

往复荷载下配置高强钢筋桥墩滞回性能试验

张健新,戎贤,刘平

河北省工业大学土木工程学院,天津 300401

摘要 为研究配置HRB500高强钢筋的混凝土桥墩的滞回性能,进行了4个混凝土桥墩试件的低周往复加载试验,分析剪跨比、纵筋强度和箍筋强度对混凝土桥墩受力破坏形态的影响,对比配置高强钢筋桥墩与普通钢筋桥墩,两者滞回性能的异同。结果表明,随着箍筋的有效约束下桥墩试件剪跨比的增加,试件的变形能力增加,滞回曲线更饱满,刚度退化减缓。配置高强纵筋及高强箍筋桥墩试件的刚度退化、滞回曲线等滞回特性均优于配置普通钢筋桥墩试件,同时提高了试件的承载能力及变形能力。

关键词 桥墩;高强钢筋;剪跨比;滞回特性

中图分类号 U443.2

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.06.016

Experimental research of hysteretic behavior of high strength reinforced concrete bridge piers under cycle loading

ZHANG Jianxin, RONG Xian, LIU Ping

School of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China

Abstract Four concrete bridge piers are tested under a low cycle loading to study the hysteretic behavior of HRB500 high strength reinforced concrete bridge piers. The effects of the shear span ratio, the longitudinal reinforcement and the stirrup strength grade on concrete bridge pier's failure modes are analyzed. The comparison of the hysteretic behavior between the high strength reinforced concrete bridge piers and the ordinarily reinforced concrete bridge piers shows that with the increase of the shear span ratio and the effective constraint of the stirrup, the deformability is increased, the hysteretic curve becomes fuller and the rigidity degeneration slows down. The hysteretic behavior of the concrete bridge piers with a high strength longitudinal reinforcement and a high strength stirrup, such as the rigidity degeneration and the hysteretic curve, is improved as compared to the ordinarily reinforced concrete bridge piers. The bearing capacity and the deformability of the HRB500 high strength reinforced concrete bridge piers are enhanced.

Keywords bridge piers; high strength steel bars; shear span ratio; hysteretic behavior

近年来,国内外的几次大地震均对桥梁造成了严重的震害,汶川地震发现绵竹市回澜立交桥等桥墩在地震中发生弯剪破坏^[1],中国台湾Chi-Chi地震^[2]、日本Kobe地震^[3]及美国Northridge地震^[4]中钢筋混凝土桥墩震害实例较多。桥梁结构为交通工程的生命线,其抗震性能的研究受到广泛关注,并

取得了相关研究成果^[5-7]。作为桥梁结构主要抗侧力构件的桥墩,是桥梁抗震的重中之重。HRB500级钢筋是一种强度高、延性好的新型钢筋,在国外已经得到了广泛的应用。目前,现行的《JTG D62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中,HRB500高强钢筋尚未列入^[8]。因此,需

收稿日期:2014-09-27;修回日期:2014-12-23

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-2012041,Y-2011052)

作者简介:张健新,博士研究生,研究方向为结构抗震,电子信箱:zhangjianxin505@126.com;戎贤(通信作者),教授,研究方向为结构抗震,电子信箱:xrong@hebut.edu.cn

引用格式:张健新,戎贤,刘平.往复荷载下配置高强钢筋桥墩滞回性能试验[J].科技导报,2015,33(6):97-100.

要进行配置HRB500级高强钢筋混凝土桥墩的试验,研究剪跨比、纵筋强度、箍筋强度对配置HRB500高强钢筋混凝土桥墩滞回性能的影响,为《JTG D62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的修订提供基础资料。

1 试验设计

试验设计了4个高强钢筋混凝土桥墩,试件设计参数如表1所示,试件尺寸及配筋情况如图1所示,试件的混凝土强度等级为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,保护层厚度为20 mm,试件的纵筋直径为16 mm,箍筋直径为10 mm,钢筋下料前,对不同直径的钢筋分别截取3根钢筋,测定其力学性能指标,其力学性能实测值如表2所示。

表1 试件参数

Table 1 Parameters of specimens

试件编号	试件高度/mm	纵筋①或③	箍筋②或④	纵筋强度/ (N·mm ⁻²)	箍筋强度/ (N·mm ⁻²)	箍筋间距/mm
D ₁	1060	8Φ16	Φ10@80	335	300	80
D ₂	1060	8Φ16	Φ10@80	500	500	80
D ₃	560	8Φ16	Φ10@80	335	300	80
D ₄	560	8Φ16	Φ10@80	500	500	80

注:①、②、③、④为图1中相应位置。

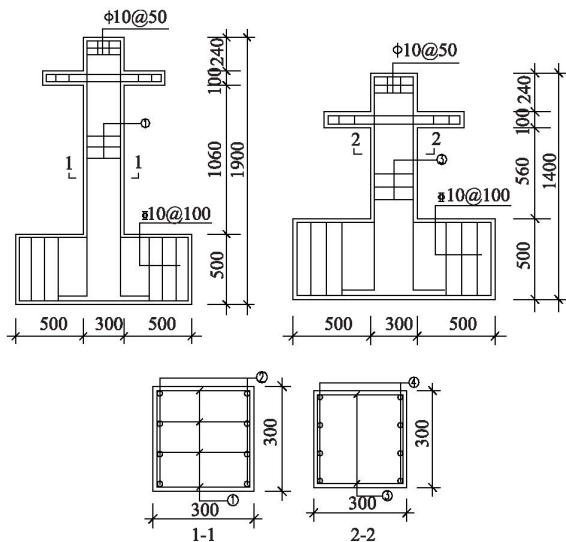


图1 试件配筋(mm)

Fig. 1 Reinforcements of specimen (mm)

表2 钢筋力学性能实测值

Table 2 Measured values of mechanical properties of steel

钢筋等级	直径/mm	屈服强度/MPa	极限强度/MPa	弹性模量/(10 ⁵ MPa)
HRB300	10	352	543	1.95
HRB335	16	383	546	1.95
HRB500	10	585	750	1.92
HRB500	16	600	756	1.92

试验加载时采用拟静力加载方案,将竖向千斤顶安装在反力梁下,用于施加桥墩顶部轴向力,试件设计轴压比为0.07,设计轴力为190 kN。然后用液压千斤顶在墩顶加载头处施加水平荷载。桥墩试件的试验加载装置见图2。试验的加载程序为荷载 P_y -位移 Δy 混合控制,如图3所示。屈服前以荷载控制,循环一次,屈服后以位移控制,以屈服位移的整数倍循环3次,当荷载降至85%的极限荷载时,试件破坏。

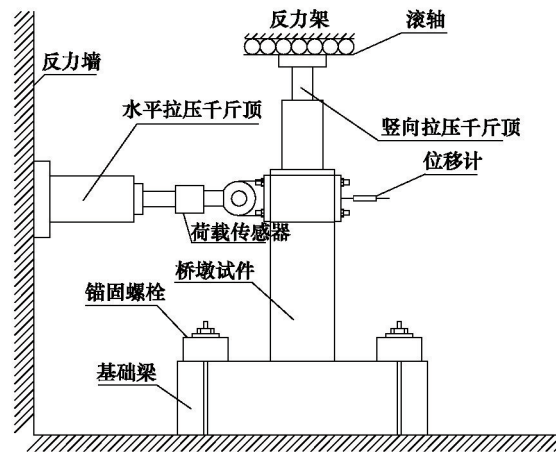


图2 试验装置

Fig. 2 Test device

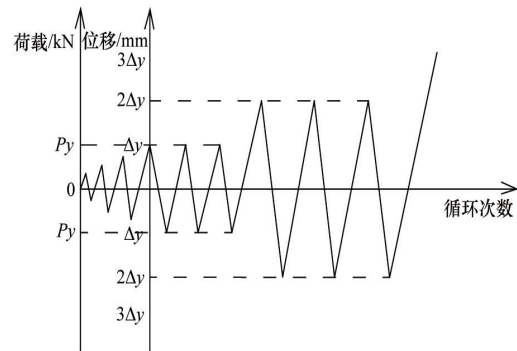


图3 加载程序

Fig. 3 Program of test loading

2 结果与分析

2.1 滞回曲线

通过试验得到滞回曲线如图4所示。钢筋混凝土桥墩在弹性加载范围内,其荷载、位移成线性增长,随加载的进行,滞回曲线的荷载与位移成非线性增长。比较剪跨比较大构件D₁、D₂和剪跨比较小构件D₃、D₄,可知剪跨比较大构件的滞回曲线成梭形,剪跨比较小构件的滞回曲线成S形,随着加载的持续剪跨比较小构件滞回曲线成S形向梭形变化。由此可得在钢筋强度相同的条件下,剪跨比较大的钢筋混凝土桥墩试件D₁、D₂在箍筋的有效约束下,滞回曲线比剪跨比较小钢

筋混凝土桥墩试件D₃、D₄的更显得饱满。在剪跨比相同的条件下,将配置高强钢筋的混凝土桥墩构件D₂和D₄分别与配置普通钢筋混凝土的桥墩构件D₁和D₃比较,可以发现配置高强钢筋的混凝土桥墩构件D₂和D₄分别比配置普通钢筋混凝土的

桥墩构件D₁和D₃的滞回曲线面积大、滞回曲线更饱满。综上所述可知,剪跨比和钢筋强度对滞回曲线的饱满程度均有较大影响;随着箍筋有效约束下剪跨比的增加、钢筋强度提高,滞回曲线的饱满程度越好、滞回曲线面积越大,滞回性能越好。

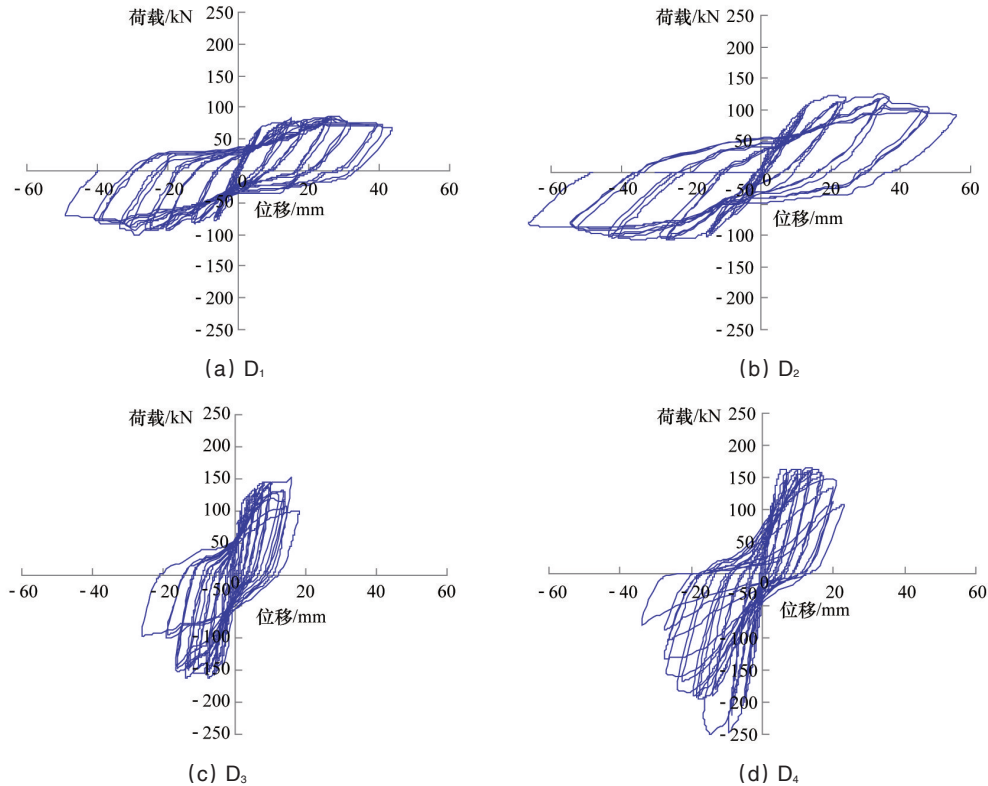


图4 滞回曲线
Fig. 4 Hysteretic curves

2.2 骨架曲线

通过试验得到骨架曲线如图5所示。

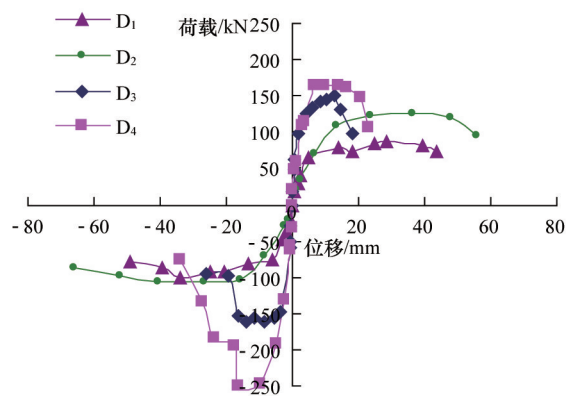


图5 骨架曲线
Fig. 5 Skeleton curves

在箍筋的有效约束下,剪跨比较大的钢筋混凝土桥墩构件D₁、D₂比剪跨比较小构件D₃、D₄的位移大,但极限荷载小。配置高强钢筋的混凝土桥墩构件D₂和D₄分别均比配置普通

钢筋混凝土的桥墩构件D₁和D₃的荷载位移大。综上所述可知,提高钢筋强度和增大剪跨比可提高试件的变形能力;提高钢筋强度能提高试件的承载能力,但增加剪跨比却使试件的承载能力降低。

2.3 刚度退化

通过试验得到刚度退化曲线如图6所示。

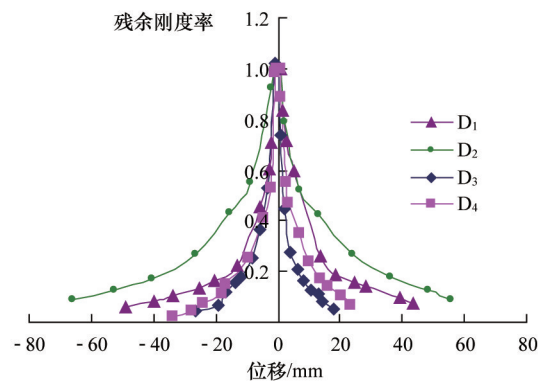


图6 刚度退化曲线
Fig. 6 Curves of stiffness degradation

随试件达到开裂、屈服极限荷载,钢筋混凝土桥墩试件刚度曲线下降程度越加平缓。由图5可知,随着位移的增大,箍筋的有效约束下剪跨比较大的钢筋混凝土桥墩试件D₁和D₂比剪跨比较小的钢筋混凝土桥墩试件D₃和D₄刚度退化平缓,可知剪跨比越大钢筋混凝土刚度退化曲线越平缓;在相同的剪跨比的条件下,配置高强钢筋混凝土桥墩试件D₂和D₄比钢筋强度较小的钢筋混凝土桥墩D₁和D₃刚度退化曲线平缓。综上可知,剪跨比、钢筋强度的增大均能使刚度退化变得越加平缓。

2.4 承载能力及变形能力

通过试验得到荷载及位移如表3所示,对比可知,在荷载方面剪跨比较大的钢筋混凝土构件D₁和D₂的平均屈服荷载

比剪跨比较小的钢筋混凝土构件D₃和D₄分别小57.40、72.50 kN,平均极限荷载分别小63.16、95.50 kN。在位移方面,剪跨比较大的钢筋混凝土构件D₁和D₂的屈服平均位移分别比剪跨比较小的钢筋混凝土构件D₃和D₄大6.03、5.28 mm;平均极限位移分别大11.59、15.14 mm;平均破坏位移分别大26.10、28.34 mm。说明剪跨比越大的构件其屈服荷载、极限荷载越小,但屈服位移、极限位移、破坏位移越大。配置高强钢筋的混凝土桥墩构件D₂和D₄比配置普通钢筋混凝土的桥墩构件D₁和D₃的平均屈服荷载分别大4.98、20.08 kN,平均极限荷载分别大17.5、49.8 kN,平均极限位移分别大6.68、3.13 mm,平均破坏位移分别大5.24、3.05 mm;说明钢筋强度越大构件的屈服荷载、极限荷载、极限位移及破坏位移越大。

表3 荷载及位移

Table 3 Load and displacement

试件编号	加载方向	屈服荷载/kN	极限荷载/kN	屈服位移/mm	极限位移/mm	破坏位移/mm
D ₁	正向	71.37	87.00	9.37	13.67	43.09
	反向	79.48	100.67	10.06	33.68	41.67
	平均	75.43	93.84	9.72	23.68	42.38
D ₂	正向	79.24	111.00	9.95	28.32	45.28
	反向	81.58	111.67	8.64	32.40	49.96
	平均	80.41	111.34	9.30	30.36	47.62
D ₃	正向	118.89	151.67	3.74	16.19	14.47
	反向	146.76	162.33	3.64	7.98	17.99
	平均	132.83	157.00	3.69	12.09	16.23
D ₄	正向	112.26	164.67	3.30	13.86	21.09
	反向	193.55	249.00	4.74	16.58	17.47
	平均	152.91	206.84	4.02	15.22	19.28

3 结论

1) 对比桥墩的滞回曲线可知,配置高强纵筋及高强箍筋的桥墩试件的滞回曲线比配置普通钢筋的饱满,增加试件的剪跨比也可以增加滞回曲线的饱满程度。

2) 对比桥墩试件的骨架曲线及荷载、位移可知,提高钢筋强度能够提高桥墩试件的承载能力和变形能力,增大剪跨比可以提高试件的变形能力。

3) 对比桥墩试件的刚度退化曲线可知,增加试件的剪跨比及钢筋强度均能减缓桥墩试件的刚度退化。

参考文献(References)

[1] 孙治国, 王东升, 郭迅, 等. 汶川大地震绵竹市回澜立交桥震害调查[J]. 地震工程与工程振动, 2009, 29(4): 132-138.
Sun Zhiguo, Wang Dongsheng, Guo Xun, et al. Damage investigation of Huilan interchange in Mianzhu after Wenchuan earthquake[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2009, 29(4): 132-138.

[2] Chang K C, Chang D W, Tsai M H, et al. Seismic performance of highway bridges[J]. Earthquake Engineering and Engineering Seismology, 2000, 2(1): 85-105.

[3] Hashimoto S, Fujino Y, Abe M. Damage analysis of Hanshin expressway viaducts during 1995 Kobe earthquake. II: damage mode of single reinforced concrete piers[J]. Journal of Bridge Engineering, 2005, 10(1):

54-60.

[4] Mitchell D, Bruneau M, Williams M, et al. Performance of bridges in the 1994 Northridge earthquake[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 1995, 22(2): 415-427.

[5] 王吉忠, 王苏岩, 黄承逵. CFRP加固高强混凝土柱抗震性能和延性研究[J]. 大连理工大学学报, 2008, 48(5): 708-714.
Wang Jizhong, Wang Suyan, Huang Chengkui. Research on ductility and earthquake-resistance of high-strength concrete column confined by CFRP[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2008, 48(5): 708-714.

[6] 刘钧, 侯杰, 邱法维. 钢筋混凝土独柱式桥墩的拟动力试验研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2006, 28(5): 43-48.
Liu Jun, Hou Jie, Qiu Fawei. Pseudo dynamic test research of reinforced concrete bridge column pier[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2006, 28(5): 43-48.

[7] 司炳君, 孙治国, 王东升, 等. 利用ANSYS模拟桥墩滞回性能的建模方法[J]. 武汉理工大学学报, 2007 29(6): 76-79.
Si Bingjun, Sun Zhiguo, Wang Dongheng, et al. Modeling methods on simulation of hysteretic behavior of bridge piers based on ANSYS software [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2007, 29(6): 76-79.

[8] 中国公路规划设计院. JTG D62—2004公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
China Communications Planning and Design Institute. JTG D62—2004 Code for design of highway reinforced concrete and prestressed concrete bridges and culverts[S]. Beijing: China Communications Press, 2004.

(编辑 陈华姣)