

文章编号:1671-6833(2013)01-0014-05

两层两跨带施工缝混凝土框架抗震性能研究

阎西康^{1,2}, 马 康¹, 延 华¹, 陈倩倩¹, 陈 培¹

(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:通过对两层两跨带有施工缝钢筋混凝土框架的低周反复荷载试验,对表征其抗震性能的破坏现象、滞回曲线、骨架曲线、位移延性、刚度退化、耗能能力和残余变形进行了深入研究.研究表明:处理良好的施工缝不影响框架结构的开裂和整体性,但带缝框架抗震性能有所降低.

关键词:施工缝;框架结构;抗震性能;低周反复加载试验

中图分类号: TU375 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2013.01.004

0 引言

施工缝是指因施工需要导致前后两次浇筑混凝土的时间间隔超过其初凝时间,虽经处理,但两层混凝土之间的联结仍可能有别于连续浇筑混凝土.框架柱的施工缝一般留置在临近节点核心区的柱底和柱顶.实际结构设计中往往并不考虑施工缝对结构抗震性能的影响,目前国内外对于带施工缝的框架柱抗震性能研究比较少^[1-2].笔者进行了两层两跨带施工缝的钢筋混凝土框架模型与整浇框架模型在低周反复荷载下的力学性能试验,力求对施工缝对其抗震性能的影响进行细致研究.

1 试验概况

1.1 结构设计和制作

根据《建筑抗震试验方法规程》^[3]按 1:3 比例设计两榀两层两跨钢筋混凝土框架缩尺模型,一榀带有施工缝编号为 DF,一榀为整体浇注编号为 ZJ.两榀框架设计参数完全相同,如图 1 所示,混凝土强度等级为 C30.

ZJ 框架混凝土一次浇筑完成,DF 框架混凝土分次立模浇筑.在首层柱的底端和顶端分别留置第一层施工缝和第二层施工缝,在顶层柱的底端和顶端分别留置第三层施工缝和第四层施工缝.

1.2 加载方式及设置

试验在河北工业大学结构实验室静力台座上

进行,如图 2 所示.在框架柱顶利用油压千斤顶一次施加预定轴向荷载并保持稳定,试验前轴力按边柱轴压比 0.23 和中柱轴压比 0.34 计算.试验采取在框架顶层梁中心线施加水平荷载.

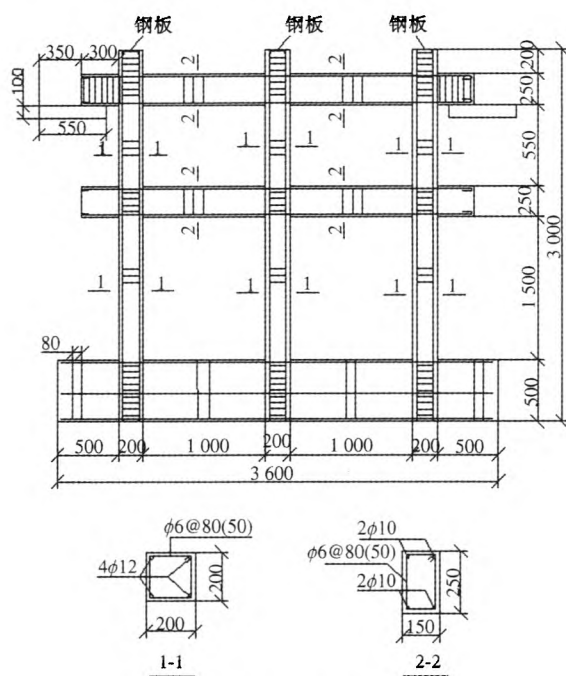


图 1 试件尺寸与配筋图

Fig.1 Details of precast specimen

根据拟静力试验加载制度^[3],水平荷载采用力-位移混合控制施加.以对应主筋应变达到屈服应变确认试件达到屈服点.接近开裂和屈服荷载前宜减小级差进行加载.框架屈服之后由力控

收稿日期:2012-10-09;修订日期:2012-12-13

基金项目:天津市自然科学基金资助项目(11JCYBJC03100)

作者简介:阎西康(1966-),河北冀州人,河北工业大学教授,博士,从事现代施工技术和工程管理研究, E-mail: tjsyxk@126.com.

制转为位移控制加载,以屈服时试件的最大位移值的倍数为级差进行控制加载.



图 2 试验装置图

Fig. 2 Test set-up

2 试验过程及现象描述

在低周循环荷载下,ZJ、DF 框架分别经历了 20、21 次反复循环直到破坏,框架均经历了开裂、屈服、破坏 3 个阶段,最后破坏都是以柱底端钢筋屈服且混凝土压碎为特征.试验过程如表 1 所示,框架裂缝开裂顺序如图 3、图 4 所示.

表 1 框架试验过程描述

Tab. 1 During the test framework description

框架类型	DF 框架			
	荷载/kN	裂缝部位	裂缝特征	备注
开裂荷载	12.3	③轴 ①轴梁端附近(裂缝 1)		
	-13.0	③轴 ②轴梁端附近(裂缝 2)		
屈服荷载	87.7 -79.3	①轴 ②轴柱端	①轴 ③轴柱端距施工缝 27 cm 和 31 cm 处分别产生 5-7 cm 水平裂缝,①轴 ①轴柱端距施工缝 5 cm 产生约 10 cm 水平裂缝(裂缝 10).	当荷载为 115.3 kN 和 -103.7 kN 时,①轴 ①、③轴柱端在距施工缝 10-13 cm 出现水平裂缝 13,与已有水平裂缝连接贯通;①轴 ②轴柱端在距施工缝 10 cm 左右两侧依次出现裂缝 15、16;③轴 ③轴柱端距施工缝 5 cm 处出现 5 cm 长的水平裂缝 14.
极限荷载	120.0 -16.0	①轴柱端压区混凝土压碎	①轴柱底端和③轴柱顶端裂缝集中,出现水平贯通裂缝和竖向裂缝,延伸至框架节点核心区.	
框架类型	ZJ 框架			
	荷载/kN	裂缝部位	裂缝特征	备注
开裂荷载	12.3	③轴梁 ②轴附近开裂(裂缝 1)		
	-16.0	③轴梁端开裂		
屈服荷载	99.70 -85.0	①轴 ①轴柱端屈服	①轴 ①轴柱端两侧距底端 11 cm-15 cm 先后出现水平裂缝 7、11;随后①轴 ②轴柱端距底端 22 cm 产生 3 cm 水平裂缝 12.	当荷载为 142.7 kN 和 -111.3 kN 时,先后产生水平裂缝 13、15、16、17、18.
极限荷载	142.3 -117.7	柱底端压区混凝土压碎	首层柱底端水平裂缝分布区域变大,同时出现竖向裂缝并急剧发展至混凝土剥落.	

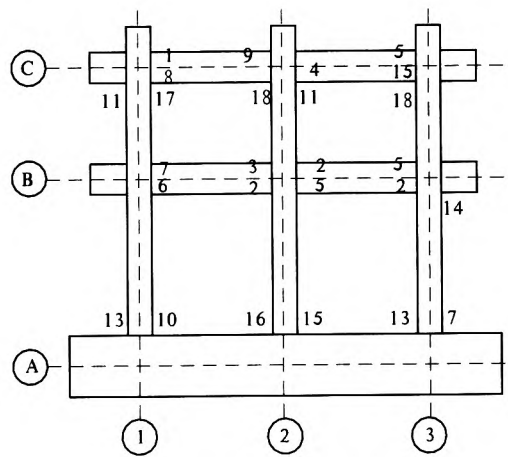


图 3 DF 框架裂缝开裂顺序图
Fig.3 Cracking sequence of DF Frame

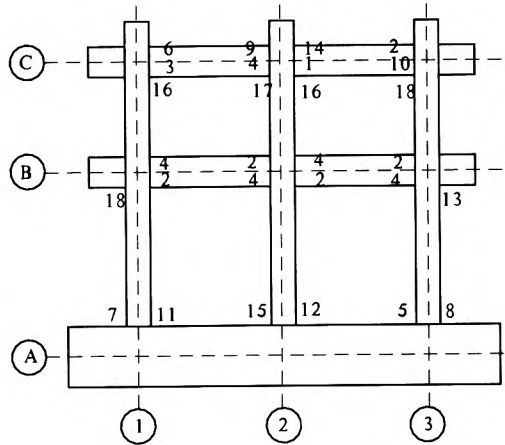


图 4 ZJ 框架裂缝开裂顺序图
Fig.4 Cracking sequence of ZJ Frame

3 试验结果与分析

3.1 滞回曲线

DF 和 ZJ 框架滞回曲线分别如图 5、图 6 所示,形状均呈梭形,有一定的捏缩效应。此阶段 ZJ 框架荷载和位移均明显大于 DF 框架。

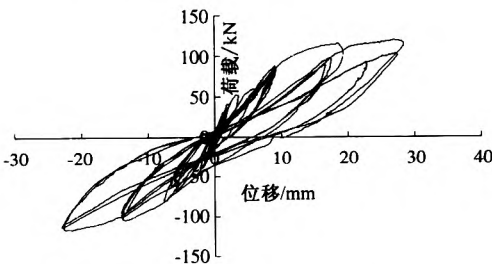


图 5 DF 框架滞回曲线
Fig.5 Hysteresis curve of DF frames

3.2 骨架曲线和延性系数

由实测水平荷载 P 与框架顶点位移的滞回曲线峰点连线得骨架曲线^[4],如图 7 所示。在骨架

曲线的基础上进一步对框架的顶点位移延性系数进行整理计算(表 2)。

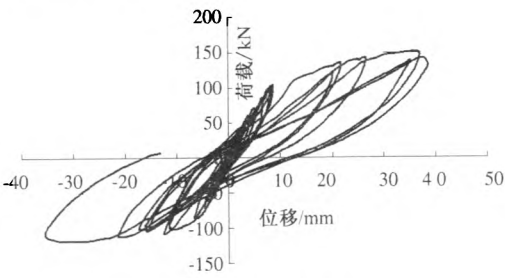


图 6 ZJ 框架滞回曲线
Fig.6 Hysteresis curve of ZJ frames

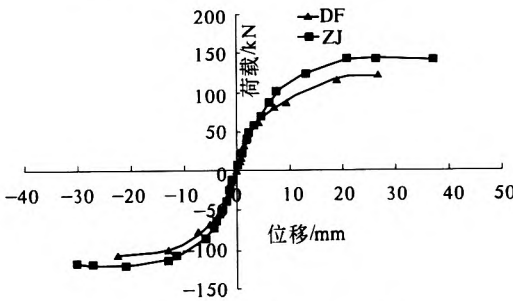


图 7 两榀框架的骨架曲线
Fig.7 Skeleton curves of two frames

由图 7 可以看出,两榀框架从开始加载至屈服,两榀框架都表现出了较好的弹性性能。两榀框架的开裂荷载接近,开裂位移也相近(表 2),正反向荷载条件下对比两榀框架性能对称性良好。随着荷载增加施工缝逐渐开裂,骨架曲线逐渐由重合变成分离,到屈服点时,DF 框架屈服荷载低于 ZJ 的 7% ~ 12%。此后,骨架曲线继续分离,在最高荷载点相差为 7% ~ 19%,ZJ 框架在极限荷载和破坏荷载的延性系数均大于 DF 框架。DF 框架的极限位移延性系数在 2.93 ~ 3.17 之间,而 ZJ 框架的位移延性系数达到 4.77 ~ 5.02。

结果表明,在荷载低于屈服荷载 57% ~ 76% 时,施工缝对框架的承载力的影响不明显,可以认为与整浇框架等效。随着施工缝破坏,DF 框架比 ZJ 框架承载力和位移有所降低,延性系数降低。

3.3 刚度退化

两榀框架试件的刚度退化如图 8 所示。从首层刚度退化和顶层刚度退化很清楚看到两榀框架退化曲线,退化明显,并且在屈服强度 50% ~ 60% 处相交。根据此交点可以将曲线分为两部分,前半部分和后半部分。前半部分开始 ZJ 框架刚度比 DF 框架下降较快,随着荷载变大,DF 框架刚度急剧下降,在屈服强度 50% ~ 60% 两榀框架曲线交叉,此处两者刚度相等,位移相等。后半部分,

DF 框架继续延续刚度下降趋势,比 ZJ 框架要快,刚度差距明显,DF 框架刚度为 ZJ 框架的 64% ~ 80%.

表 2 框架顶点位移及延性系数
Tab.2 Top displacement and displacement of frame

阶段	位置	带缝		整浇	
		正向	反向	正向	反向
开裂点	P_A/kN	12.3	-13.0	12.3	-16.0
	Δ/mm	0.44	-0.22	0.81	-0.68
屈服点	P_B/kN	87.7	-79.3	99.70	-85.00
	Δ/mm	8.99	-7.11	7.91	-6.07
	Δ_B/H	1/256	-1/323	1/291	-1/379
最高荷载点	P_C/kN	115.3	-103.7	142.7	-111.3
	Δ/mm	18.66	-13.17	26.05	-21.26
	Δ_C/H	1/123	-1/175	1/88	-1/108
	μ_m	2.08	1.85	3.29	3.50
极限荷载点	P_D/kN	120.0	-106.0	142.3	-117.7
	Δ/mm	26.93	-22.52	37.77	-30.49
	Δ_D/H	1/85	-1/102	1/61	-1/75
	μ_Δ	3.00	3.17	4.77	5.02

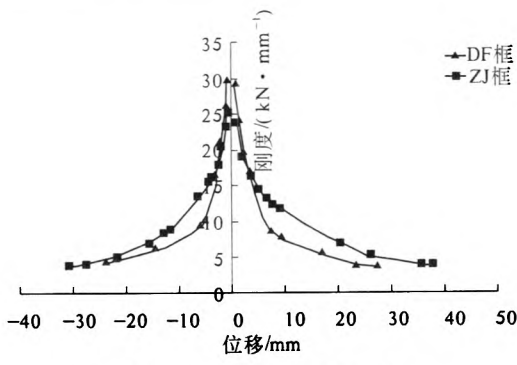


图 8 两榀框架的刚度退化
Fig.8 Rigidity degeneration of two frames

3.4 耗能能力

从框架耗能百分比图 9、图 10 的趋势看,框架 DF、ZJ 的能量耗散随着水平位移的增加而增加.当水平位移循环为 Δ 的时候,三次循环耗能的百分比较低,不到 5%,并且每次耗散能量基本相同.当水平位移循环继续加大到 2Δ 和 3Δ 时候,在相同位移的三次循环下,框架的第一次循环能量耗散最多,而后两次均有所下降.其中 DF 框架后两次下降幅度较大,较第一次相差 10% 左右,而后两次能量耗散基本相同,可以忽略不计.施工缝的开裂发展使框架损失的强度较大.ZJ 框架三次能量耗散呈均匀下降趋势,幅度在 2% ~ 7% 之间.ZJ 框架具有较好的耗能性能.

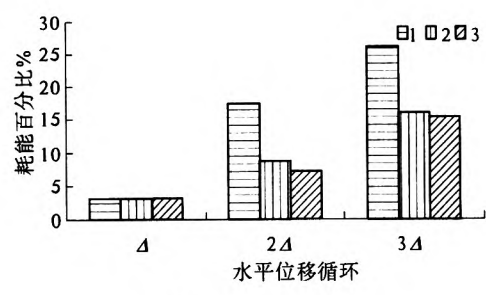


图 9 DF 框架耗能
Fig.9 Energy dissipation of DF frame

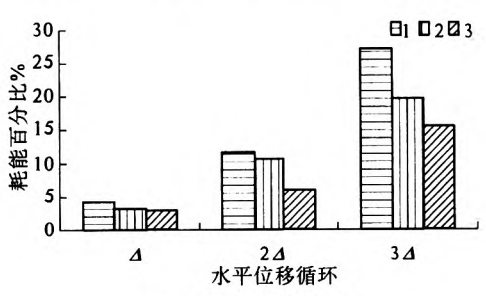


图 10 ZJ 框架耗能
Fig.10 Energy dissipation of ZJ frame

3.5 变形恢复能力

用残余变形率和相对位移绘制出残余变形图 11.从两组图中可以看出,随着位移的增加,试件的残余变形也不断增加,反映了反复荷载对试件的损伤不断累积.除顶层梁正向加载外,DF 框架的残余变形大于 ZJ 框架.ZJ 框架正向和反向曲线形状基本对称于纵线轴,而 DF 框架的曲线正向残余变形率大于反向的.

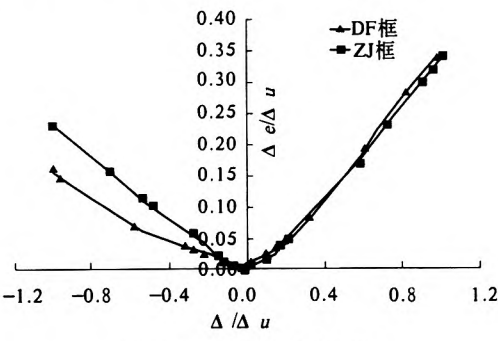


图 11 框架的残余变形
Fig.11 Residual deformation of frame

4 结论

- (1)两榀框架都是从顶层梁局部位置开裂,之后依次首层梁、顶层梁梁端开裂,然后首层边柱柱底端,其次柱顶中柱柱端,最后边柱.中间或有柱端施工缝附近处的开裂.但显见处理良好的施工缝的存在对框架各构件开裂影响较小.
- (2)两榀框架破坏均由柱底主筋屈服和混凝土

土压碎决定.在低周反复荷载作用下框架结构鲜有在施工缝处破坏现象,即无论有无施工缝结构均在首层框架柱底端破坏,且破坏位置距离施工缝较远,说明施工缝的存在没有破坏结构的完整性.

(3) 尽管施工缝的存在不会对结构的承载力产生影响,但对框架结构的抗震性能有一定影响.如 DF 框架耗能能力低于 ZJ 框架,同级位移循环荷载下施工缝的开裂使框架强度退化和刚度退化下降明显;在荷载低于屈服荷载 57% - 76% 时,DF 框架的承载力低于 ZJ 框架,之后随着荷载加大施工缝处逐渐破坏,DF 框架的承载力低于 ZJ 框架;DF 框架在极限荷载和破坏荷载的延性系数小于 ZJ 框架;施工缝的开裂降低 DF 框架的变形恢复能力,并使框架在循环荷载下保持对称受力性能等.

(4) 框架结构设计与施工中应重视施工缝的处理,尽量避免施工缝对结构抗震性能的不利影响.

参考文献:

- [1] 魏春明,宋玉普,刘健.现浇钢筋混凝土框架柱施工缝抗震性能试验研究[J].大连理工大学学报,2006,45(4):527-532.
- [2] 阎西康,张英来,陈培.带有施工缝的钢筋混凝土框架柱的抗震性能试验研究[J].建筑施工,2011(11):1030-1031,1034.
- [3] 中国建筑科学研究所. JGJ 101—96 建筑抗震试验方法规程[S].北京:建设部标准定额研究所,1996.
- [4] 徐云扉,胡庆昌,陈玉峰,等.低周反复荷载下两跨三层钢筋混凝土框架受力性能的试验研究[J].建筑结构学报,1986,7(2):1-16.

Study on Seismic Behavior of a Two-story Two-bay Concrete Frame With Construction Joint

YAN Xi-kang^{1,2}, MA Kang¹, YAN Hua¹, CHEN Qian-qian¹, CHEN Pei¹

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

Abstract: The seismic behaviors such as failure pattern, hysteretic characteristic, skeleton curve, displacement ductility, rigidity degradation, energy dissipation and residual deformation of two-story two-bay reinforced concrete frame with construction joint are studied systematically. The results show that carefully treated construction joint has a greater impact on seismic performance than crack and integrity of reinforced concrete frame.

Key words: construction joint; frame structure; seismic performance; low cycled reversed loading experiment