

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2019.01.004

竖向拼缝 L 形剪力墙抗震性能试验

秦士洪¹, 范世杰¹, 张 瀑², 李浩然¹, 江林辉¹

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 2. 四川省建筑科学研究院, 成都 610081)

摘要:为研究竖向拼缝对预制装配 L 形混凝土剪力墙抗震性能的影响,对 3 个剪跨比为 2.15 的足尺 L 形混凝土剪力墙试件进行了低周反复荷载试验。拼缝采用无筋键槽形式,其中 2 个装配试件的竖向拼缝位置不同,另 1 个是整浇对比试件。试验结果表明:竖向拼缝对墙体的裂缝发展有一定影响,试件的裂缝在发展至拼缝键槽处后,会错动至键槽的尖点后再继续发展;竖向拼缝对试件的水平承载力及破坏形态没有明显影响,但对试件的延性及耗能有显著的影响,2 个装配试件的正向位移延性分别提高了 0.2% 和 14%, 负向位移延性提高了 8% 和 14%, 耗能能力提高了 30%, 但竖向拼缝的位置对于耗能能力的影响不大;穿过竖向拼缝的水平钢筋没有发生应变突增或提前屈服。

关键词:预制装配结构;抗震性能;低周反复荷载试验;L 形混凝土剪力墙;竖向拼缝

中图分类号:TU317.1

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2019)01-036-12

Experimental study on seismic behavior of L-shaped shear wall with vertical joints

QIN Shihong¹, FAN Shijie¹, ZHANG Pu², LI Haoran¹, JIANG Linhui¹

(1. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P.R.China;

2. Sichuan Institute of Building Research, Chengdu 610081, P.R.China)

Abstract: To research how vertical joints effect the seismic performance of prefabricated L-shaped shear wall, three L-shaped shear walls with shear span ratio of 2.15 were studied experimentally by the quasi-static test system. The vertical joints which are in different positions in two prefabricated wall are unreinforced keyway, and the other one is cast-in place. The test results show that the crack pattern has some difference with cast-in place shear wall. Cracks will go not cross the vertical joints directly, but crossing the vertical joints from its shear key shape point. The vertical joints have little effect on horizontal bearing capacity and failure modes, but ductility and energy dissipation are influenced significantly. The forward displacement ductility of two L-shaped wall with vertical joints increase by 0.2% and 14% repectively while the backward displacement ductility increases by 8% and 14%, and energy dissipation capacity increases by 30%. The position of vertical joints has little effect on energy dissipation. In addition, there were no sudden increase of strain and yield in advance in horizontal reinforcement crossing the vertical joints.

Keywords: prefabricated assembly structure; seismic performance; quasi-static test; L-shaped shear wall; vertical joints

收稿日期:2018-07-08

基金项目:重庆市“社会事业与民生保障科技创新专项”(cstc2016shmszx30008)。

Supported by Chongqing “Science and Technology Innovation Project for Social Undertakings and People’s Liveihood Guarantee”(cstc2016shmszx30008).

作者简介:秦士洪(1954—),男,教授,博士生导师,主要从事预应力与砌体结构研究。(E-mail)qinshihong_1@163.com。

装配式剪力墙结构在预制分拆时,为了制作和运输的方便,预制部分的墙体一般制作成一字型。对于 L 形剪力墙,2 个方向的预制一字型墙体需通过 L 形现浇钢筋混凝土带进行连接,这样就会形成带竖向拼缝的 L 形预制装配式剪力墙。

与整体现浇剪力墙结构相比,带竖缝剪力墙结构整体性较差,接缝处易产生应力集中现象,且变形不连续,故结构的抗震性能取决于竖缝的连接性能,对竖缝的研究至关重要^[1]。国内外学者对带缝的装配式剪力墙进行了研究,美国 NIST 项目对采用螺栓连接和焊接连接的竖向接缝进行了低周反复加载试验^[2],表明螺栓连接耗能性能较好,采用滑移摩擦型连接的竖缝能获得更好的耗能能力。Pekau O A 等^[3-4]对竖缝剪力墙进行了大量研究,提出了将有限滑移螺栓用于大板结构竖缝,达到改善大板结构的抗震性能,并发现竖缝设计主要考虑抗剪承载力。Crisafullif F J 等^[5]采用圆孔焊接连接板连接竖向接缝,表明矩形钢板屈服可增大墙体耗能能力。Ramin Vaghei 等^[6]通过有限元分析发现竖向现浇带并未明显影响墙体裂缝发展,墙体受力性能与全现浇剪力墙无明显差异。Pantelides C P 等^[7]对装配式剪力墙的竖向接缝采用纤维聚合物加固并进行低周反复试验,发现纤维聚合物可有效传递荷载。Barluenga G 等^[8-9]提出通过粘结剂将“V”字形竖缝粘结,模拟分析发现,该种竖缝表现出良好的耗能及变形特性。孙香花等^[10]对带竖缝剪力墙进行了抗震性能研究,证明了竖缝的存在可以改变剪力墙的破坏形态,增强抗震性能。康胜^[11]对双功能带缝剪力墙进行了研究,结果表明,强震时连接键的受剪破坏导致墙体刚度减小,从而减弱地震作用。

在以往对预制装配式剪力墙的研究中,往往采用的是一字形装配式剪力墙,或者研究的墙体既有上下层之间形成的水平缝,又有同层墙体所形成的竖缝,这样的研究方式无法区分不同的接缝对预制墙体受力性能的影响。文中设计了 2 个不同位置竖缝拼接的 L 形剪力墙试件及 1 个整浇 L 形剪力墙对比试件,通过 3 个试件的低周反复荷载试验,对比带竖缝试件与整浇试件的抗震性能,以探明竖向拼缝对剪力墙抗震性能的影响,并分析竖向拼缝的工作机理。

1 抗震性能试验

1.1 试件设计及制作

3 个 L 形剪力墙试件分别为整浇对比试件 XQL-1(以下简称整浇试件),不同竖向拼缝位置装配试件 YQL-1 和 YQL-2(以下简称装配试件)。拼缝采用无筋键槽形式,其中,YQL-1 的竖向拼缝位于截面长肢向的形心处,YQL-2 的竖向拼缝位于长肢边缘构件边。3 个试件的混凝土均为 C30,配筋亦相同,截面配筋参照 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》^[12]和 JGJ 3—2010《高层建筑混凝土结构技术规程》^[13]中构造边缘构件的要求配置,均大于规范规定的最小配筋率。此外,由于试件尺寸的限制,水平筋没有采用搭接方式。试件具体尺寸及配筋如图 1 所示,图中仅给出了 YQL-1 的立面配筋图,YQL-2 的配筋与其相同,仅拼缝位置不同。

由于试验周期及钢筋采购的缘故,试件的钢筋有 2 个批次,第 1 批用于 XQL-1,第 2 批用于 YQL-1 和 YQL-2。钢筋和混凝土的实测力学性能如表 1 和表 2 所示。

表 1 钢筋强度实测值

Table 1 Mechanical properties of the reinforcement

批次	d/mm	f_y/MPa	f_u/MPa	$\epsilon_y/\mu\epsilon$
第一批次	$\phi 8$	330.5	441.7	3 608
	$\Phi 8$	422.4	615.0	4 167
	$\Phi 10$	412.5	630.4	1 970
	$\Phi 14$	467.7	574.3	2 541
第二批次	$\phi 8$	392.9	525.0	4 058
	$\Phi 8$	479.2	611.7	4 686
	$\Phi 10$	457.4	638.6	2 277
	$\Phi 14$	458.7	577.0	2 524

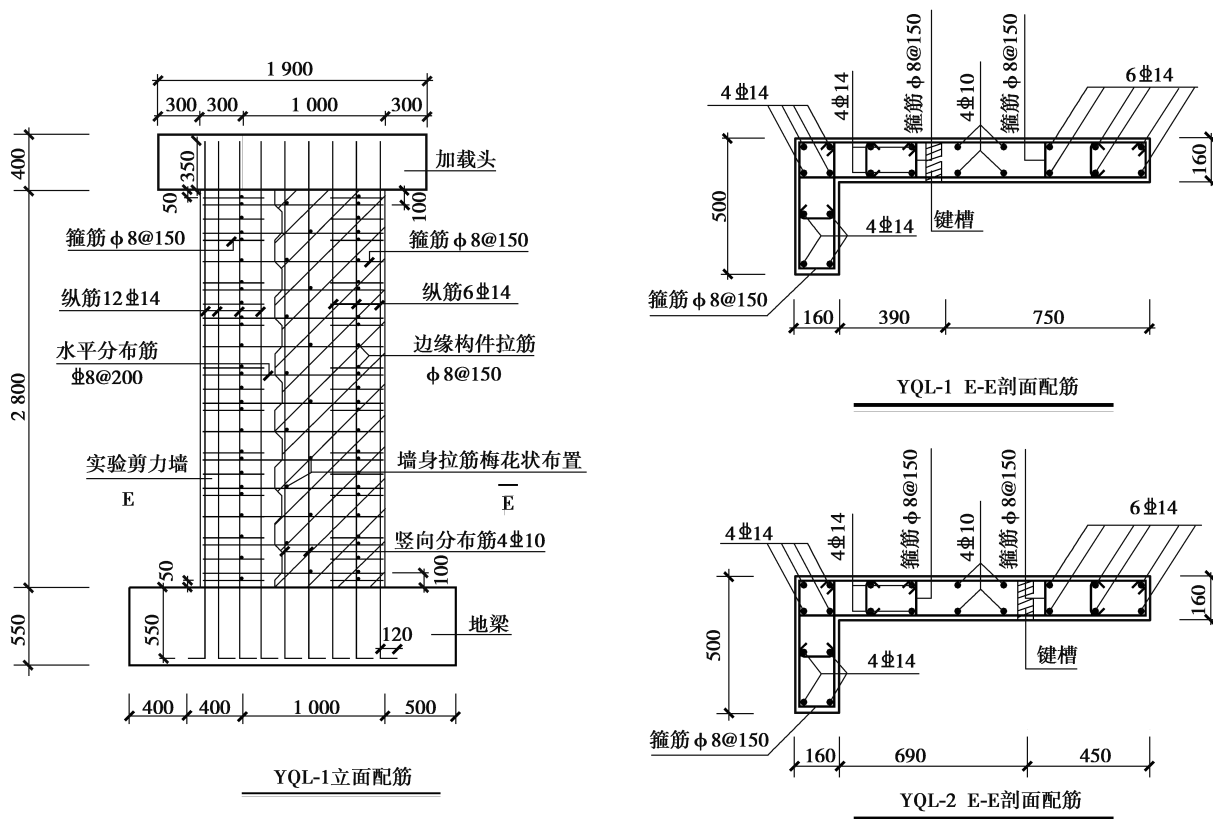


图 1 试件配筋图

Fig.1 Reinforcement of specimens

表 2 混凝土强度实测值

Table 2 Mechanical properties of concrete

MPa

试件	先浇部分		后浇部分	
	实测	平均	实测	平均
XQL-1	29.64		—	
	29.83	29.42	—	—
	28.79		—	
YQL-1	36.6		29.5	
	38.7	36.9	31.2	31.4
	35.4		33.7	
YQL-2	37.1		30.2	
	37.8	37.4	28.5	29.9
	37.6		30.9	

YQL-1 和 YQL-2 为预制装配试件,采用分批次先后浇筑来模拟预制装配,即在试件制作时,先浇部分模拟实际工程中的“预制”部分,预留键槽,待“预制”部分混凝土强度达到 C30 强度的 75% 时,将键槽结合面人工凿毛,再浇筑“现浇”部分,以形成同层墙体连接时的竖向拼缝,其浇筑顺序如图 2 所示。2 个装配试件的竖向拼缝位置不同,以便考察它们的性能有何区别。

1.2 试验方法

试验采用 1 500 kN 液压千斤顶施加轴力,1 000 kN 伺服 MTS 系统施加水平推力和拉力,加载装置如图

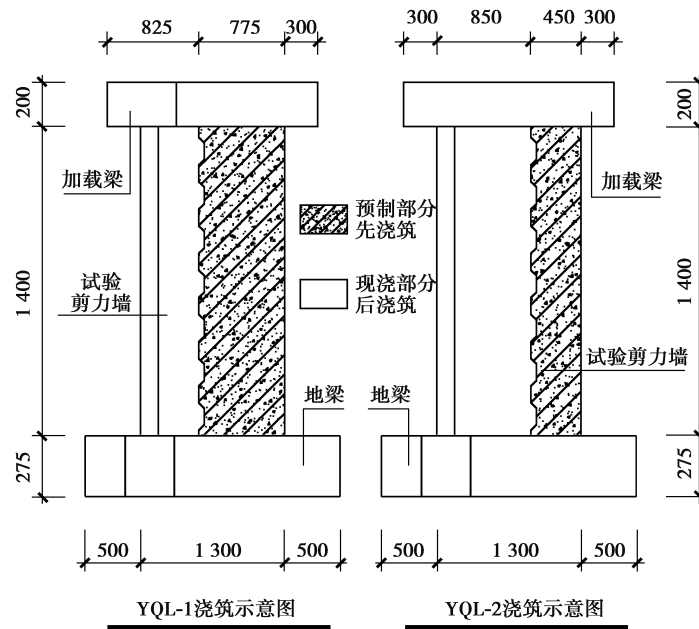


图 2 YQL-1/YQL-2 浇筑顺序示意图

Fig.2 Pouring order of the YQL-1/YQL-2

3 所示。试验时,首先在试件顶部截面形心处分级施加轴向力,达到 0.14 的试验轴压比后,再施加水平往复荷载^[14],水平力方向平行于剪力墙长肢方向。在试件边缘构件纵筋屈服前,采用力控制分级加载,每级水平力下循环 1 次,屈服后,采用水平位移控制加载,每级位移下循环 3 次。

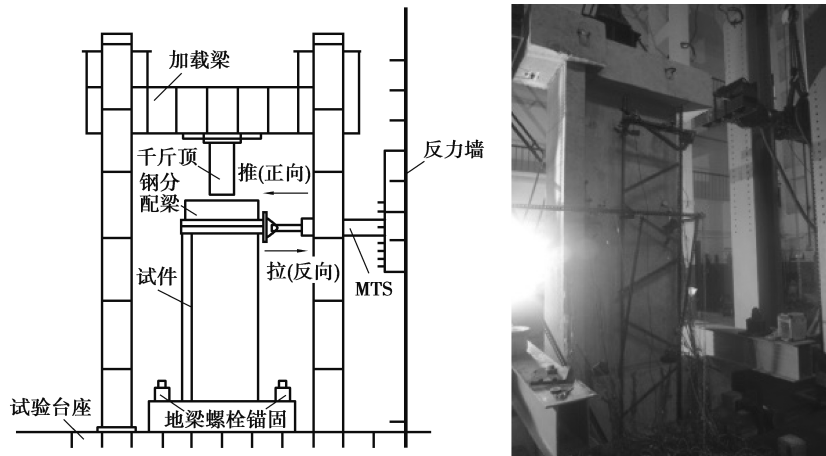


图 3 加载装置

Fig.3 Test setup

2 试验结果及分析

2.1 试验现象

3 个试件的破坏形态相同,都表现为边缘构件纵筋首先屈服,然后,长肢的端部以及转角处的混凝土被压溃。但与整浇试件明显不同的是,装配试件的竖向拼缝键槽处会出现齿状裂缝,竖向拼缝会影响装配试件的斜裂缝发展,表现为斜裂缝发展至键槽处后,错动至键槽折角再继续发展。

2.2 滞回曲线及骨架曲线

为叙述方便,定义 L 形试件的短肢受压时为正向加载,受拉时为负向加载;当水平荷载达到最大值时,称之为峰值荷载,下降到峰值荷载的 85% 时,称之为极限荷载。图 6 为试验中获得的各试件的滞回曲线和骨架曲线,可以看出,正向加载时骨架曲线基本重合,负向加载时差异较大,这是由于整浇试件 XQL-1 是一次性

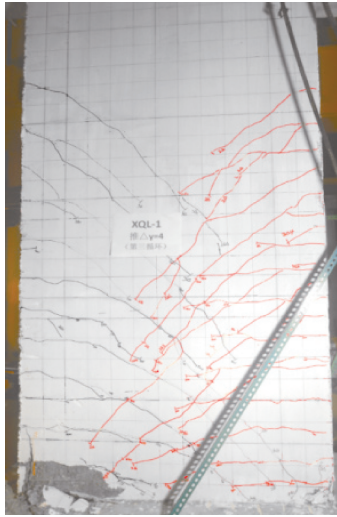


图 4 XQL-1 裂缝形态

Fig.4 Cracks formof XQL-1

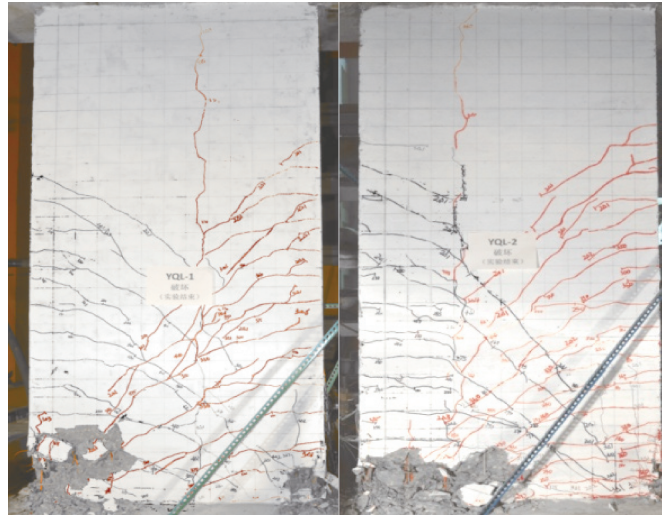


图 5 YQL-1,YQL-2 裂缝形态

Fig.5 Cracks formof YQL-1 and YQL-2

浇筑,全墙身的混凝土强度为 29.42 MPa,而装配试件 YQL-1 和 YQL-2 的长肢端部受压区为分批预制,其强度高于后浇部分,分别达到 36.9 MPa 和 37.4 MPa,高于 XQL-1,导致在负向加载时 YQL-1 和 YQL-2 的长肢端部受压区强度较高,故骨架曲线呈现出较大的差异。

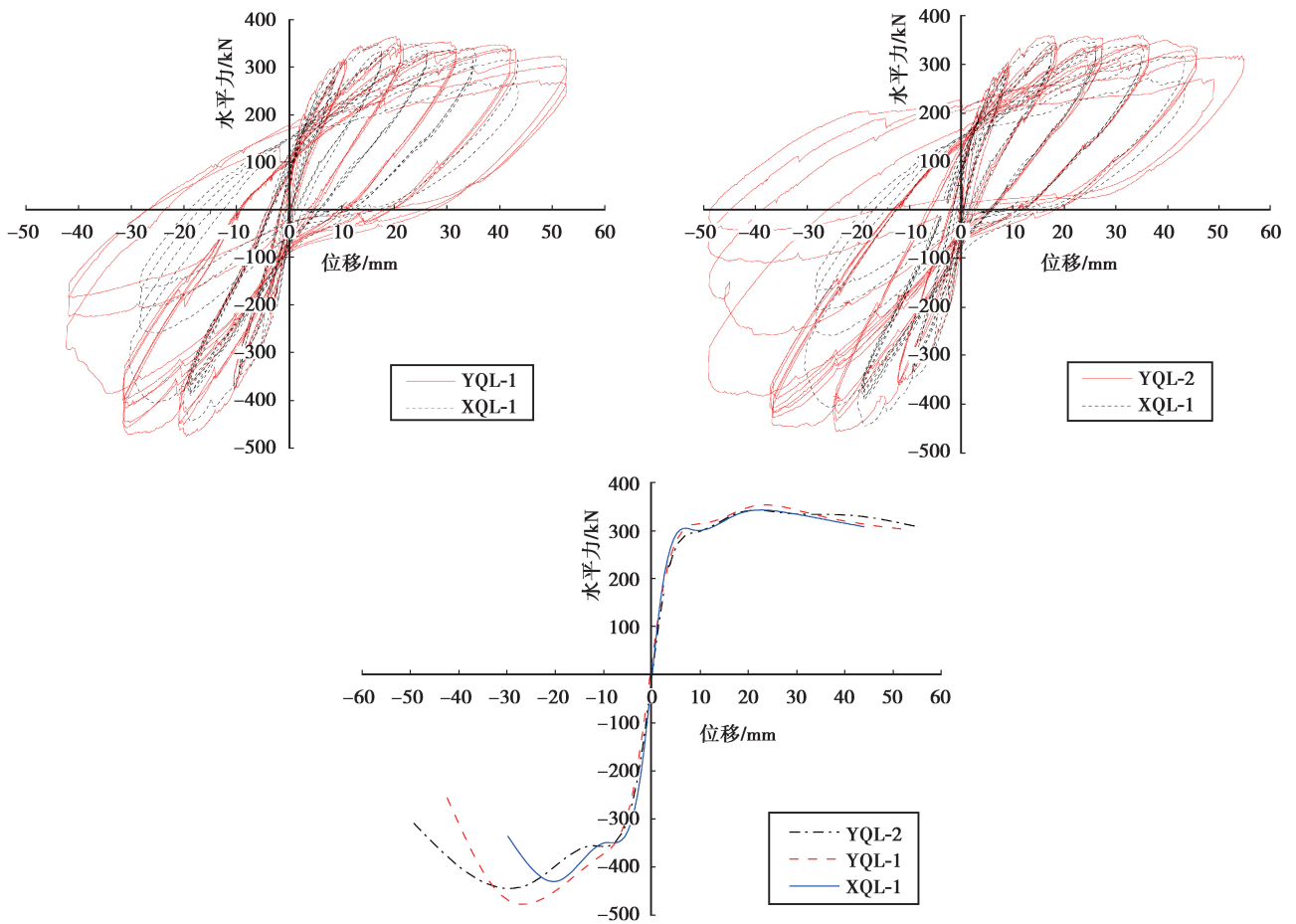


图 6 试件滞回曲线及骨架曲线对比

Fig.6 The test hysteretic curve and test skeleton curve of specimens

2.3 承载力对比

表 3 列出了各试件在边缘构件纵筋屈服状态和峰值荷载状态下的水平承载力。不难看出,竖向拼缝并没有使装配试件的水平承载力明显变化,其屈服荷载及峰值荷载约为整浇试件的 0.98~1.06 倍。

表 3 各试件承载力对比

Table 3 The bearing capacity of three specimens

kN

试件编号	屈服荷载		峰值荷载	
	正向	负向	正向	负向
XQL-1	300	349	339	429
YQL-1	314	373	350	458
YQL-2	296	356	338	432

2.4 位移延性

延性系数 μ 定义为极限位移 Δ_u 与屈服位移 Δ_y 的比值,极限位移取试件荷载下降到 0.85 倍峰值荷载 F_u 时的位移。表 4 列出了各试件的位移延性系数。

表 4 各试件位移延性比较

Table 4 The displacement ductility coefficient of three specimens

试件编号	Δ_u /mm		Δ_y /mm		μ	
	正	负	正	负	正	负
XQL-1	43.8	29.7	8.7	9.5	5.0	3.1
YQL-1	52.7	35.3	10.5	10.5	5.0	3.3
YQL-2	52.6	43.3	9.1	12.2	5.7	3.5

从表 4 看出,3 个试件的正向位移延性系数可达到 5.0 左右,负向位移延性系数均大于 3.0。显然,正向加载时试件短肢位于受压区,其受压面积较大,受压损伤较长肢端部轻,破坏延后,故正向位移延性系数大于负向。但无论是正向加载,还是负向加载,YQL-1 以及 YQL-2 的位移延性系数较整浇试件 XQL-1 均有所提高,其中,YQL-1 和 YQL-2 的正向位移延性系数较 XQL-1 提高了 0.2% 和 14%,负向位移延性系数提高了 8% 和 14%。提高的原因是,竖缝键槽处的齿状裂缝在 $1\Delta_y \sim 2\Delta_y$ 时就全部形成,造成其后的极限位移增大。

2.5 刚度退化

将同级位移下,第一次达到最大位移时的割线刚度定义为等效刚度 K ,表 5 列出 3 个试件在屈服荷载、峰值荷载、极限承载力时的割线刚度数据,其中, K_y 、 K_u 、 K_q 分别代表屈服、峰值、极限承载力时的刚度。图 7 为 3 个试件的割线刚度退化图。从表 5 看出,正向加载时,装配试件的 K_y 为整浇试件 K_y 的 0.87~0.94 倍, K_q 为整浇试件的 0.8 倍左右;负向加载时, K_y 为整浇试件的 0.79~0.97 倍, K_q 为整浇试件的 0.56~0.60 倍。带竖向拼缝的试件各阶段的刚度均小于整浇试件,这是由于在墙体键槽齿缝处竖向通缝逐渐形成,墙体整体性较 XQL-1 有所下降所造成的。

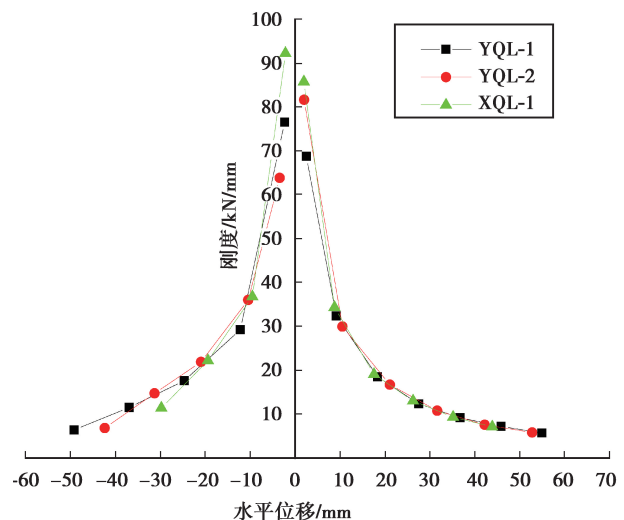


图 7 试件刚度退化图

Fig.7 The Stiffness degradation of three specimen

表 5 试件各阶段刚度

Table 5 Stiffness in different stage of three specimens

试件编号	正向			负向		
	K_y	K_u	K_q	K_y	K_u	K_q
XQL-1	34.2	12.9	7.0	36.7	22.1	11.3
YQL-1	29.8	16.6	5.7	35.9	14.6	6.7
YQL-2	32.3	18.4	5.6	29.1	17.5	6.3

2.6 耗能能力

通过提取各试件在试验全过程中各滞回环的力与位移数值,计算得到各试件的耗能曲线如图 8 所示。可以看出,试件开裂直至试件破坏的各个阶段,装配试件的耗能能力在相同位移下,略大于整浇试件,约为后者的 1.3 倍。表明在地震作用下,竖向拼缝有利于提高墙体的耗能能力,其原因同 2.4 节,可以认为键槽处齿状裂缝间的粗糙面在反复变形下的来回摩擦增加了试件的耗能。YQL-1 和 YQL-2 虽然其竖向拼缝留设位置不同,但其各阶段的耗能能力相差不大,从具体数值来看,在相同的屈服位移条件下,YQL-1 的耗能能力约为 YQL-2 耗能能力的 0.9~1.1 倍。

2.7 位移角

表 6 列出了 3 个试件在屈服状态和极限状态下的位移角。可以看出,3 个试件最外侧纵筋屈服时的位移角均在 1/300 左右,当试件承载力下载至峰值荷载的 85% 时,极限位移角在 1/60 左右,而《建筑抗震设计规范》^[12] 规定的剪力墙结构弹塑性极限位移角为 1/120。说明带竖向拼缝的 L 形剪力墙的抗侧能力与整浇墙相近,有足够的变形能力和承载能力,在大震下的位移角限值可以满足现行规范要求,在设计中可与整浇剪力墙结构采用相同的位移角限值,进行大震下的弹塑性层间位移角分析。

表 6 试件位移角

Table 6 Displacement angle of three specimens

试件编号	加载方向	屈服	极限
XQL-1	正向	1/319	1/63
	负向	1/293	1/93
YQL-1	正向	1/265	1/53
	负向	1/267	1/66
YQL-2	正向	1/305	1/61
	负向	1/229	1/56

2.8 钢筋应变

2.8.1 纵筋应变分析

为了分析竖向拼缝对试件纵筋应变的影响,对 3 个试件按图 9 进行了纵筋应变测点布置。

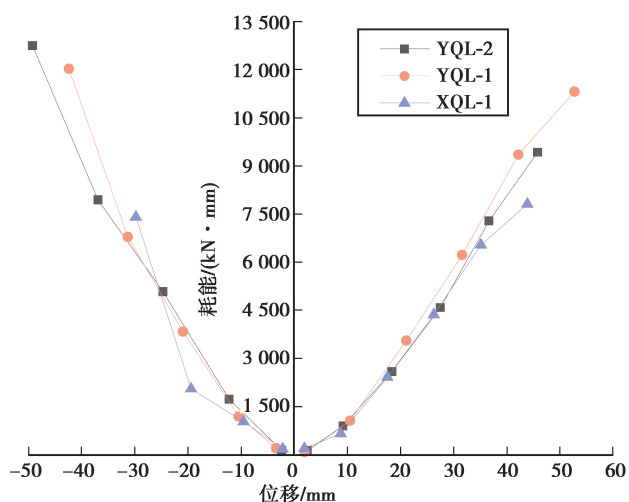


图 8 试件耗能曲线图

Fig.8 Energy consumption curve

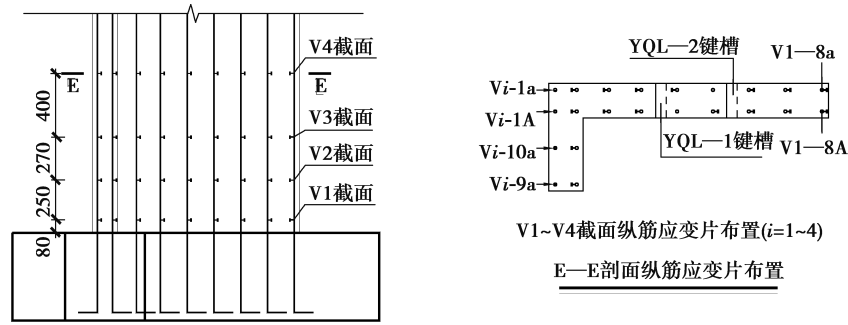


图 9 试件纵筋应变测点布置

Fig.9 Distribution of Longitudinal reinforcement spot in three sepcimens

分别选取 YQL-1 和 YQL-2 长肢边缘构件最外侧 V1~V4 截面纵筋应变和短肢 V1 截面纵筋应变,并与整浇试件 XQL-1 相同位置处纵筋应变进行比较。

从图 10 可以看出,在试验进入到 $+4\Delta_y$ 和 $-3\Delta_y$ 以后,剪力墙中竖向拼缝的存在使得其墙身纵筋的塑性区域较整浇墙更大,这也是装配试件耗能能力高于整浇试件耗能能力的重要依据。

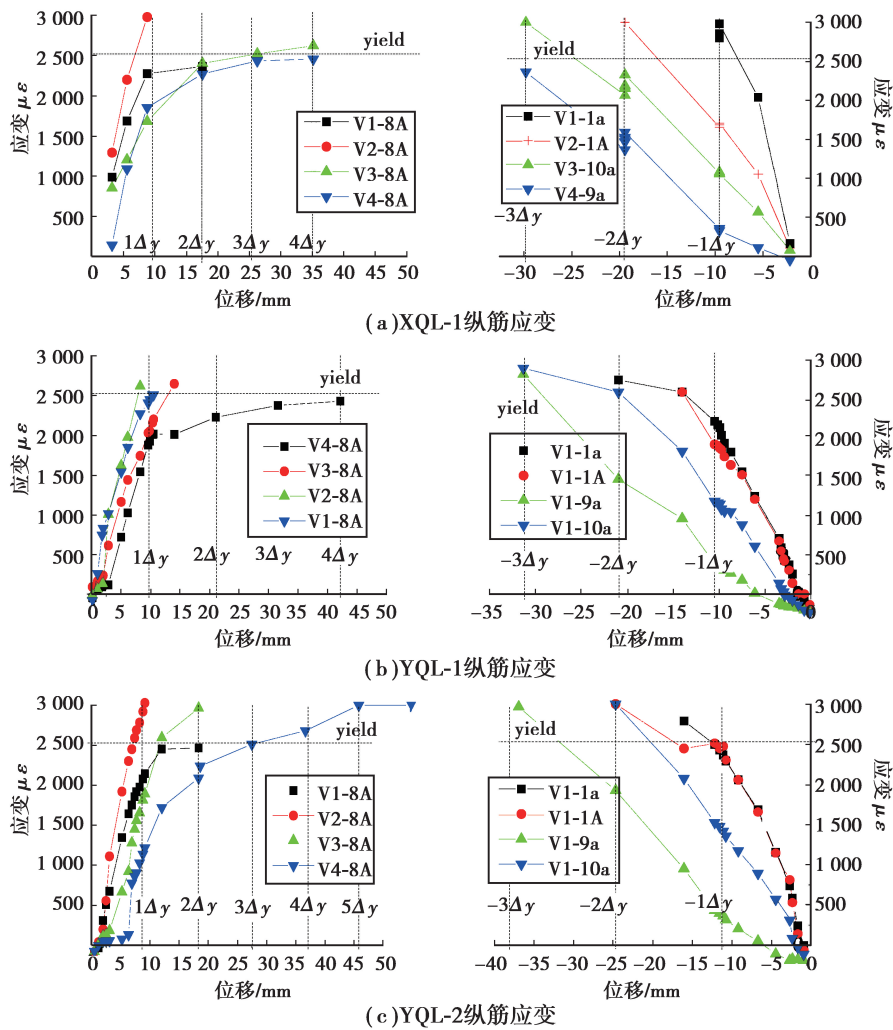


图 10 各试件纵筋应变

Fig.10 The strain of the longitudinal bars in different displacement of three specimens

图 11 为各试件长肢 V1 截面纵筋应变沿截面长肢的分布图,其横坐标原点为 L 形试件长肢与短肢的交点。可以看出,无论是整浇剪力墙试件,还是带竖向拼缝的 L 形剪力墙试件,在长肢端部纵筋达到屈服以前均能很好地满足平截面假定。

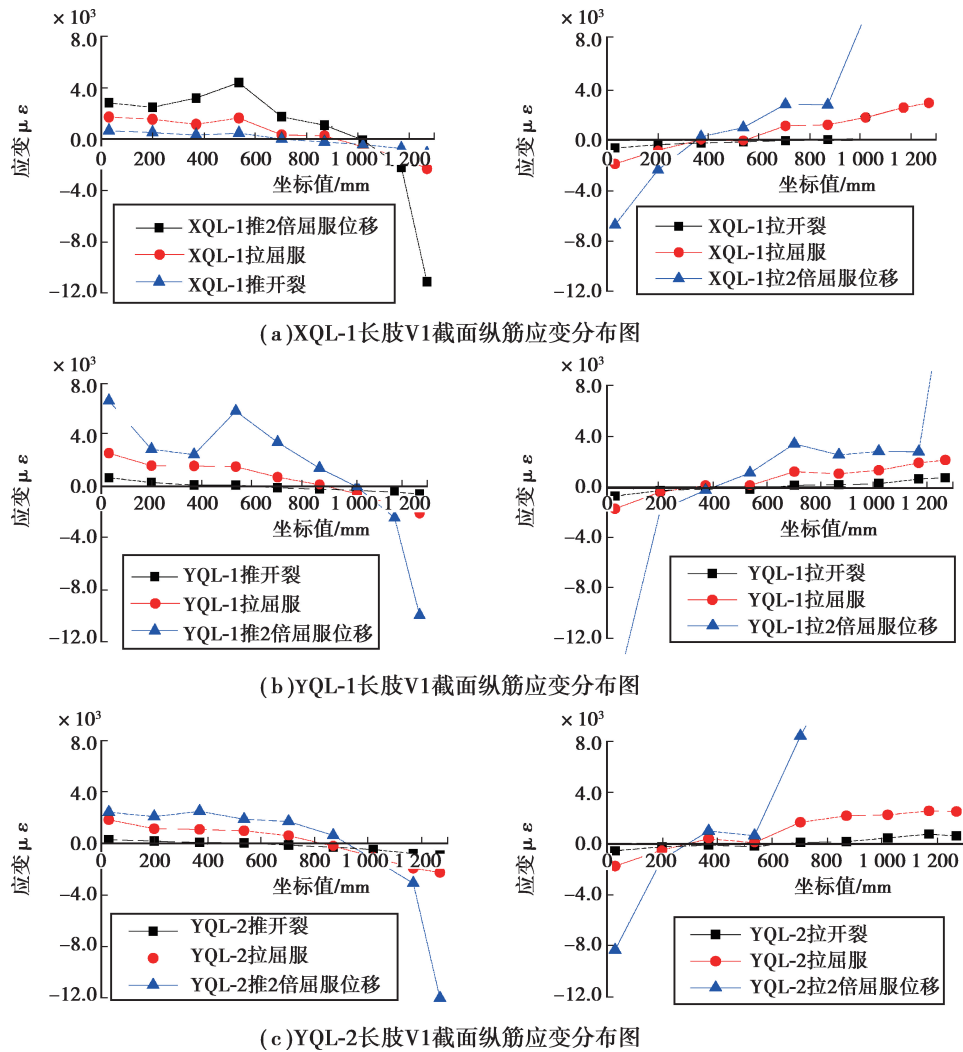


图 11 各试件长肢 V1 截面纵筋应变

Fig.11 Longitudinal bars strain of three specimens

2.8.2 水平筋应变分析

为分析竖向拼缝的存在对墙体水平筋的受力是否有显著的不利影响,在 YQL-1 和 YQL-2 的竖向拼缝两侧以及 XQL-1 的相应位置设置应变片,如图 12 所示。分别提取各试件 T1、T3、T5 截面处竖缝两侧水平筋应变分析,其应变-位移变化如图 13 所示。

试验过程中,竖缝键槽处齿状裂缝均在 $1\Delta_y \sim 2\Delta_y$ 时全部形成,但将 YQL-1 和 YQL-2 竖向拼缝两侧水平筋的应变与整浇 L 形试件对应位置处水平筋的应变做比较,发现无论竖向拼缝是在 L 型截面形心处还是在长肢边缘构件边,试验所测得应变均表明截面形心处水平筋应变最大。由此可见,竖向拼缝以及齿状裂缝的出现,并未导致穿过竖向拼缝的水平筋应变突增或立刻屈服。设计中不必因竖向拼缝的存在而特意加强水平配筋。

2.9 类似试验对比

杨勇^[15]对 3 片带竖向结合面一字形预制混凝土剪力墙试件 DY12、DY14、DY16 和 3 片同条件的整浇剪力墙试件 dx12、dx14、dx16 进行了低周反复荷载试验,钱稼茹^[16]对现浇剪力墙试件 SW1、边缘构件在地梁预埋不同竖向直径钢筋的预制剪力墙试件 TW1、TW2 以及对竖向结合面分别采用键槽连接、粗糙面连接的 TW3、TW4 试件进行了低周反复荷载试验。结果表明,带竖向结合面预制剪力墙的破坏形态,都表现为边缘构件纵筋先屈服,然后,角部混凝土再发生大量压溃。其中文献^[16]的 TW3、TW4 试件的多条水平裂缝发展至竖向接缝时,沿着接缝继续向现浇部分发展,此后竖向接缝出现锯齿状竖向裂缝,与本试验相一致。

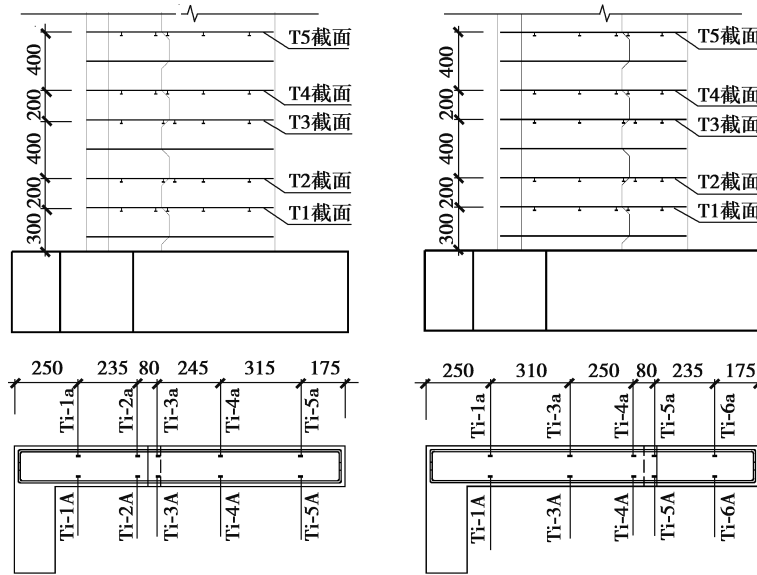


图 12 YQL-1 及 YQL-2 水平筋应变测点

Fig.12 Distribution of horizontal reinforcement spot in YQL-1 & YQL-2

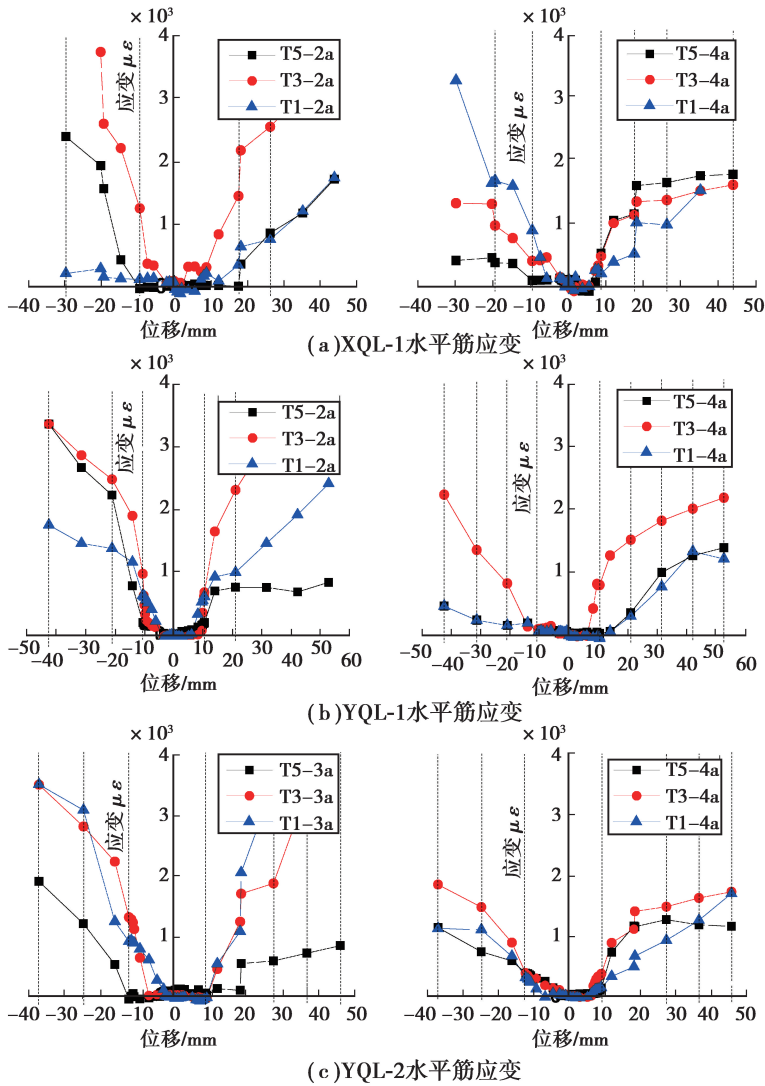


图 13 试件水平筋应变-位移图

Fig.13 Horizontal reinforcement strain of three specimens

文献[15]中各个试件的屈服荷载、峰值荷载,如表 7 所示。可以发现:带竖向结合面试件的屈服荷载及峰值荷载约为整浇试件的 0.86~1.04 倍,而文中该比值在 0.98~1.06 倍左右,两者结果较为接近,表明竖向结合面的存在并未明显降低剪力墙的水平承载力。

表 7 文献[15]试件承载力

试件编号	屈服荷载	峰值荷载
DY12	539.798	611.166
dx12	522.630	622.410
DY14	449.252	524.998
dx14	436.529	610.282
DY16	420.600	569.481
dx16	402.960	570.324

表 8 为文献[15]的位移延性试验结果。可以看到:相对于整浇试件,带竖向结合面试件的位移延性均有所提高,如 DY14、DY16 相对 dx14、dx16 提高 10.36%、24.65%,与试验结果相符合。

表 8 文献[15]位移延性

试件编号	Δ_u /mm	Δ_y /mm	μ
DY14	11.476	61.477	5.357
dx14	9.535	46.283	4.854
DY16	11.476	65.587	5.715
dx16	11.722	53.740	4.585

文献[16]试件 TW3 的正反向极限位移角分别达到了 1/49 和 1/58,试件 TW4 分别达到了 1/48、1/58,均在 1/55 左右,与试验结果接近,满足《建筑抗震设计规范》^[12]的剪力墙结构弹塑性极限位移角 1/120 的要求。

3 结 论

通过带竖向拼缝 L 形剪力墙试件的低周反复荷载试验及分析可得出:

- 1) 在带竖向拼缝试件的纵筋达到屈服以前,正截面均能较好地满足平截面假定。
- 2) 竖向拼缝对裂缝发展走势有一定影响,裂缝在发展至键槽处后,会错动至键槽尖点后再继续发展。
- 3) 竖向拼缝对 L 形剪力墙的承载力和破坏形态没有明显影响,但显著提高了剪力墙的位移延性及耗能能力,2 个装配试件的正向位移延性分别提高了 0.2% 和 14%,负向位移延性提高了 8% 和 14%,耗能能力提高了 30%,但竖向拼缝的位置对于耗能能力的影响不大。
- 4) 各试件的极限位移角均大于规范要求的 1/120,满足剪力墙塑性层间位移角限值要求。
- 5) 竖向拼缝以及齿状裂缝的出现,并未导致穿过竖向拼缝的水平钢筋应变突增或提前屈服。设计中不必因竖向拼缝的存在而特意增强水平筋配筋。

参考文献:

- [1] 王墩, 吕西林. 预制混凝土剪力墙结构抗震性能研究进展 [J]. 结构工程师, 2010, 26(6): 128-135.
WANG Dun, LYU Xilin. Progress of study on seismic performance of precast concrete shear wall systems [J]. Structural Engineers, 2010, 26(6): 128-135.(in Chinese)
- [2] Priestley M J N. The PRESSS program current status and proposed plans for phase III [J]. PCI Journal, 1996, 41(2): 22-40.
- [3] Pekau O A, Hum D. Seismic response of friction jointed precast panel shear walls [J]. PCI Journal, 1991, 36(2): 56-71.
- [4] Pekau O A. Influence of vertical joints on the earthquake response of precast panel walls [J]. Building and Environment, 1981, 16(2): 153-162.
- [5] Crisafulli F J, Restrepo J I. Ductile steel connections for seismic resistant precast buildings [J]. Journal of Earthquake Engineering, 2003, 7(4): 541-553.
- [6] Vaghei R, Hejazi F, Taheri H, et al. Evaluate performance of precast concrete wall to wall connection [J]. APCBEE Procedia, 2014, 9: 285-290.
- [7] Pantelides C P, Volnyy V A, Gergely J, et al. Seismic retrofit of precast concrete panel connections with carbon fiber reinforced polymer composites [J]. PCI Journal, 2003, 48(1): 92-104.
- [8] Barluenga G, Hernández-Olivares F, León Y R T. Seismic reponse of a new design for vertical joints in architectural panels [J]. Engineering Structures, 2003, 25(13): 1655-1664.
- [9] Barluenga G, Hernández-Olivares F, Parga-Landa B, et al. A new bonded vertical joint design for architectural panels [J]. Construction and Building Materials, 2010, 24(6): 918-926.
- [10] 孙香花, 左晓宝. 低周反复荷载作用下带竖缝高强混凝土剪力墙承载力研究 [J]. 工业建筑, 2006, 36(7): 53-56.
SUN Xianghua, ZUO Xiaobao. Research on bearing capacity of high strength concrete shear walls with vertical seams under low-cyclic loads [J]. Industrial Construction, 2006, 36(7): 53-56.(in Chinese)
- [11] 康胜, 曾勇, 叶列平. 双功能带缝剪力墙的刚度和承载力研究 [J]. 工程力学, 2001, 18(2): 27-34.
KANG Sheng, ZENG Yong, YE Lieping. Stiffness and strength analysis of dual functional slitted shear wall [J]. Engineering Mechanics, 2001, 18(2): 27-34.(in Chinese)
- [12] GB 50011—2010 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
GB 50011—2010 Code for seismic design buildings[S].Beijing: China Architecture and Building Press,2006.(in Chinese)
- [13] JGJ 3—2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
JGJ3—2010 Technical specification for concrete structures of hall building[S].Beijing: China Architecture and Building Press,2011.(in Chinese)
- [14] JGJ 101—96 建筑抗震试验方法规程[S].北京:中国建筑工业出版社,1997.
JGJ101—96 Specification of Testing Methods for Earthquake Resistance Building[S].Beijing: China Architecture and Building Press,1997.(in Chinese)
- [15] 杨勇. 带竖向结合面预制混凝土剪力墙抗震性能试验研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
YANG Yong. Experimental research on seismic performance of precast shear wall with vertical joint surface [D]. Haerbin: Harbin Institute of Technology, 2011.(in Chinese)
- [16] 钱稼茹, 彭媛媛, 张景明, 等. 竖向钢筋套筒浆锚连接的预制剪力墙抗震性能试验 [J]. 建筑结构, 2011, 41(2): 1-6.
QIAN Jiaru, PENG Yuanyuan, ZHANG Jingming, et al. Tests on seismic behavior of pre-cast shear walls with vertical reinforcements spliced by grout sleeves [J]. Building Structure, 2011, 41(2): 1-6. (in Chinese)