

文章编号:1673-2049(2017)04-0065-07

框格形式影响组合墙加固框架抗震性能试验

郭 猛¹, 王双娇², 袁 泉², 徐仲卿²

(1. 中国建筑科学研究院, 北京 100013; 2. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044)

摘要:为了研究框格形式对加气混凝土砌块组合墙加固框架抗震性能的影响,对1:2比例的2肋梁3肋柱组合墙加固框架与2肋梁5肋柱组合墙加固框架试件进行了低周反复荷载试验,分析了试件的破坏过程和破坏特点,对比了试件在承载能力、刚度、耗能等抗震性能方面的差异。结果表明:框格形式与其内部砌块布置方式均对组合墙加固框架的抗震性能起着重要作用;虽然5肋柱试件肋柱数量较多,但由于砌块布置不尽合理,其承载力提高程度不大,受力过程前段的刚度反而较砌块布置合理的3肋柱试件低;增加肋柱数量可以提高组合墙加固框架的抗震性能,但需要以合理砌块布置方式为前提才能更好发挥其优势。

关键词:框架结构;加气混凝土砌块组合墙;框格形式;抗震性能

中图分类号:TU317 **文献标志码:**A

Seismic Performance Experiment of Frame Strengthened by Composite Walls with Different Grid Forms

GUO Meng¹, WANG Shuang-jiao², YUAN Quan², XU Zhong-qing²

(1. China Academy of Building Research, Beijing 100013, China;

2. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to study the influence of grid forms on the seismic performance of frame strengthened by composite walls of autoclaved aerated concrete blocks, 1:2 scale models of the strengthened specimens with 2-rib beams 3-rib columns and 2-rib beams 5-rib columns were tested under low-frequency cyclic loading. The failure process and characteristics of specimens were analyzed, and the seismic performance difference between the two specimens, such as bearing capacity, stiffness and energy dissipation, were compared. The results show that both the grid forms and the layout of the blocks play important roles in seismic performance of the frame strengthened by composite wall. Though the number of 5-rib columns specimen is more, but the layout of blocks is unreasonable, so the improvement of bearing capacity is relatively small and the stiffness in the forepart is lower than that of the 3-rib columns specimen with reasonable layout of blocks. The seismic performance can be improved by adding the number of rib columns and it will be working better combining with reasonable layout of blocks.

Key words: frame structure; composite wall of autoclaved aerated concrete block; grid form; seismic performance

收稿日期:2016-12-11

基金项目:国家自然科学基金项目(51308522);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2015JBM065)

作者简介:郭 猛(1982-),男,内蒙古赤峰人,副研究员,工学博士,E-mail:guomeng673@163.com。

0 引言

加气混凝土砌块组合墙(简称组合墙)是密肋复合墙的一种形式,以成品蒸压加气混凝土砌块为墙体框格内填材料。基于现阶段 RC 框架结构的整体抗震加固需求,结合加气混凝土砌块组合墙受力特点及已有研究工作基础^[1-4],郭猛等^[5]提出并探讨了加气混凝土砌块组合墙加固框架结构方法的可行性与实用性,试验表明组合墙加固框架后承载力、抗侧刚度有较大幅度提高。组合墙属于加气混凝土砌块与 RC 框格(肋梁、肋柱)相互嵌套形成的一种网格式抗震墙,框格形式即肋梁肋柱数量是影响组合墙抗震能力的主要因素之一,同样也是影响组合墙加固框架抗震能力的主要因素之一。

框格形式对密肋复合墙体抗震性能的影响文献^[6],^[7]进行了 3 种框格形式(3 肋柱复合墙体、4 肋柱标准复合墙体、5 肋柱复合墙体)的抗震性能对比试验。结果表明:密肋复合墙体发生剪切型破坏时,多肋柱墙体其受剪承载力大于少肋柱墙体承载力;5 肋柱复合墙体的墙板刚度与外框刚度的比值较大,形成“强板弱柱”式墙体,呈弯曲型破坏,标准复合墙体与 3 肋柱复合墙体表现为剪切型破坏。文献^[8]利用有限元分析方法研究了改变肋柱肋梁数量对网格墙体抗震性能的影响,分析结果同样表明,框格形式对墙体承载力等抗震性能的影响较大,肋柱数量过多易形成“强板弱柱”,墙体在外框架位置出现破坏,不利于墙体抗震。上述研究工作有助于了解框格形式对组合墙加固框架抗震性能的影响。

为适应框架结构不同设防烈度、不同层数等抗震加固需求,本文在前期研究基础上开展框格形式影响组合墙加固框架的抗震性能试验,探讨框格形式及框格内填充砌块布置方式对加固框架整体破坏模式、承载力等的影响,为组合墙加固框架结构抗震设计理论研究提供依据。

1 试验概况

1.1 试件设计

在前期研究工作中,笔者所在课题组进行了空框架 FW-1、加气混凝土砌块组合墙 FW-2、组合墙加固框架 FW-4 的抗震试验^[5],所采用的组合墙框格参数属于既有密肋复合墙结构的常见框格构造参数。

本次试验根据框格形式不同以及砌块布置方式不同设计了 1 片加气混凝土砌块组合墙加固框架试

件,按 1:2 比例缩尺设计,用于与前期组合墙加固框架试件进行对比,为了分析方便,统一试件编号为 FSW-1,FSW-2(文献^[5]的试件为 FW-4),试件设计的主要异同点如下:

(1)试件 FSW-1 的组合墙采用 2 肋梁 3 肋柱框格形式,每个框格立面高宽比大致为 1:1.5,较稀疏的框格形式可以应用在层数较少、抗震加固需求较小的框架结构中。试件 FSW-2 的组合墙采用 2 肋梁 5 肋柱框格形式,每个框格立面高宽比大致为 1:1。

(2)试件 FSW-1 组合墙的框格内布置 4 块砌块,砌块布置方式为“田”形;试件 FSW-2 组合墙框格内布置 2~3 块砌块,砌块布置方式为“日”形和“目”形(放倒的“目”形)交替。

(3)FSW-1 与 FSW-2 框架部分的截面尺寸、配筋相同,框架柱截面尺寸为 300 mm×300 mm,顶部框架梁兼做加载梁,截面宽度同框架柱,高度为 400 mm;加固所用的组合墙厚度为 100 mm。试件详细尺寸、配筋、砌块布置方式见图 1。

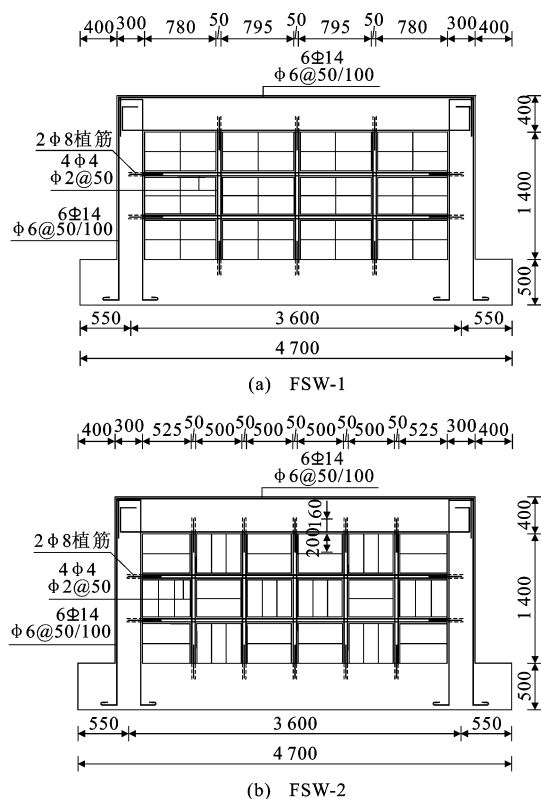


图 1 试件截面及配筋(单位:mm)

Fig. 1 Section and Reinforcement of Specimens (Unit:mm)

混凝土设计强度等级为 C30,抗压强度实测值框架混凝土为 35.6 MPa,框格混凝土为 41.4 MPa;填充砌块采用成品蒸压加气混凝土砌块,密度为

700 kg · m⁻³,强度设计值为 3.0 MPa,实测值为 2.9 MPa。φ4,φ6,φ8,φ14 钢筋的屈服强度分别为 620,560,319,363 MPa,其极限强度分别为 752,650,517,557 MPa。

1.2 加载装置及测试内容

两试件的加载装置相同,每根框架柱顶面施加 300 kN 竖向荷载,总计 600 kN,保持恒定,然后进行水平反复加载,试件加载装置如图 2 所示。为保证试件平面外稳定,在试件中部正面及背面各设置 1 道平面外限位装置,试件与限位之间设置滚轴。

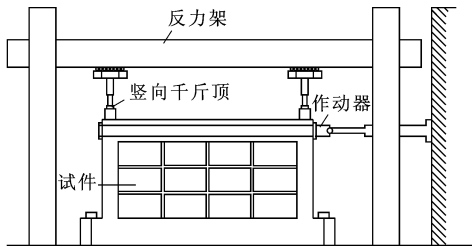


图 2 试件加载装置
Fig.2 Specimen Loading Device

试验测试内容主要包括荷载、水平位移以及外框架柱、肋梁肋柱的钢筋应变。试件屈服前采用荷载控制,每级递增 30 kN,循环 1 次,屈服后采用位移控制,每级增加 5 mm,循环 2 次,直至试件承载力下降至极限荷载的 85% 以下或试件层间位移角超过 1/50 时停止加载。

2 试件破坏过程和破坏特点

2.1 试件破坏过程

试件 FSW-1 的主要破坏过程如下:

(1)水平荷载加至 60 kN 时,在墙体两侧靠近框架柱与底梁交接处砌块上出现少许几条短斜裂缝,裂缝比较分散。加载至 90 kN 时,在墙体上部两边角处砌块产生几条斜裂缝。加载至 150 kN 时,每个框格中均出现裂缝,裂缝主要沿主对角线方向开展。

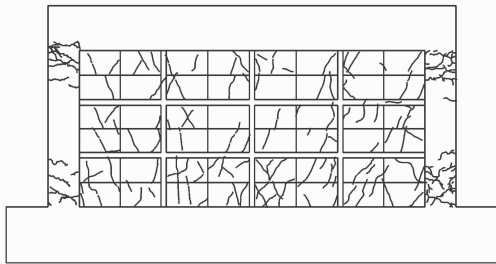
(2)加载至 180 kN 时,底部框格中靠近肋柱的砌块产生少许竖向通缝;随着荷载的增加,沿主裂缝方向的砌块中裂缝开展逐渐充分,并且大部分裂缝出现在砌块的角部。加载至 240 kN 时,中间肋柱附近上部砌块产生多条与肋柱相交的斜裂缝,上部角砌块边缘产生 2 条斜裂缝。加载至 270 kN 时,上部和中部框格的右下角均产生斜裂缝,框格四角处砌块受损较多,而砌块中间则开裂不多。随后加载中,裂缝多出现在框格砌块的四角处。

(3)当水平荷载加载至 330 kN 时,转为位移控制加载,中下 2 层砌块裂缝错动明显,裂缝边缘有不同程度的小片剥落,主对角线裂缝加宽,新裂缝不多。

(4)水平位移继续加载到 35 mm 时,中间出现几次稍大的声响,框架柱有混凝土压碎脱落。此时位移角达到 1/50,停止加载,试验结束。FSW-1 试件最终破坏情况及裂缝示意图 3。



(a) 试件照片



(b) 试件裂缝示意

图 3 FSW-1 破坏形态

Fig.3 Failure Mode of FSW-1

试件 FSW-2 的破坏过程描述详见文献[5],试件最终破坏情况及裂缝示意图 4。

2.2 试件破坏特点讨论

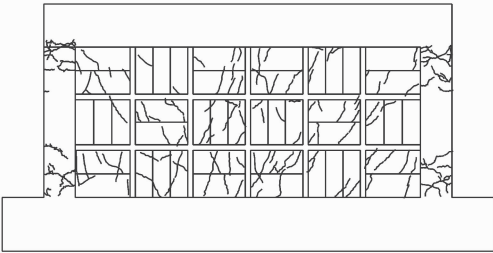
(1)试验中两试件最终破坏均为层间剪切型破坏,FSW-2 组合墙为 5 肋柱墙板,较 FSW-1 多设置了 2 根肋柱,但由于外框架尺寸大,整体仍为“强柱弱板”模式,发生剪切型破坏。

(2)FSW-2 框格中,“田”形布置的砌块角部开裂或压碎的情况相对较多。“田”形布置方式下,单个砌块的高宽比为 3 : 1 左右,相对而言,“日”形和“田”形布置方式下的比值分别为 0.5 : 1 和 1.5 : 1。水平荷载作用下,高宽比大的砌块其角部更容易开裂和压碎,随后砌块容易出现绕砌块底部转动的情形,自身失去抗侧能力,同时也降低了框格约束作用,这种转动现象在大变形阶段表现更为明显,如图 5 所示。

“日”形、“田”形和“田”形布置的砌块基本上不



(a) 试件照片



(b) 试件裂缝示意

图 4 FSW-2 破坏形态

Fig. 4 Failure Mode of FSW-2

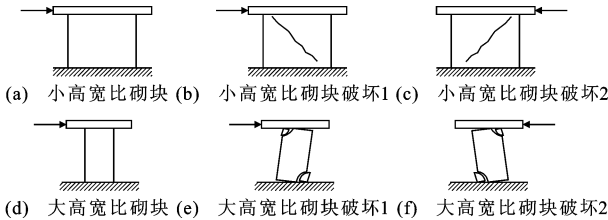


图 5 砌块破坏机理

Fig. 5 Failure Mechanism of Block

会出现转动现象,前期进行密肋复合墙抗震性能试验时,框格内部尺寸较小,砌块按“日”形和“田”形布置(“田”形布置的单个砌块高宽比小于等于2),荷载作用下砌块破坏主要以剪切开裂及错动为主^[9],砌块与框格能够较好地相互约束作用,有助于发挥墙体的抗震性能。

(3)组合墙框格形式不同(主要表现为框格的高宽比不同),在低周反复荷载作用下会导致内填砌块产生不同的破坏模式,包括砌块角部开裂(压碎)破坏、砌块对角开裂(压碎)破坏等形式,一般来说,合理破坏模式为砌块沿对角线开裂(压碎)破坏。

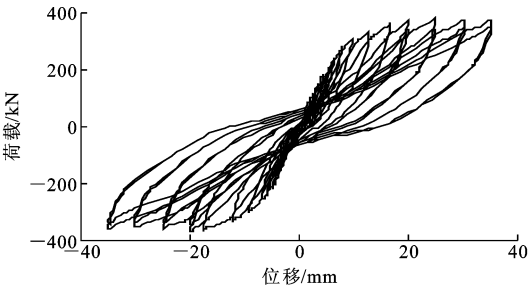
从 FSW-1、FSW-2 的破坏过程及裂缝图中可以看出,砌块开裂程度取决于框格中砌块布置方式、肋梁肋柱数量以及框格约束程度等,理想的情况是框格内为 1 块完整的砌块,砌块的整体工作性能最好。实际工程中,受到砌块规格的限制,往往要在 1 个框格内布置 2~4 块砌块进行拼接填充。

根据试验可知,合理的框格内砌块布置方式为:从单个砌块高宽比来说,高宽比较小的布置方式较优;从框格内砌块拼缝形状来说,“日”形和“田”形效果最好,“田”形效果其次,“田”形的效果较差,建议框格内单个砌块高宽比不大于 2,供《密肋复合板结构技术规程》^[10]参考。

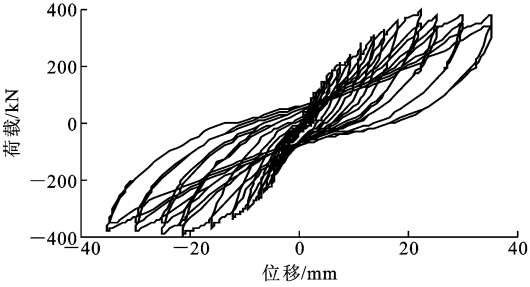
3 试验结果分析

3.1 滞回曲线

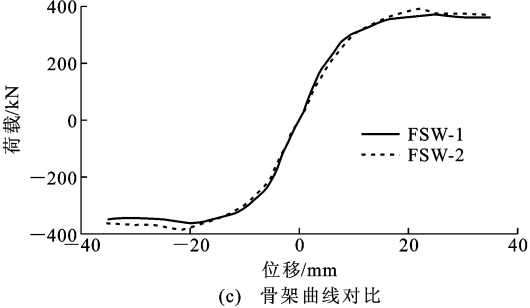
FSW-1 与 FSW-2 试件顶点水平荷载与位移的滞回曲线及骨架曲线对比见图 6,两者的滞回曲线特点相差不大。



(a) 试件 FSW-1



(b) 试件 FSW-2



(c) 骨架曲线对比

图 6 试件滞回曲线

Fig. 6 Hysteresis Curves of Specimens

加载初期,试件基本处于弹性阶段,滞回曲线狭长,随着荷载增加,滞回曲线转变为梭形,刚度有所退化;进入弹塑性阶段,继续加载,滞回环面积不断变大,耗能逐渐增加,荷载增加较少而位移增加较快,滞回环形状趋于饱满;塑性阶段,侧向变形增长速率较快,滞回环面积逐渐变大,滞回曲线向弓形发展,荷载 0 点附近出现捏拢现象;破坏阶段,墙体承

载力下降,位移迅速增长。

3.2 承载力

取水平承载力为 2 个加载方向承载力绝对值的平均值,屈服荷载为按通用屈服弯矩法确定的屈服位移所对应的荷载;极限荷载为试验过程中试件承受的最大荷载;破坏荷载取层间位移角 1/50 对应的荷载。不同阶段的荷载、位移值列于表 1。



表 1 试件荷载、位移实测值

Tab. 1 Experimental Values of Loads and Displacements of Specimens							
试件编号	参数	开裂	屈服	极限	破坏	θ	μ_{Δ}
FSW-1	荷载/kN	149.5	313.3	368.0	356.7	1/46	2.10
	位移/mm	3.4	10.7	22.5	35.0		
FSW-2	荷载/kN	148.6	327.1	388.1	368.7	1/46	1.54
	位移/mm	4.4	14.1	21.7	35.0		

注:表中数值是正、反 2 个方向的平均值; θ 为层间位移角; μ_{Δ} 为位移延性系数,即极限位移与屈服位移的比值。

对比分析试件承载力可知:
(1)试件 FSW-2 的屈服、极限、破坏阶段荷载分别比 FSW-1 高约 4.4%,5.5%,3.3%。FSW-2 增加了肋柱的数量,框格较密,增强了框格与砌块之间的约束作用,故 FSW-2 承载力高于 FSW-1 承载力,这与既有相关文献研究结论一致^[6]。

(2)FSW-2 相对 FSW-1 增加了 66.7%的肋柱数量,但承载力相对 FSW-1 提高幅度不大,增加肋柱数量对承载力提高并未发挥显著作用。

综合分析试件在受力全过程中的破坏现象可知:一方面,FSW-2 试件中大量框格内砌块采用了“”形布置,荷载作用下“”形布置的砌块角部稍微开裂,单个砌块就容易在框格内绕砌块底部转动,没有更好地发挥其抗剪作用;另一方面,砌块对框格发挥支撑及相互约束作用,不利的砌块布置方式使得砌块对框格的支撑及约束作用减弱。

砌块布置方式对组合墙及组合墙加固框架的水平承载力影响是不容忽视的。合理的砌块布置方式能提高组合墙承载性能,一定程度上弥补肋柱数量少带来的不利影响;相反,不尽合理的砌块布置方式严重削弱了砌块本身的抗侧性能及框格与砌块之间的约束作用,即使加密肋柱,亦不能充分发挥其承载性能。增加肋柱数量可以提高组合墙加固框架的抗震性能,但需要以合理地砌块布置方式为前提才能更好发挥其优势,这在密肋复合墙的工程应用上应该给予特别注意。

3.3 等效抗侧刚度

等效抗侧刚度取试件往复荷载作用下正、反向

荷载的绝对值之和除以相应正、反向位移绝对值之和,各试件在不同阶段的等效抗侧刚度计算结果如表 2 所示。

表 2 不同阶段等效抗侧刚度

Tab. 2 Equivalent Lateral Stiffness at Different Stages					kN · mm ⁻¹	
试件编号	开裂	屈服	极限	破坏		
FSW-1	44.0	29.3	16.4	10.2		
FSW-2	33.8	23.2	17.9	10.5		

由表 2 可知:FSW-1 等效抗侧刚度在开裂阶段、屈服阶段分别比 FSW-2 等效抗侧刚度提高了 30%,26%;随着位移增大,两者刚度趋向接近,极限阶段 FSW-1 等效抗侧刚度略低于 FSW-2。

前期研究表明,开裂及屈服阶段组合墙加固框架主要由组合墙承担外荷载,随着组合墙内砌块逐渐破坏并慢慢退出工作,后期主要是由外框架、框格承担外荷载。因此,组合墙的性能直接影响着加载前段试件的抗侧刚度,就规律性而言,FSW-2 比 FSW-1 肋柱数量多,理论上其组合墙的抗侧性能更好,等效抗侧刚度应较 FSW-1 更大。本文试验结果表明,由于 FSW-2 砌块布置不尽合理,砌块与框格之间约束作用减弱,导致抗侧刚度在受力过程的前半段反而更小。虽然 FSW-1 肋柱数量少,但 FSW-1 合理的砌块布置使得其抗侧刚度大幅提高。

3.4 延性性能

采用置换加气混凝土砌块法对试件 FSW-1 和 FSW-2 进行加固试验,在试件层间位移角超过 1/50 时即停止加载。延性以位移延性系数衡量,位移延性系数指构件超过弹性变形后的变形能力,2 片墙体的位移延性系数见表 1,FSW-1 的延性性能略优于 FSW-2。关于密肋复合墙的前期研究表明^[6],若墙体发生剪切型破坏,肋柱数量多的墙体延性略低于肋柱数量少的墙体,从试验结果来看,组合墙加固框架也具有类似的规律。

由表 1 可知,两试件停止加载时的最大层间位移角均达到 1/50,满足现行抗震设计规范^[11]对混凝土构件的弹塑性变形需求。停止加载时,FSW-1 和 FSW-2 的承载力仅分别下降 5%和 3%,承载力达到极限荷载后下降比较缓慢,表明组合墙加固框架结构的变形能力和抗倒塌能力较好。

3.5 钢筋应变

试件 FSW-1 与试件 FSW-2 的钢筋应变片布置位置基本相同,由于 FSW-1 肋柱数量少,应变片布置数量也略少一些。框架柱应变片布置在柱根部及

柱身中部,肋柱应变片布置在柱根部,肋梁应变片布置在每个框格肋梁的跨中。相同位置的框架柱、肋柱钢筋的典型应变曲线对比见图 7。

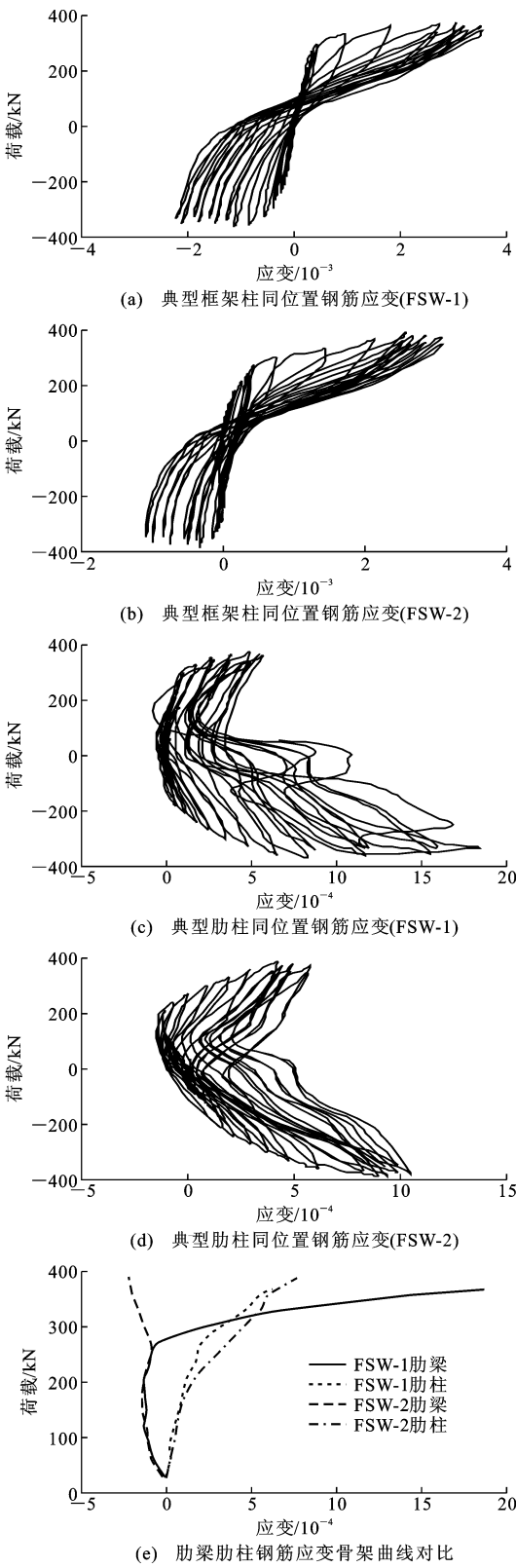


图 7 荷载-钢筋应变曲线

Fig. 7 Load-strain Curves of Steel Bars

对比两试件钢筋应变数据反映的总体规律可知,试件 FSW-1 与 FSW-2 的框架柱钢筋应变变化规律相似,即在不同加载方向下交替承受拉力和压力,与试验现象中观察的框架柱破坏特点一致。

两试件肋柱相应位置上的纵筋应变变化规律相似且相差不大,就墙体受力角度而言,肋柱主要通过肋梁形成框格及与框格内部加气混凝土砌块形成斜压杆机制承担水平荷载。

试件 FSW-1 中大部分肋梁钢筋应变大于试件 FSW-2 相应位置的肋梁钢筋应变,大致规律为:受力初期至屈服阶段,两试件肋梁钢筋应变差别不大,极限阶段特别是位移循环阶段,FSW-1 肋梁钢筋应变明显大于 FSW-2。

分析肋梁钢筋应变差异原因可知,FSW-1 中砌块布置较合理,大位移循环阶段砌块受力基本呈整体对角斜压杆受力,肋梁肋柱形成的框格与斜压杆形成“刚架-斜压杆”模型,使得肋梁纵筋主要表现为受拉,能较充分发挥肋梁的抗拉性能。对于 FSW-2,大量框格内砌块采用了“田”形布置,高宽比大的单个砌块容易在框格内绕砌块底部转动,填充砌块难以有效发挥整体斜压杆作用,大位移循环阶段受力机制更多地表现为类似于框架的梁柱端部受弯机制。

由上述分析可见,填充砌块的布置方式不但影响自身受力机制,而且影响肋梁的受力机制,进而影响组合墙加固框架的整体承载力及抗侧刚度等抗震性能。

4 结 语

(1)FSW-2 虽然增加了肋柱的数量,但由于存在大量“田”形布置的砌块,其承载力相对 FSW-1 提高幅度不大;相对而言,FSW-1 的框格较稀疏,但其砌块布置方式比较合理,抗侧刚度在开裂与屈服阶段反而较 FSW-2 有一定提高,后期刚度与 FSW-2 相近。延性方面,FSW-1 的延性性能略优于 FSW-2。

(2)肋梁钢筋应变受框格与砌块布置影响较大,由于 FSW-2 的砌块布置不尽合理,不但其自身抗剪作用减弱,而且导致了框格与砌块的相互约束作用减弱,肋梁钢筋应变低于 FSW-1,不利于发挥肋梁的承载能力。

(3)框格形式与其内部砌块布置方式均对组合墙加固框架的抗震性能起着重要作用,密集的框格与合理的砌块布置相结合才能显著提高其抗震性能。合理的砌块布置方式依次为“日”形和“田”形,

“□□”形是不利的布置方式。“□□”形布置方式下,砌块高宽比越大,砌块就越容易绕着压碎的角部转动,失去抗侧能力。根据试验结果可知,设计中建议组合墙中单个砌块的高宽比小于2。

参考文献:

References:

- [1] 刘 佩,袁 泉,郭 猛,等. RC-加气混凝土砌块组合墙的抗震性能[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2012,43(3):1107-1113.
- LIU Pei, YUAN Quan, GUO Meng, et al. Seismic Performance of Composite Walls of RC-autoclaved Aerated Concrete Blocks[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(3): 1107-1113.
- [2] 郭 猛,袁 泉,常 鹏,等. 基于水平薄弱层破坏准则的密肋复合墙受剪承载力计算[J]. 建筑结构学报, 2012,33(9):148-153.
- GUO Meng, YUAN Quan, CHANG Peng, et al. Calculation Method for Shear Bearing Capacity of Multi-grid Composite Wall Based on Horizontal Weak-layer Failure Criteria[J]. Journal of Building Structures, 2012,33(9):148-153.
- [3] LIU P, GUO M. An Experimental Study of Multi-grid Composite Walls[J]. Advances in Structural Engineering, 2012,15(3):495-507.
- [4] 袁 泉,刘海涛,汪训流,等. 密肋复合板结构非线性数值分析模型研究与验证[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(5):151-157.
- YUAN Quan, LIU Hai-tao, WANG Xun-liu, et al. Research and Verification of Numerical Analysis Model of Multi-ribbed Composite Slab Structures[J]. Journal of Building Structures, 2013,34(5):151-157.
- [5] 郭 猛,王双娇,袁 泉,等. RC 加气混凝土砌块组合墙加固框架抗震性能试验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2016,38(4):78-85.
- GUO Meng, WANG Shuang-jiao, YUAN Quan, et al. Seismic Performance Experimental Analysis of the Frame Strengthened by Composite Walls of RC-auto-claved Aerated Concrete Blocks[J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2016,38(4):78-85.
- [6] 成晓峰,姚谦峰,黄 炜,等. 不同框格形式密肋复合墙体抗震性能对比分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2010,8(2):16-19.
- CHENG Xiao-feng, YAO Qian-feng, HUANG Wei, et al. Comparative Analysis on Seismic Performance of Multi-ribbed Composite Walls with Different Frame-lattice Forms[J]. Journal of Water Resources Architectural Engineering, 2010,8(2):16-19.
- [7] 成晓峰. 基于框格变化的生态复合墙体抗震性能研究及择优评价[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2010.
- CHENG Xiao-feng. Study on Seismic Performance of Ecological Composite Walls and Preferred Evaluation Based on Change of Catch-frame Forms[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2010.
- [8] 周明杰,姜芳禄,王晓伟,等. 不同框格形式网格框架墙体的抗震性能分析[J]. 河北工业大学学报, 2012, 41(4):77-82.
- ZHOU Ming-jie, JIANG Fang-lu, WANG Xiao-wei, et al. Analyse on Seismic Performance for the Grid-mesh Frame Wall of Different Frame Space[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2012,41(4): 77-82.
- [9] 郭 猛. 框架-密肋复合墙结构抗震性能与设计计算方法研究[D]. 北京:北京交通大学, 2011.
- GUO Meng. Research on Seismic Performance and Design Calculation Method of the Frame-composite Wall Structure System[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.
- [10] JGJ/T 275—2013, 密肋复合板结构技术规程[S].
- JGJ/T 275—2013, Technical Specification for Multi-ribbed Composite Panel Structures[S].
- [11] GB 50011—2010, 建筑抗震设计规范[S].
- GB 50011—2010, Code for Seismic Design of Buildings[S].