

高强钢筋高强混凝土框架结构拟动力试验研究

陈鑫^{1,2}, 阎石^{*1,2}, 季保建²

(1. 大连理工大学 土木工程学院, 辽宁 大连 116024;

2. 沈阳建筑大学 土木工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘要:采用 MTS 公司生产的液压伺服加载系统对 1/2 比例单跨二榀二层框架模型进行拟动力试验,研究配有高强钢筋高强混凝土框架结构抗震性能.试验采用经过调幅的具有不同地震加速度峰值的 3 种地震波作为激励进行加载,共采用 11 种工况.重点研究了这种结构在地震过程中动力特性的变化、裂缝出现情况、滞回性能、弹性和弹塑性阶段的地震反应及抗震性能.试验结果表明:此类高强混凝土框架结构具有较好的抗震性能.该试验研究成果为在地震区采用高强混凝土框架结构提供了一条有效的途径.

关键词:高强钢筋;高强混凝土;框架结构;拟动力试验;子结构;滞回性能;时程反应;抗震性能

中图分类号: TU352.1 **文献标志码:** A

0 引言

地震是种非常严重的自然灾害.目前,对高强混凝土结构在地震作用下的受力性能掌握得还不够充分,针对高强混凝土结构的设计理论与设计方法还不够系统,高强混凝土结构的推广应用还没有足够的依据与保证.此外,随着混凝土材料技术的不断发展,钢筋的强度也得到了很大的提高.过去钢筋的设计强度一般为 200~500 MPa,如今设计强度超过 1 000 MPa 的高强钢筋在国内外已得到了普遍应用.钢筋混凝土框架结构具有空间大、使用便捷、抗震能力好等诸多优点,使其受到广泛关注,一旦变形能力差的弱点得以解决,必然有更加广泛的应用前景.高强混凝土的应用,更有效提高了该结构体系的使用效率.在该结构体系中配置高强度钢筋,可以进一步提高其抗震能力,更有效发挥高强混凝土和高强钢筋的作用.

通过配置数量足够、形式合理的高强度的箍筋和纵向钢筋,使核心区混凝土处于三向受压状态,可有效地约束混凝土的横向膨胀,保持核心区混凝土的完整性,并提高核心区混凝土的极限抗

压能力,阻止纵向受压钢筋可能出现的屈曲.因此,适当的设计处理和完善的配筋构造措施,可使高强钢筋和高强混凝土都得到充分利用,并且其结构或构件的延性同样可以满足设计要求.本文在前期已进行的配有高强钢筋高强混凝土柱、节点等构件抗震性能试验研究^[1-3]的基础上,通过拟动力试验对配有高强钢筋高强混凝土框架结构的抗震性能进行较为系统的研究,以期为高强混凝土框架结构在地震区的应用提供一条有效的途径.

1 试验概况

1.1 拟动力试验方法^[4,5]

在拟动力试验时,由于输入的是真实的地震波记录,而结构的恢复力又是试验过程中实际测得的,能够较真实地反映结构在地震过程中的动力特性,因而能够比低周往复的拟静力试验更真实地描述地震反应过程;在整个加载过程中可以看成是静态的,可以在静力试验台座上进行,便于随时观察记录,因此可以进行足尺结构或大比例模型的试验,从而克服了振动台试验的不足.由于拟动力试

收稿日期: 2011-03-05; 修回日期: 2012-07-18.

基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目(20052005); 辽宁省教育厅基金资助项目(2004D246); 沈阳市科学技术计划资助项目(1032045-3-01).

作者简介: 陈鑫(1974-),男,博士生,讲师, E-mail: michaelchenly@21cn.com; 阎石*(1962-),男,教授,博士生导师, E-mail: syan1962@163.com.

验综合了拟静力试验的简单性和振动台试验的真实性,国内外学者对此进行了大量的研究^[6-10].

结构在地震作用下一般只在结构的某些部位或构件上产生破坏,其余部分仍处于完好或基本完好状态.故在拟动力试验过程中将容易破坏的这部分结构进行试验,而对其余处于弹性状态的部分用计算机进行地震反应的数值模拟分析,这种方法称为子结构法拟动力试验^[11].用于试验的结构部分称为试验子结构,而由计算机来进行模拟的结构部分称为计算子结构,整体结构由试验子结构和计算子结构两部分组成,并通过计算机结合起来进行整体结构的地震反应分析.也就是将传统意义上单独实施的试验与数值模拟分析联合起来同时进行,通过这种混合式试验可以伪动态地再现地震反应,用较低的试验成本获得较为理想的地震反应分析结果.

本次试验即采用子结构试验技术.整体结构为 8 层钢筋混凝土框架结构,其中试验子结构 2 层,计算子结构 6 层.

1.2 试件情况

本次试验的框架结构试件是根据现行抗震设计规范^[12]进行设计制作的,体现了“强柱弱梁”的

框架结构设计原则,实践证明这种形式的框架结构具有很好的抗震性能(如图 1 所示).根据已完成的配有高强钢筋高强混凝土柱、节点等的试验研究成果,本次试验试件中框架柱的混凝土强度等级取为 C90,梁和板的混凝土强度等级为 C40.本次试验所采用的混凝土为商品混凝土,在浇筑每一种混凝土时,均保留 3 组(每组 3 块)150 mm×150 mm×150 mm 立方体试块.试块与试件同条件养护,测得 C40 和 C90 混凝土立方体强度平均值分别为 44.00 MPa 和 83.67 MPa.本文中柱的部分纵筋和全部箍筋采用高强钢筋(高强钢筋为沈阳超力钢筋有限公司生产的预应力钢棒,即 PC 钢棒,如图 2 所示),直径为 10.7 mm 和 7.1 mm 两种;梁中箍筋和板中钢筋采用 HPB235 级钢筋;柱的部分纵筋和梁的全部纵筋采用 HRB335 级.钢筋采取逐类取样并进行拉伸试验,其力学指标详见表 1.为防止试件发生平面外失稳,模型设计成两层两榀单跨的结构形式,加载方式为二维平面加载.为避免在荷载施加作用点处发生局部破坏,各处均预埋钢板.配筋参照混凝土结构设计规范^[13]按原型结构和模型结构配筋率大体相等原则确定.

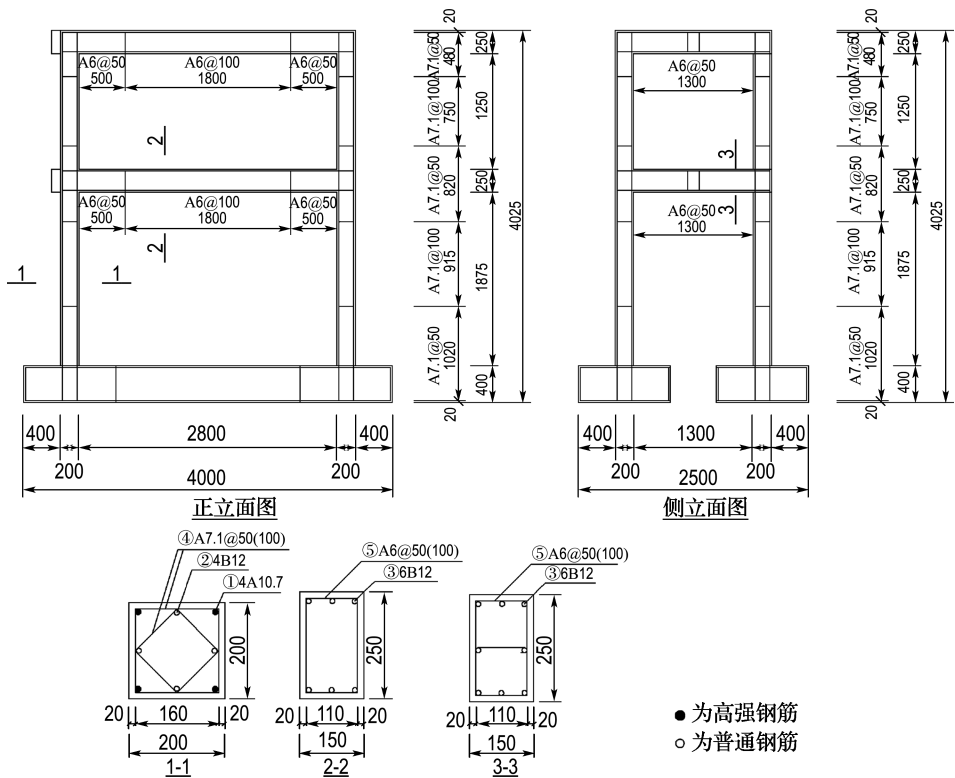


图 1 模型尺寸及配筋

Fig. 1 Model size and its reinforcement

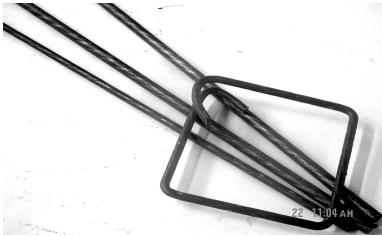


图 2 PC 钢棒

Fig. 2 PC steel bars

表 1 钢筋力学性能

Tab. 1 Mechanical property of steel

规格	直径/ mm	面积/ mm ²	屈服强 度/MPa	极限强 度/MPa	弹性模 量/MPa	$\epsilon_y(\epsilon_{0.2})$
PC1420	7.1	39.59	1 286	1 467	200 000	0.024 8
PC1420	10.7	89.90	1 314	1 443	200 000	0.012 9
HPB235	8	50.30	335	394	210 000	0.005 5
HRB335	16	201.10	437	647	200 000	0.031 9

本次试验在沈阳建筑大学结构实验室进行,模型结构各层的水平荷载借助于两台 MTS 电液伺服加载作动器(推力 1 460 kN,拉力 960 kN,行程 500 mm)施加.试验采用子结构技术,全结构为 8 层,其中试验子结构为底部二层,为考虑原结构二层以上竖向荷载的影响,在保证原结构和模型结构各柱轴压比基本相同条件下,经计算分析求出在模型结构的各柱顶施加 70 kN 的竖向荷载.本次试验采用了 4 台 500 kN 油压千斤顶,通过分配梁将竖向荷载分别施加到各柱顶部,在计算柱顶竖向荷载时,梁上荷载也已考虑到.模型结构的加载装置如图 3 所示.试验现场情况如图 4 所示.

1.3 加载制度和测试内容

试验分为两个阶段.第一阶段为拟动力试验,分别输入不同加速度峰值的地震加速度记录,得

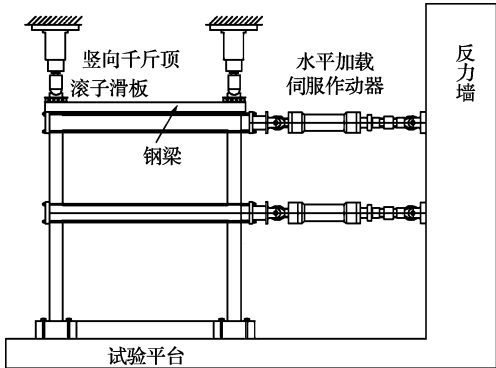


图 3 加载装置

Fig. 3 Loading setup

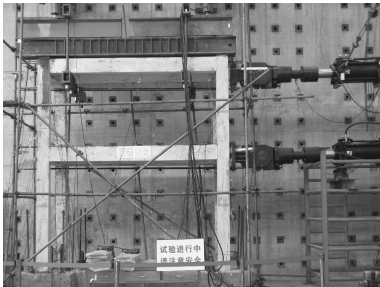


图 4 试验现场照片

Fig. 4 The photo of test site

到结构在各工况下的地震反应,分析了在不同峰值地震加速度作用下,结构反应大小、变形累积、周期的变化、刚度退化、能量耗散等.由于拟动力试验在本质上是一种静力试验,可较详尽地观察裂缝的出现与开展,并记录结构反应的全过程.在拟动力试验完成后,试件并没有彻底破坏,为充分利用,在试件已经发生塑性变形的基础上进行第二阶段的拟静力试验,此阶段试验采用位移控制进行加载,按照倒三角形分布水平力,直到结构完全破坏.试验内容如表 2 所示.

表 2 模型结构拟动力试验内容

Tab. 2 Contents of model structure pseudo-dynamic test

工况	地震波	原始加速 度峰值/ (cm · s ⁻²)	放大 系数	荷载限 值/kN	位移限 值/mm	阻尼比
1	EL35	341.7	1.02	150	30	0.05
2	TAFT35	152.7	2.29	150	30	0.05
3	TJ35	104.2	3.36	150	30	0.05
4	EL100	341.7	2.93	150	30	0.05
5	TAFT100	152.7	6.55	150	30	0.05
6	TJ100	104.2	9.60	150	30	0.05
7	EL200	341.7	5.85	250	50	0.05
8	EL400	341.7	11.71	450	80	0.05
9	EL600	341.7	17.56	450	100	0.08
10	EL700	341.7	20.49	450	100	0.10

2 试验结果与分析

2.1 试验过程

进行拟动力试验时,选取了 3 个地震波记录,即 El-Centro 地震波(EL)、Taft 地震波(TAFT)及天津地震波(TJ).将各地震波加速度幅值进行适当调整,当结构处于弹性阶段时,用以上 3 种地震波进行拟动力试验;当结构进入塑性阶段,只用 El-Centro 地震波进行拟动力试验直到结束.各工况按最大加速度值的大小逐级进行试验,研究模型弹性和弹塑性的动力反应.在拟动力试验加载

过程中,所选地震波及相应幅值由小到大依次为 El-Centro 波($35\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)、Taft 波($35\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)、天津波($35\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)、El-Centro 波($100\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)、Taft 波($100\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)、天津波($100\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)、El-Centro 波($200\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)、El-Centro 波($400\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)、El-Centro 波($600\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)、El-Centro 波($700\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$)。地震波截取原则:保留地震波记录中幅值最大部分,其富有频率和试件基本频率相近部分尽可能保留,以保证最大激励的效果。本次试验按以上原则截取时间为 12 s 左右的地震波记录,根据相似系数原则,时间间隔调整为 0.014 s 。试验过程及简要结果如表 3 所示。

2.2 滞回曲线

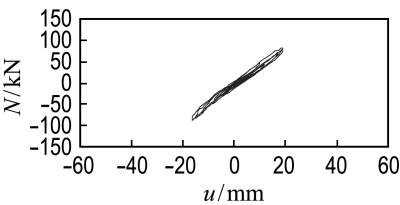
当加速度峰值小于 $400\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 时,在正负

两个方向上,试件的基底剪力(N)-顶点位移(u)滞回曲线大体对称。这是因为此时试件尚处于弹性阶段或准弹性阶段($200\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 工况),即使混凝土出现轻微开裂现象,当荷载作用到另一侧时,裂缝能够完全闭合(图 5(a)所示);而到了试验的后阶段(大于或等于 $400\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 工况),此时试件已发生了较充分的塑性变形,混凝土出现的裂缝不能够完全闭合,累计损失越来越严重,模型的弹塑性变形也不是均匀地分布和发展,两个方向的反应差异非常大,滞回曲线呈现为明显的不对称现象(图 5(b)所示)。由拟静力试验结果可知,当柱的非线性变形较大时,由于柱截面的高宽比较小,模型试件中各柱的剪力-位移滞回曲线并不对称,这也将导致结构剪力-位移滞回曲线表现为不对称现象(如图 6 所示)。

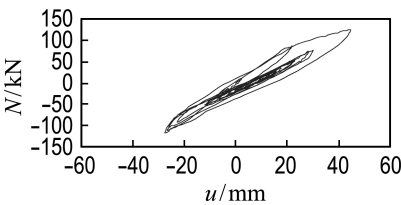
表 3 试验过程及简要结果

Tab. 3 Test process and principal results

工况	地震波	顶层最大 位移/mm	基底剪力/ kN	模型状态描述
1	EL35	2.26	17.74	线弹性反应
2	TAFT35	2.32	18.06	线弹性反应
3	TJ35	3.35	25.61	线弹性反应
4	EL100	7.90	46.10	线弹性反应
5	TAFT100	8.36	48.66	线弹性反应
6	TJ100	14.83	70.61	线弹性反应
7	EL200	19.04	82.38	一层梁端出现了第一条垂直裂缝,当继续加载时,底层某柱柱底出现了水平裂缝,裂缝宽度约为 0.1 mm ,距柱根约 12 cm
8	EL400	44.57	124.88	已有的裂缝继续延伸、加宽,并有新的裂缝出现。此工况也是模型结构由弹性阶段到塑性阶段的重要过程,是整个拟动力试验工况中最重要的部分
9	EL600	50.71	114.09	此工况阻尼比调整为 0.08 。此工况下,荷载和位移的增加都不甚明显,裂缝基本上也是原有裂缝的不断延伸和扩展,这主要是因为此工况加载是在已破坏的试件上继续进行的,此时,试件的阻尼、周期等与原试件相比已有了较大的变化
10	EL700	52.05	115.27	此工况阻尼比调整为 0.10 。此工况与上一工况比变化不大,仍是原有裂缝的不断延伸和扩展,当顶点最大位移达 50 mm ,拟动力试验结束
拟静力试验		178.38	172.15	在顶点位移为 120 mm 时,模型结构破坏急剧增加,其剪切滑移十分明显;当顶点位移达到 160 mm 时,一层柱底的混凝土被压酥,梁端的混凝土也开始剥落;当位移达到 180 mm 时,整个试件模型发生严重倾斜,为安全起见,不再继续加载,拟静力试验结束,试件破坏十分严重



(a) EL200



(b) EL400

图 5 拟动力试验的二层基底剪力-顶点位移滞回曲线

Fig. 5 Hysteretic loops of base shear and lateral displacement of the second floor under pseudo-dynamic test

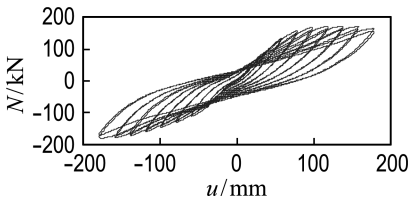


图 6 拟静力试验的二层基底剪力-顶点位移滞回曲线

Fig. 6 Hysteretic loops of base shear and lateral displacement of the second floor under pseudo-static test

按《建筑抗震试验方法规程》(JGJ 101—96)第 6.7.3.1 要求,拟动力试验需做“分段试验滞回曲线组合图”,确定结构开裂荷载、屈服荷载及破坏荷载等.本次试验的“分段试验滞回曲线组合图”如图 7 所示,由图可知:

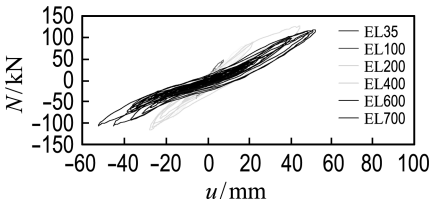


图 7 分段试验滞回曲线组合图

Fig. 7 Integrated graph of hysteretic loops at each stage

(1)当输入加速度峰值为 $35\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 和 $100\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 的 El-Centro 地震波时,试件上未出现肉眼可见的裂缝,基底剪力-顶点位移滞回曲线大体上呈线性关系,说明此时模型结构处于线弹性状态;

(2)当输入加速度峰值为 $200\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 的 El-Centro 地震波时,试件表面出现轻微的裂缝,基底剪力-顶点位移滞回曲线基本上是对称的,此时模型结构仍可视为处于弹性状态;

(3)当输入加速度峰值为 $400\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 的 El-Centro 地震波时,试件结构出现较大的不可恢复的塑性变形,基底剪力-顶点位移滞回曲线明显不

对称,此时模型结构处于塑性状态;

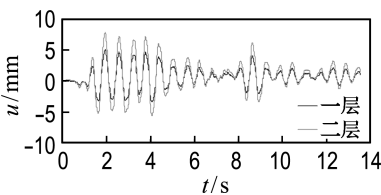
(4)当输入加速度峰值为 $600\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 和 $700\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 的 El-Centro 地震波时,结构的滞回曲线呈明显的反 S 形,结构的损伤积累及钢筋与混凝土之间的粘结滑移是造成滞回曲线捏缩的重要原因.

2.3 结构的位移时程反应

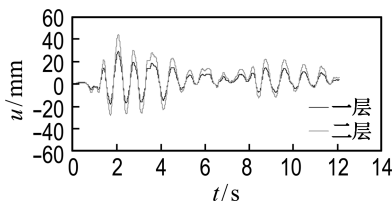
图 8 为试件在不同加速度峰值下的一层和二层的位移时程曲线比较,图 9 为一层和二层在不同加速度峰值下位移时程曲线比较.由图可知:在输入加速度峰值较小的地震波作用下,一层和二层的位移变化很协调,位移峰值几乎是同步到达;而当输入加速度峰值较大的地震波时,位移峰值到达的同步程度就没有那么高了,特别是在输入加速度峰值超过 $400\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 后,差异更加明显.这主要是因为结构产生不可恢复的塑性变形,导致损伤积累,使得位移反应不同步;随着加速度峰值的增大,结构的位移反应并不是按线性方式增长,位移增长率比加速度增长率要高很多.当模型结构进入塑性阶段,此现象更加明显,这是由混凝土的开裂、破坏而导致的结构刚度降低造成的;地震波峰值出现时间和结构产生最大位移反应并不一致,说明结构地震反应除了和加速度峰值有关外,还与地震波的频谱特性、持续时间等多种因素有关.

2.4 用 OpenSees 程序模拟和试验的对比分析

本文应用 OpenSees 程序模拟结构地震反应,并与拟动力试验的结果进行对比分析,图 10 为加速度峰值为 $400\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 时的 El-Centro 地震波顶层位移的时程曲线及滞回曲线,由图可知,试验结果与数值模拟分析结果拟合较好.因此,可以得出结论:利用 OpenSees 程序能较好地模拟拟动力试验,可以利用该程序对配有高强钢筋的高强混凝土框架进行抗震性能分析.



(a) EL100



(b) EL400

图 8 不同加速度峰值下一、二层位移时程曲线比较

Fig. 8 Comparison between displacement time history curves of the first and second stories under different accelerations

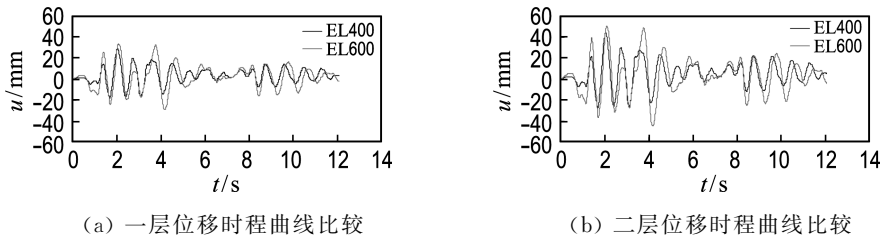


图 9 一、二层在不同加速度峰值下位移时程曲线比较

Fig. 9 Displacement time history curves comparison under different accelerations in the first and second stories

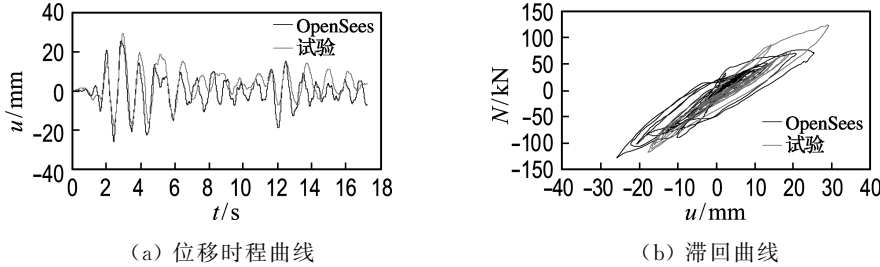


图 10 EL400;顶层位移反应的试验结果与数值分析结果比较

Fig. 10 EL400; Measured versus numerical analysis response of roof displacement

3 结 论

(1)本文进行了配有高强钢筋高强混凝土框架结构拟动力试验,试验结果反映了高强混凝土框架结构在地震作用下的破坏过程和地震反应。

(2)拟动力试验结果表明,柱内配置适量、形式合理的高强钢筋的高强混凝土框架结构在地震作用下的破坏机制为梁铰机制,柱子承担了较多的地震作用,故对结构的承载力和变形能力来说,柱子的变形和耗能能力有着重要的影响。“强柱弱梁”准则对框架的最终变形机制非常重要。

(3)由于在不同加速度峰值的地震波作用下进行了多次拟动力试验,试件产生了大量的损伤积累,尤其是当试件已发生较大塑性变形后,损伤积累对试验结果的影响更加明显,不同地震波峰值下的位移反应明显不同步。

(4)由于柱中所配有的高强度钢筋,其滞回曲线不十分饱满,骨架曲线没有明显的下降段,钢筋粘结滑移引起的滞回环捏拢现象也不甚严重。提高高强混凝土框架结构的延性仍是今后研究的重点。

(5)由汶川地震震害调查可知,很多框架结构虽按抗震规范规定的“强柱弱梁”原则进行设计建造,许多建筑的破坏仍为柱铰机制破坏。本课题的研究内容可很好地解决这个问题,在框架结构的受压构件中采用高强混凝土和高强钢筋,可有效地提高结构承载能力和延性,更好地实现“强柱弱梁”的原则。

(6)研究成果为进一步研究高强混凝土结构提供了试验和理论依据。

参考文献:

[1] 阎 石,肖 潇,张曰果,等. 高强钢筋约束混凝土矩形截面柱的抗震性能试验研究[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2006, 22(1):7-10.
YAN Shi, XIAO xiao, ZHANG Yue-guo, et al. Seismic performances of square HSC columns confined with high-strength PC rebar [J]. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 2006, 22(1):7-10. (in Chinese)

[2] 阎 石,张曰果,王旭东. 圆形截面高强混凝土柱抗震性能试验研究[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2006, 22(4):538-542.
YAN Shi, ZHANG Yue-guo, WANG Xu-dong. Seismic performance test study on circular HSC columns confined with high-strength rebar [J]. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 2006, 22(4):538-542. (in Chinese)

[3] 阎 石,郑文泉,张曰果. 高强钢筋高强混凝土框架梁柱节点抗震性能试验研究[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2006, 22(2):199-203.
YAN Shi, ZHENG Wen-quan, ZHANG Yue-guo. An experimental study on seismic behaviors of HRC frame joints reinforced with high-strength rebars [J]. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 2006, 22(2):199-203. (in Chinese)

[4] 朱伯龙. 结构抗震试验[M]. 北京:地震出版社, 1989.

- ZHU Bo-long. **Seismic Test for Structures** [M]. Beijing: Seismological Press, 1989. (in Chinese)
- [5] 邱法维, 钱稼茹, 陈志鹏. 结构抗震实验方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- QIU Fa-wei, QIAN Jia-ru, CHEN Zhi-peng. **Seismic Test Methodology for Structures** [M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)
- [6] 赵西安. 用计算机-试验机联机系统进行结构拟动力试验的方法[J]. 建筑结构学报, 1986(5): 32-41.
- ZHAO Xi-an. A pseudo-dynamic method of structural experiment by computer-actuator on-line system [J]. **Journal of Building Structures**, 1986(5): 32-41. (in Chinese)
- [7] Horiuchi T, Inoue M, Konno T, *et al.* Real-time hybrid experimental system with actuator delay compensation and its application to a piping system with energy absorber [J]. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 1999, **28**(4): 1121-1141.
- [8] Nakashima M, Masaoka N. Real-time on-line test for MDOF systems [J]. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 1999, **28**(4): 393-420.
- [9] Buonopane S G, White R N. Pseudo-dynamic testing of masonry infilled reinforced concrete frame [J]. **Journal of Structure Engineering**, 1999, **125**(6): 578-589.
- [10] 马乐为, 吴敏哲. 12层异形柱小型混凝土空心砌块组合结构拟动力试验研究[J]. 世界地震工程, 2002, **18**(4): 159-162.
- MA Le-wei, WU Min-zhe. The pseudo-dynamic testing study on the twelve-storied composite structure system with special-shaped columns and small-scale RC hollow blocks [J]. **World Earthquake Engineering**, 2002, **18**(4): 159-162. (in Chinese)
- [11] 黄 靓, 施楚贤, 刘桂秋, 等. MDOF子结构拟动力方法在复杂高层结构抗震试验中的应用研究[J]. 土木工程学报, 2006, **39**(12): 23-32.
- HUANG Liang, SHI Chu-xian, LIU Gui-qiu, *et al.* MDOF substructure pseudo-dynamic testing for complex tall buildings [J]. **China Civil Engineering Journal**, 2006, **39**(12): 23-32. (in Chinese)
- [12] 中华人民共和国建设部. GB 50011—2001 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- Ministry of Construction of the People's Republic of China. GB 50011—2001 Code for Seismic Design of Buildings [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001. (in Chinese)
- [13] 中华人民共和国建设部. GB 50001—2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- Ministry of Construction of the People's Republic of China. GB 50001—2002 Code for Design of Concrete Structures [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002. (in Chinese)

Pseudo-dynamic experimental research on high-strength concrete frame structure reinforced with high-strength rebars

CHEN Xin^{1,2}, YAN Shi^{*1,2}, JI Bao-jian²

(1. School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: An experimental research on high-strength concrete (HSC) frame structure reinforced with high-strength rebars is presented. The pseudo-dynamic tests were performed for 1/2 scale frame model with two floors and two bays using MTS loading system. The test is to develop the seismic behavior of the frame with high-strength concrete and pre-stressed rebars. The specimen was subjected to 11 loading cases by using three kinds of acceleration records of ground motion with the adjusted amplitude, focusing on study of change of dynamic character during earthquakes, cracking patterns, hysteretic behaviors and seismic responses in elastic and elastic-plastic stages. The experimental results show that this kind of HSC frame structure can meet the requirements of the seismic performance. The results of the test may open a new road for the application of HSC frame structure in seismic zone.

Key words: high-strength rebars; high-strength concrete; frame structure; pseudo-dynamic experiment; substructure; hysteretic behavior; time history response; seismic performances