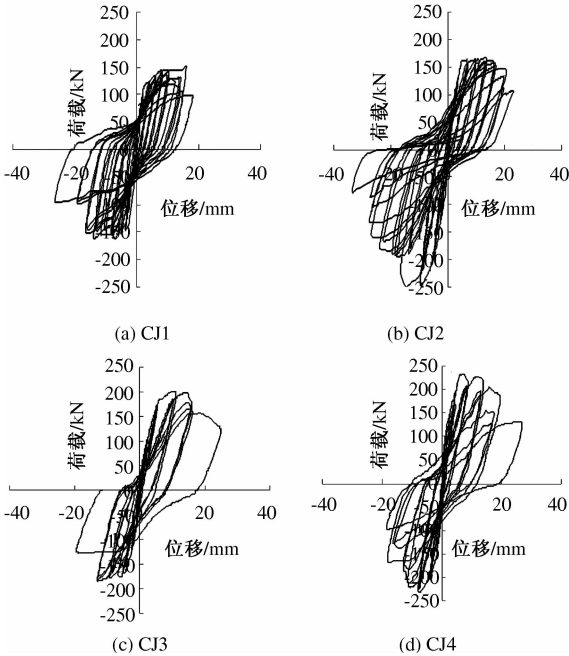


图 4 滞回曲线
Fig.4 Hysteretic curves of load-displacement

(1)比较 CJ1 试件和 CJ2 试件的滞回曲线可知: CJ1 试件滞回环呈弓形,包围面积较小,极限

承载能力较低,CJ2 试件滞回环明显更加饱满,包围面积明显增大,极限承载力和最大位移都有相应提高,说明提高钢筋强度可以显著提高试件的承载能力和耗能能力,使试件的抗震性能得到提高.

(2)比较 CJ2 试件和 CJ3 试件的滞回曲线可知:CJ2 试件的滞回曲线的形态较为饱满,滞回环的面积明显较大,耗能能力明显增强,并且其破坏前经历的变形量也大幅增加,使其延性性能增强,但其极限承载能力未有明显提高,表明增大配箍特征值可使构件的抗震性能得到极大改善,但对试件极限承载能力影响不大.

(3)比较 CJ3 试件和 CJ4 试件的滞回曲线可知:CJ3 试件虽然滞回环较饱满但其承载力偏低,说明轴压比小的构件比轴压比大的构件滞回曲线更加饱满,后期变形能力更大,抗震性能更好.提高轴压比可以提高试件极限承载能力但不利于结构抗震能力的提高.

3.2 骨架曲线

骨架曲线是滞回曲线上同向(拉或压)各次加载的荷载极值点依次相连得到的包络线^[8].它是每次循环的荷载位移曲线达到的最大峰点的轨迹,是反应结构抗震性能的重要依据.4 种试件骨架曲线如图 5 所示.

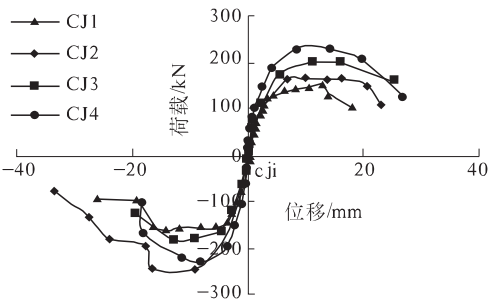


图 5 骨架曲线
Fig. 5 Skeleton curves

通过对比 CJ1 和 CJ2 试件骨架曲线可知,纵筋和箍筋均配置高强钢筋的 CJ2 试件的正向极限承载力和反向极限承载力分别增加了 15% 和 53%,极限位移分别增加了 28% 和 28.4%.通过对比 CJ2 和 CJ3 试件骨架曲线可知,两试件正反向的极限位移与极限荷载有不同程度变化,但从总体来看,增大箍筋间距的 CJ3 试件的极限承载能力和极限位移没有明显下降,造成正反向变化不一致的原因为试件浇筑时出现偏差或是加载时出现偏心.通过对比 CJ3 和 CJ4 试件骨架曲线可知,增大轴压比的 CJ4 试件的正反向的极限承载

能力分别增加了 16.5% 和 26.2%,但极限位移却变化不大.综上情况表明:钢筋强度的增加可以提高构件的承载能力和位移延性,配箍率的改变对承载能力和位移延性的影响不大,轴压比的增大可以显著提高构件承载能力,但对位移延性没有提高作用.

3.3 刚度退化

等效刚度是指本次循环的荷载最大值点(即骨架点)与坐标原点连线的斜率,故等效刚度又称为割线刚度,通常将其作为刚度退化的量化指标.在构件加载过程中,构件位移持续增大,刚度也逐渐降低,这种现象称为刚度退化^[9].各试件刚度退化曲线如图 6 所示

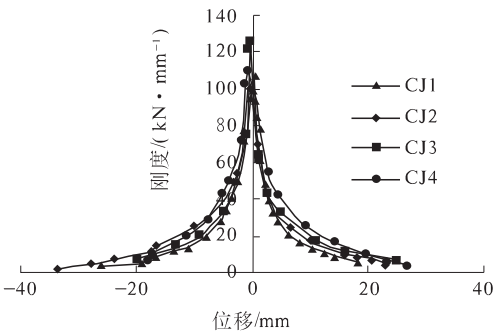


图 6 刚度退化曲线
Fig. 6 Curves of stiffness degradation

由 4 种试件刚度退化曲线对比可知,各试件加载过程中刚度退化趋势大致相同,在加载初期,刚度退化迅速;在加载后期,各试件刚度退化趋于平缓.通过对比 CJ1 和 CJ2 试件刚度退化曲线可知,配置高强钢筋的 CJ2 试件的初始刚度增加了 77%,且在加载后期,其刚度退化较 CJ1 试件明显放缓.通过对比 CJ2 和 CJ3 试件刚度退化曲线可知,加大箍筋间距的 CJ3 试件的初始刚度减小了 50.4%,但两试件在加载后期的刚度退化没有明显区别.通过对比 CJ3 和 CJ4 试件刚度退化曲线可知,增大轴压比的 CJ4 试件虽然初始刚度增加了 140%,但其后期刚度退化也较快.

4 结论

(1)高强钢筋的配置可以明显改善构件的滞回性能,使构件的承载能力和耗能能力以及初始刚度显著提高,从而极大地提高了构件的抗震性能.

(2)配箍特征值的增大使构件的滞回曲线更加饱满,耗能能力明显增强,极大地改善了构件的抗震性能,但会使其初始刚度出现一定程度的降

低,对构件的极限承载能力影响不大.

(3)轴压比的增大虽然可以显著提高构件的初始刚度和极限承载能力,但其耗能能力和位移延性明显减弱.

参考文献:

[1] SUMPTER M S,SANI H,RIZKALLA P Z. Behavior of gigh-performance steel as shear reinforcement for concrete beams [J]. ACI Structural Journal, 2009, 106 (2):171 - 177.

[2] BJORHOVDE R. Development and use of high performance steel [J]. Journal of Constructional Steel Research,2004,60(3 - 5):393 - 400.

[3] 阎石,肖潇,阐立新,等. 高强钢筋高强混凝土柱恢复力模型[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2005,21(2):51 - 55.

[4] 王晓锋,傅剑平,朱爱萍,等. 配置 HRB500 级钢筋

混凝土柱抗震性能模拟分析[J]. 建筑结构学报, 2011,32(8):12 - 18.

[5] 周勇. 公路桥梁桥墩延性性能初步研究[D]. 重庆:重庆交通大学土木建筑学院,2006.

[6] 孙卓,李建中,阎贵平,等. 钢筋混凝土单柱式桥墩抗震性能试验研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2006,34(2):160 - 164.

[7] 张勤,贡金鑫. 弯剪破坏钢筋混凝土柱的荷载—变形关系[J]. 建筑科学与工程学报,2010,27(3):78 - 84.

[8] 刘金升,苏小卒,赵勇. 配 500MPa 细晶钢筋混凝土柱低周反复荷载试验[J]. 结构工程师,2009,25(3):135 - 141.

[9] 戎贤,巩雪娇,李艳艳. 配置 HRB500 钢筋的混凝土 L 形柱滞回性能试验研究[J]. 河北工业大学学报, 2012,41(5):84 - 87.

Experimental Research on Hysteretic Behavior of
HRB500 Reinforced Concrete Piers

RONG Xian^{1,2}, SONG Peng¹, ZHANG Jian-xin¹, LIU Ping^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China; 2. Civil Engineering Technology Research Center of Hebei Province, Tianjin 300401, China)

Abstract: Based on the quasi-static test study of seismic performance of HRB500 reinforced concrete piers , influence law about steel strength, the spacing, the axial compression ratio on seismic behavior was obtained according to the analysis of its failure characteristics, hysteresis curves, skeleton curves, stiffness degradation under low cyclic loads. The results show that increasing steel strength can improve components’ bearing capacity and deformation capacity obviously, stirrup ratio can not influence members’ bearing capacity and deformation capacity, axial compression ratio can improve components’ bearing capacity, but on the other hand, it is useless to improve components’ deformation capacity.

Key words: HRB500 rebar; bridge pier; axial compression ratio; spacing; seismic performance