

文章编号:1672-3961(2024)02-0136-07

DOI:10.6040/j.issn.1672-3961.0.2023.029

新型装配式剪力墙单向往复/单调加载试验

樊禹江^{1,2}, 余滨杉³, 许锦宝², 陈玉喜², 熊二刚², 孙克清²

(1.长安大学建筑学院, 陕西 西安 710061; 2.长安大学建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 3.西北工业大学力学与土木建筑学院, 陕西 西安 710072)

摘要:为明确装配式剪力墙结构水平连接的传力机理, 获得更优异的耗能能力, 提出一种新型装配式剪力墙结构。针对此结构, 设计制作4片缩尺比例为1:1.54的不同螺栓配置数量、轴压比和边缘构件纵筋配筋率的新型装配式剪力墙结构模型, 完成单向往复/单调加载试验。4片试件破坏模式相似, 墙体保持弹性状态, 且未发现明显裂缝; 之后墙体混凝土发生破坏, 裂缝多开展于1/3墙高下侧, 最终破坏时沿墙身对角线向墙角贯通。轴压比/边缘构件纵筋配筋率减小导致试件各特征荷载降低。试验结果表明, 增加螺栓配置数量虽然对试件的特征荷载影响不大, 但能有效限制墙体侧移, 提高试件的整体性和水平连接装置的传力性能; 新型装配式剪力墙具有更强的变形能力, 极限承载力与现浇墙体基本一致。

关键词:新型装配式剪力墙; 耗能; 水平连接装置; 单向往复加载; 单调加载

中图分类号: TU45

文献标志码: A

引用格式: 樊禹江, 余滨杉, 许锦宝, 等. 新型装配式剪力墙单向往复/单调加载试验[J]. 山东大学学报(工学版), 2024, 54(2): 136-142.

FAN Yujiang, YU Binshan, XU Jinbao, et al. Unidirectional reciprocating/monotonic loading test of new assembled shear wall[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2024, 54(2): 136-142.

Unidirectional reciprocating/monotonic loading test of new assembled shear wall

FAN Yujiang^{1,2}, YU Binshan³, XU Jinbao², CHEN Yuxi², XIONG Ergang², SUN Keqing²

(1. School of Architecture, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China; 2. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China; 3. School of Mechanics, Civil Engineering and Architecture, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, Shaanxi, China)

Abstract: In order to obtain a clearer force transmission mechanism of the horizontal connection of the assembled shear wall structure and have better energy dissipation capacity, the research group proposed a new type of assembled shear wall structure. For this structure, four new assembled shear wall structural models with different number of bolt configurations, axial compression ratio and longitudinal reinforcement ratio of edge members in a scale of 1:1.54 were designed and fabricated. The unidirectional reciprocal / monotonic loading tests were completed. The failure modes of the four specimens were similar. The walls remained elastic and no obvious cracks were found. After that, the concrete of the wall was damaged, and the cracks were mostly carried out at the lower side of 1/3 of the wall height. The final damage was penetrated along the diagonal of the wall toward the corner. The decrease of axial compression ratio / longitudinal reinforcement ratio of edge member would lead to the decrease of each characteristic load of specimen. The test results showed that the increase of the number of bolt configurations could effectively limit the lateral displacement of the wall and improve the integrity of the specimen and the force transfer performance of the horizontal connection device, although it had little effect on the characteristic load of the specimen. The new assembled shear wall had stronger deformation capacity and the ultimate bearing capacity was basically the same as the cast-in-place wall.

Keywords: new type of assembled shear wall; energy consumption; horizontal connection device; unidirectional reciprocal loading; monotonic loading

收稿日期: 2023-02-17

基金项目: 国家自然科学基金青年资助项目(51808046); 陕西省重点研发计划资助项目(2023-YBSF-315、2021SF-521); 陕西省自然科学基金资助项目(2023-JC-YB-470)

第一作者简介: 樊禹江(1987—), 男, 陕西西安人, 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要研究方向为装配式结构。E-mail: fanyujiangchd@163.com

0 引言

近几年来,得益于国家政策上的大力支持,中国的装配式建筑规模始终处于稳步增长态势。装配式剪力墙作为装配式结构中重要抗侧力构件,多采用套筒连接、浆锚连接和键槽连接等湿式连接方法^[1-3],湿式连接方法保证了装配式剪力墙良好的抗震性能,但由于现场“湿作业”的存在,未能完全体现装配式建造优势,同时湿式连接水平接缝的力学传递机理也未能明确^[4]。为此,国内外学者提出了一些干式连接装配式剪力墙,并开展相关研究:文献[5-6]提出一种螺纹钢锚栓连接预制剪力墙体系,使用螺纹钢锚栓连接墙板与预制基座,试验与模拟结果均表明,该连接方法能够兼具连接性能与施工效率;文献[7]针对无粘结后张拉预应力剪力墙的摇摆耗能特性,采用有限元法与解析建模方法评估了此类结构在地震作用下的动力特性;文献[8-9]提出一种采用螺栓连接一字型装配式剪力墙,此类结构延性较好,水平接缝处拉压区传力路径明确;文献[10]在文献[8-9]基础上采用2片钢板对H型钢框和槽钢进行替代,通过数值模拟得出了螺栓配置个数对剪力墙抗震性能的影响规律;文献[11]提出采用一种连接钢件、高强螺栓连接上下层预制墙体的装配方法,并对5榀墙体试件进行单调加载试验,结果表明,采用该连接方法的试件变形能力强,在极限位移角达1/25时仍有较高的承载力;文献[12]对提出的螺栓钢板接缝连接装配式剪力墙进行有限元模拟,结果表明,此类结构具有较好的耗能能力和变形能力,损伤主要集中在节点部位;文献[13]在预制墙体中采用“螺栓-钢连接件-套筒”连接方法,试验结果表明,采用该方法的预制剪力墙的总体抗震性能良好;文献[14]对提出的有限滑动螺栓连接装配式剪力墙开展了拟静力试验,结果表明,有限滑动螺栓能够较好地提高剪力墙的耗能能力与延性;文献[15]提出一种螺栓连接新型装配式剪力墙,完成了相关结构抗震性能试验,结果表明该新型装配式剪力墙具有良好的变形和耗能能力。本研究在文献[15]的基础上,为研究该新型装配式剪力墙的单向往复/单调加载性能,设计制作了4片缩尺比例为1:1.54的不同螺栓配置数量、轴压比和边缘构件纵筋配筋率的新型装配式剪力墙结构模型,完成了单向往复/单调加载试验,系统分析了不同螺栓配置数量、轴压比和边缘构件纵筋配筋率对新型装配式剪力墙静力性能的影响

规律。

1 试验概况

1.1 试件制作

试验使用的缩尺试件由顶梁、钢筋混凝土墙体、水平连接板件、高强螺栓和地梁组成,具体构造设计如图1所示。制作时,上部墙体钢筋网架与加载梁配筋绑扎,下部与箱型钢焊接,在箱型钢上表面预焊弯钩角度为135°的锚固短筋,以保证墙体与箱型钢连接的整体性。地梁钢筋骨架上部纵筋表面与U型槽钢焊接,在U型槽钢下表面同样预焊锚固短筋。试件浇筑并养护完成后,运送至加载现场吊装、对孔,通过高强螺栓连接装配。

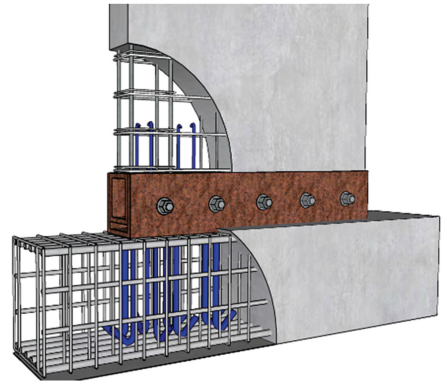


图1 新型装配式剪力墙结构构造设计

Fig.1 Structural design of new assembled shear wall structure

试验设计的4片新型装配式剪力墙试件编号分别为SWB3、SWB5-1、SWB5-2、SWB5-3,各试件设计参数如表1所示。4片剪力墙试件的顶梁、墙体和地梁尺寸均相同,其中墙体高、宽、厚分别为1 820、1 300、160 mm,均采用C30混凝土浇筑(在相同条件下进行养护,测得混凝土立方体标准抗压强度为34.05 MPa,弹性模量为30.9 GPa)。底部水平连接板件均采用厚20 mm、Q345级碳素钢轧制而成。螺栓规格:5孔螺栓为10.9级,3孔螺栓为12.9级。对于3孔螺栓试件(SWB3)和5孔螺栓试件(SWB5-1、SWB5-2、SWB5-3),对应箱型钢上开设直径33 mm圆孔,在U型钢板中心孔位开设直径33 mm圆孔,两侧开设宽度为33 mm、弧度为±2°的圆弧形滑道。试件SWB5-3边缘构件配置4 ϕ 10纵筋、 ϕ 6@150箍筋,分布区配置6 ϕ 8竖向钢筋、 ϕ 8@150水平钢筋,其余3片剪力墙试件边缘构件配置4 ϕ 12纵筋,其他配筋与试件SWB5-3相同。箱型钢预焊锚固短筋选用10 mm带肋钢筋,U型槽钢锚固短筋选用25 mm带肋钢筋,弯钩角度均为135°,弯钩长度均为4d(d为锚固钢筋直径)。典型试件SWB5-1配筋见图2。

试件制作所用的钢筋采用标准试验方法进行参数测试, 所得结果如表2所示。

表1 试件设计参数

Table 1 Design parameters of specimens

编号	轴压比	边缘约束构件纵筋配筋率/%	螺栓数/个
SWB3	0.25	1.4	3
SWB5-1	0.25	1.4	5
SWB5-2	0.15	1.4	5
SWB5-3	0.25	1.0	5

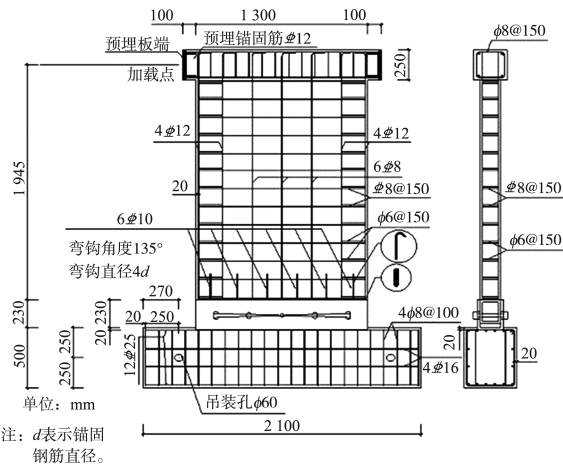


图2 试件 SWB5-1 配筋图

Fig.2 Detail of reinforcement of test piece SWB5-1

表2 钢筋材性

Table 2 Material properties of steel bars

型号	直径/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	弹性模量/ 10^5 MPa
HPB300	6	314.4	465.2	2.18
	8	433.1	583.1	1.98
HRB400	10	436.7	587.7	2.05
	12	432.9	583.2	2.02

表3 试验加载工况

Table 3 Test loading conditions

工况编号	螺栓预紧力/kN	加载位移/mm	工况编号	螺栓预紧力/kN	加载位移/mm	工况编号	螺栓预紧力/kN	加载位移/mm
1	110	0	5	190	0	9	260	0
		15			15			15
2	130	0	6	210	0			20
		15			15			25
		0			0			30
3	150	0	7	230	0			35
		15			15			40
		0			0			45
4	170	0	8	250	0			55
		15			15	65		
		0			0	70		
		0			0	75		
		0			0			

1.2 加载方案

试验在西安建筑科技大学结构工程与抗震教育部重点实验室进行, 试验加载装置及加载现场如图3所示, 通过地锚螺栓连接钢压梁、底梁及刚性底座固定试件。试验竖向加载采用1 000 kN 液压千斤顶, 根据设计轴压比0.15(试件 SWB5-2)和0.25(试件 SWB3、SWB5-1、SWB5-3), 计算得到混凝土强度等级 C30 对应竖向轴压力为371.8 kN 和619.7 kN。试验过程中竖向轴压力恒定, 待试件持荷稳定后, 通过1 000 kN 力学测试与模拟作动器 (mechanical testing and simulation actuator, MTS) 施加水平荷载。水平荷载分为单向往复加载和单调加载2个阶段, 单向往复加载时, 水平位移控制15 mm, 以20 kN 为增量, 对螺栓施加110~250 kN 共8级预紧力, 每级预紧力下单向往复位移循环1次; 加载结束后, 试件复位并进入单调加载阶段, 螺栓预紧力增至260 kN, 加载采用位移控制, 每级加载位移为5 mm, 当侧向位移达到试验装置最大加载范围或水平荷载下降至其最大荷载的85%以下时, 停止试验。具体试验加载工况如表3所示。

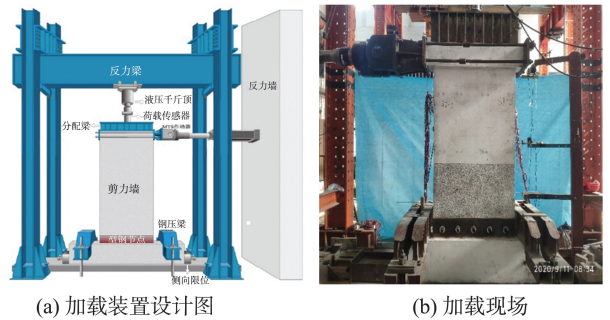


图3 试验加载装置及加载现场

Fig.3 Test loading device and loading site

1.3 测量方案

试件的水平荷载、水平位移通过水平作动器同步采集。各测点布置如图4所示。应变片主要布置于试件墙高 $1/36$ 、 $1/6$ 、 $1/4$ 和 $1/2$ 处,用以检测钢筋应变;上部墙体于高度150 mm处布置混凝土应变片,用以观测墙体应变;沿钢板螺孔一侧布置应变花,用以测量钢板可能存在的面内变形。在墙体一侧沿高度分布3个LVDT位移计,并在距墙体1 945 mm位置布置激光位移计,用以监测墙体各截面的水平侧移;在底梁顶部和右侧布设LVDT位移计,用以监测底梁是否存在滑移。

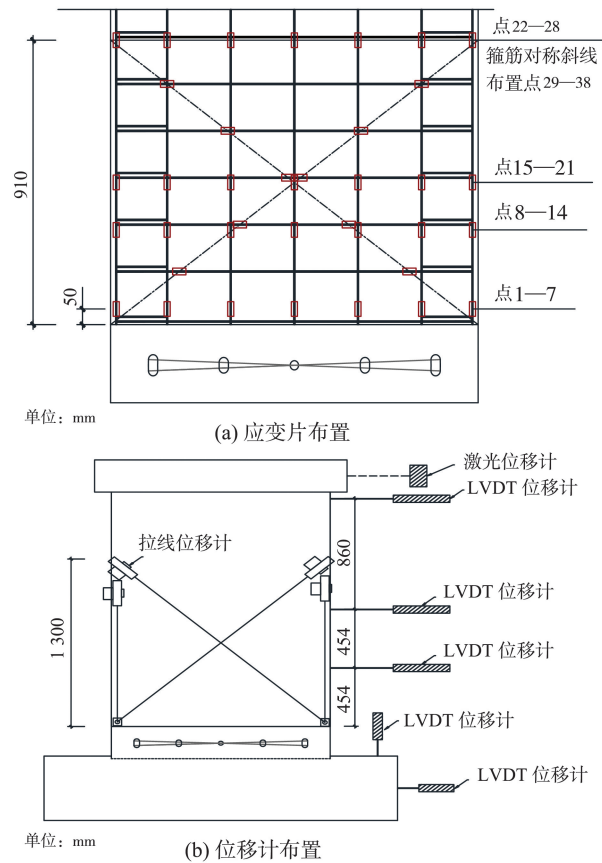


图4 测点布置

Fig.4 Measurement point arrangement

2 现场试验

2.1 试验现象

2.1.1 试件 SWB3

(1) 单向往复加载。螺栓预紧力为110 kN,当位移约为5 mm时,试件底部型钢间发出“哒哒”的摩擦声,随后墙体开始以中间螺栓为中心发生明显转动,直至水平位移为15 mm、水平荷载为50 kN时,墙体发生明显倾斜但无裂缝产生;待墙体复位后,增大螺栓预紧力至整个单向往复加载结束,螺

栓预紧力为250 kN时,试件均未出现裂缝。

(2) 单调加载。当水平位移为15 mm、水平荷载达到99 kN时,剪力墙与下部钢板连接处靠近受拉墙角部位出现第一条细小裂缝,表明墙体开裂;当位移加载至76.4 mm、水平荷载达到201.2 kN时,墙体距U型钢板约300 mm处出现多条水平裂缝并缓慢斜向开展;当位移加载至89.6 mm、水平荷载达到270 kN时,墙体受拉侧距U型钢板450 mm、600 mm和1 200 mm处分别出现 45° 斜向下开展、宽度约为1.5 mm的裂缝,受压墙角处混凝土开始掉渣;当位移加载至123.6 mm,混凝土碎渣大量剥落,受压侧边缘纵筋被压弯,水平荷载达到最大;当位移加载至140 mm,试件破坏严重且水平荷载明显下降,试验结束,最终裂缝分布如图5(a)所示。

2.1.2 试件 SWB5-1

(1) 单向往复加载。螺栓预紧力为110 kN,当位移加载至约5 mm时,墙体开始发生明显转动;螺栓预紧力为150 kN,当水平位移为15 mm、水平荷载达到98.7 kN时,两侧墙角与下部钢板连接部位出现几条向上开展的细小裂缝,试件开裂。

(2) 单调加载。当位移加载至30.4 mm、水平荷载达到154.4 kN时,墙体两侧墙角裂缝出现局部贯通,呈半圆形;当位移加载至73 mm,水平荷载达到270 kN时,钢筋应变情况表明墙体进入屈服阶段;当位移加载至99 mm、水平荷载达到389.3 kN时,墙角混凝土碎渣大量剥落,墙体外侧钢筋裸露并有明显变形;当位移加载至114 mm,水平荷载明显下降,试验结束,墙体裂缝分布如图5(b)所示。

2.1.3 试件 SWB5-2

(1) 单向往复加载。水平位移加载至5 mm时,墙体沿加载方向一侧发生明显转动;螺栓预紧力为170 kN,当水平荷载达到88 kN时,受拉侧墙角出现细小裂缝,采用裂缝观测仪测得其宽度为0.02 mm;螺栓预紧力为210 kN,当位移加载至15 mm、水平荷载达到111.7 kN时,受压侧墙角产生新的水平裂缝,并呈 45° 向上开展趋势。

(2) 单调加载。当位移加载至30 mm时,距U型钢板250 mm高度的受拉侧墙角出现宽度为0.06 mm的水平裂缝;当位移加载至60 mm、水平荷载达到194 kN时,原有裂缝横向开展并贯通混凝土3号应变片,墙体侧面出现多条贯穿南北面的裂缝;当位移加载至100 mm时,剪力墙角部混凝土零碎剥落,此时剪力墙所受水平荷载达到峰值;当位移加载至116.2 mm时,墙体裂缝最大宽度达到6 mm,水平荷载明显下降,试验结束,墙体裂缝分布情况

见图5(c)。

2.1.4 试件 SWB5-3

(1) 单向往复加载。与另外3片试件相同,试件 SWB5-3 在水平位移约 5 mm 时开始发生明显转动;螺栓预紧力为 130 kN,当水平荷载达到 92.6 kN 时,墙体开裂;螺栓预紧力为 250 kN,当位移加载至 15 mm、水平荷载达到 154.8 kN 时,墙体受拉侧水平裂缝继续开展,同时伴随部分斜向开展的裂缝。

(2) 单调加载。当位移加载至 65.5 mm、水平

荷载达到 243.4 kN 时,距 U 型钢板 100 mm 高度处墙体裂缝开始沿水平方向贯通,宽度约为 0.15 mm;当位移加载至 65 mm,距 U 型钢板 450~700 mm 高度范围内裂缝开展迅速,与水平方向呈约 45°;当位移加载至 87 mm、水平荷载达到 372.3 kN 时,墙体受压侧混凝土剥落;当位移加载至 98.7 mm 时,墙体所受水平荷载骤降,试验结束,墙体裂缝分布见图 5(d)。

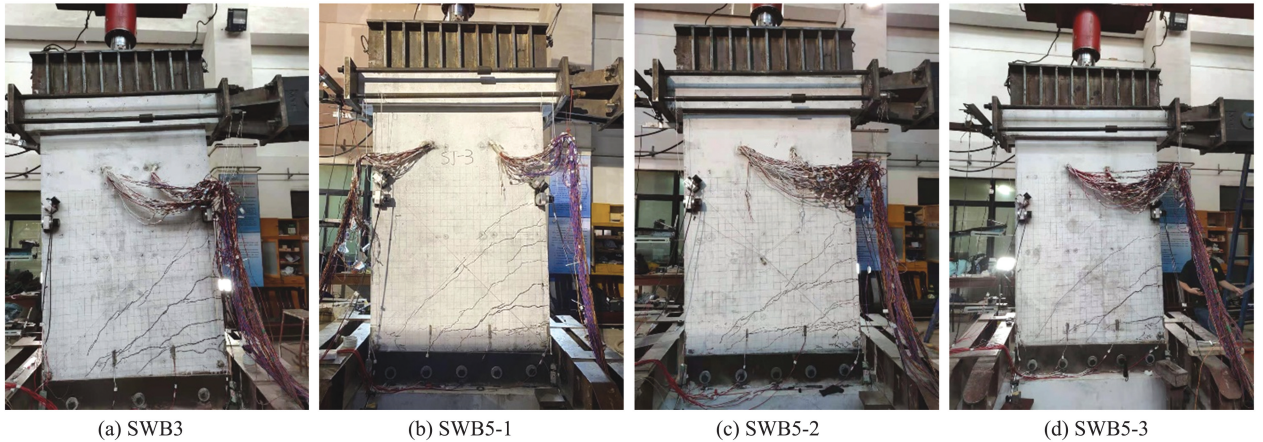


图5 裂缝分布

Fig.5 Crack distribution

2.2 试验特征

在单向往复加载初期,由于底部连接板件对剪力墙的摩擦约束作用,剪力墙未出现明显转动,但位移较小,墙体无裂缝产生。位移加载至约 5 mm,剪力墙开始发生转动,在此过程中墙体所受弯矩、剪力基本保持不变,构件以滑动摩擦的形式耗散能量。在单调加载阶段,4 片试件的裂缝开展过程基本一致,水平裂缝多开展于试件的 U 型钢板上方 100~600 mm 区域,伴随着水平位移的增加,裂缝沿墙身对角线约呈 45° 向剪力墙角部开展。试验结束,4 片剪力墙试件底部水平连接装置均无明显损伤,连接板件无明显变形,但 U 型槽钢外表面与钢垫片接触部位有明显磨损痕迹。

3 试验结果分析

3.1 荷载-位移曲线分析

试件在单向往复加载阶段时,墙体始终处于弹性状态,因而此处主要探讨的是新型装配式剪力墙结构单调加载阶段的荷载-位移曲线,如图 6 所示。由于单向往复位移加载的影响,作动器在试件复位到初始位置时仍存在一定的残余荷载,因而图 6 曲

线在位移为 0 时荷载并不为 0。

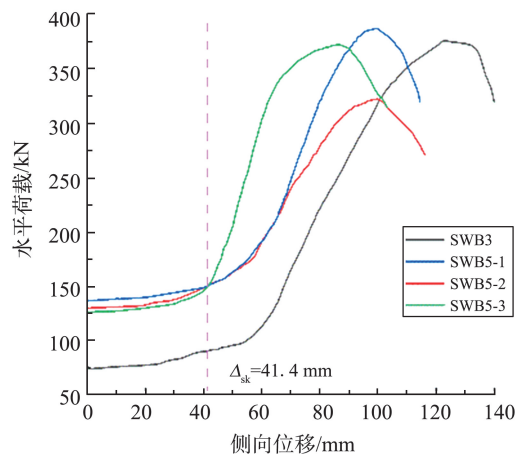


图6 荷载-位移曲线

Fig.6 Load-displacement curve

由图 6 可以看出,4 片试件的荷载-位移曲线发展情况相似:加载初期,水平荷载几乎不随位移变化,呈水平段;在加载中后期,随着位移增加,水平荷载开始显著上升,随后下降。在考虑加载点垂直距离对侧移的放大作用后,其水平侧移主要由以下 3 部分叠加:(1)考虑墙体和水平连接装置均为刚体,预设螺孔限位角 θ 对加载点产生侧移 Δ_{sk} ;(2)假设墙体为刚体,水平连接装置螺孔变形量 Δ_{θ} 对加载点产生侧移 Δ_s ;(3)假设水平连接装

置为刚体,墙体变形产生侧移 Δ_w 。在位移加载至 Δ_{sk} 之前,水平荷载在水平连接装置间表现为滑动摩擦力,在加载至 Δ_{sk} 后,4片试件的刚度开始增大,但相较5螺栓试件,试件 SWB3 的刚度提高相对滞后,且在同等水平荷载下,试件 SWB3 的水平侧移也较大。这是因为在加载条件相同时,相较5螺栓试件,3螺栓试件螺孔处应力更加集中,螺孔变形量 Δ_θ 较大,对加载点产生的侧移 Δ_s 也更为显著。

加载点刚性侧移

$$\Delta_{sk} = h_v \sin(\arctan \theta), \quad (1)$$

式中: h_v 为加载点到中心螺孔的垂直距离,本研究取 2 070 mm; θ 为螺孔限位角,本研究取 1/50。

3.2 特征值分析

试件在开裂点、屈服点、峰值点和破坏点的特征荷载和位移以及延性 β 如表 4 所示。试件屈服点依据文献[16],取试件受拉一侧最外层竖向钢筋屈服时对应的荷载和顶点侧移。

表4 主要荷载特征点
Table 4 Feature points values

试件	开裂点		屈服点		峰值点		破坏点		β
	F_{cr}/kN	F_{Ncr}/kN	F_y/kN	Δ_y/mm	F_m/kN	Δ_m/mm	F_u/kN	Δ_u/mm	
SWB3	99.3	260	269.9	89.6	376.2	123.0	320.1	140.3	1.60
SWB5-1	98.7	150	270.0	73.1	387.1	99.2	320.3	114.6	1.56
SWB5-2	88.2	170	209.6	65.3	322.5	100.4	270.7	116.2	1.78
SWB5-3	92.7	130	243.4	65.5	372.3	97.1	315.4	98.7	1.50

注: F_{cr} 为开裂荷载, F_{Ncr} 为开裂点预紧力, F_y 为屈服荷载, F_m 为峰值荷载, F_u 为破坏荷载, Δ_y 为屈服位移, Δ_m 为峰值点位移, Δ_u 为破坏点位移, $\beta = \Delta_u / \Delta_y$ 。

由表 4 可知,试件 SWB3 在各特征点的特征荷载与试件 SWB5-1 相近,相差在 2.8% 以内,但试件 SWB3 的顶点侧移显著高于试件 SWB5-1,说明螺栓数量的减少削弱了试件的抗剪刚度,但对承载力影响不大。相较试件 SWB5-1,试件 SWB5-2 屈服荷载、峰值荷载和破坏荷载分别减小了 22.4%、16.7% 和 15.5%,延性提高了 14.1%,表明轴压比增大,试件开裂/屈服荷载及其承载能力均会有所提高,但延性会降低;试件 SWB5-3 屈服荷载、峰值荷载和破坏荷载分别减小了 9.9%、3.8% 和 13.9%,延性降低了 3.8%,表明边缘约束构件纵筋配筋率降低

会导致墙体各特征值降低。与相同构造的现浇剪力墙^[17]相比,试件 SWB5-1 各特征荷载基本一致,但特征位移均有所增大,增大幅度约为 Δ_{sk} ,即所设计新型装配式剪力墙在保持承载力不变的同时,具有更强的变形能力,耗能性能更强。

3.3 钢筋应变分析

为了解新型装配式剪力墙内部纵筋的应变规律,选择相同上部墙体、不同螺栓数量的试件 SWB3 和 SWB5-1 进行分析。图 7 为试件 SWB3 和 SWB5-1 的边缘构件最外侧受拉纵筋和中轴线纵筋在加载位移 Δ 为 20~100 mm 的应变情况。

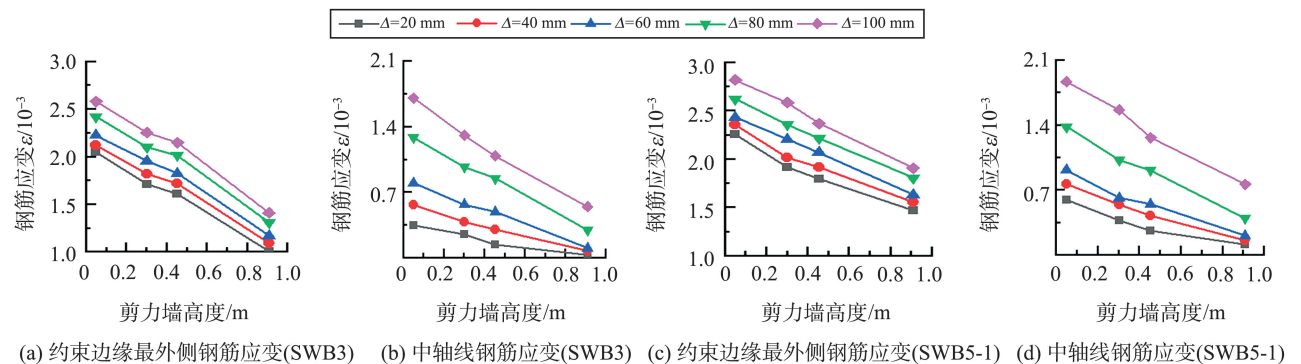


图7 试件 SWB3 和 SWB5-1 纵筋应变对比

Fig.7 Comparison of longitudinal strain of specimens SWB3 and SWB5-1

由图 7 可得,在顶点侧移相同时,上部墙体边缘构件纵筋与中轴线纵筋的应变均沿剪力墙高度的降低而增大,并在 U 型槽钢上方约 50 mm 处达到最大,剪力墙中轴线纵筋的应变总小于边缘构件最外侧受拉纵筋,说明试件破坏形式主要为弯剪破坏。

分别对比图 7(a)、7(c) 和图 7(b)、7(d) 发现,在同等位移作用下,试件 SWB5-1 的边缘构件最外侧纵筋和中轴线纵筋的应变均大于试件 SWB3,说明试件 SWB5-1 能承担的水平荷载更大,即螺栓配置数量越多,新型装配式剪力墙的整体性和传力性能

越好。

4 结论

(1) 钢筋应变分析结果表明,上部墙体中轴线纵筋应变始终小于边缘构件最外侧受拉纵筋,试件表现为弯剪破坏。

(2) 螺栓数量的减少会削弱新型装配式剪力墙的抗剪刚度,增大墙顶水平侧移,但对其极限承载力影响不大。

(3) 轴压比、边缘构件纵筋配筋率的减小均会导致新型装配式剪力墙承载力降低。

(4) 所设计新型装配式剪力墙在保持承载力不变的同时,具有更强的变形能力,耗能性能更强。

(5) 对比不同螺栓数量的试件 SWB3 和 SWB5-1 中内部纵筋应变变化规律,螺栓配置数量越多,新型装配式剪力墙的整体性和传力性能越好。

参考文献:

- [1] ZHONG C L, ZHANG M Q, CUI X, et al. Comprehensive evaluation of China's prefabricated decoration cost based on analytic hierarchy process[J]. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 2020: 1583748.
- [2] PAN G B, CAI J, HE A, et al. An experimental study of the seismic behaviour of precast concrete shear walls with bolted-plated connections[J]. *Engineering Structures*, 2021, 248: 113203.
- [3] 朱张峰, 郭正兴, 朱寅, 等. 不同连接构造的装配式混凝土剪力墙抗震性能试验研究[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2017, 44(3): 55-60.
ZHU Zhangfeng, GUO Zhengxing, ZHU Yin, et al. Experimental investigation on seismic performance of precast concrete shear walls with different connections[J]. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 2017, 44(3): 55-60.
- [4] 樊禹江, 葛俊, 艾斌平, 等. 新型装配式剪力墙抗震性能试验[J/OL]. *哈尔滨工业大学学报*. (2022-08-30) [2023-01-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1235.T.20220830.1231.002.html>.
- [5] EI SEMELAWY M, EI DAMATTY A, SOLIMAN A M. Novel anchor-jointed precast shear wall: testing and validation[J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 2015, 168(4): 263-274.
- [6] EI SEMELAWY M, EI DAMATTY A, SOLIMAN A M. Finite-element analysis of anchor-jointed precast structural wall system[J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 2017, 170(8):

543-554.

- [7] KALLIONTZIS D, NAZARI M. Unbonded post-tensioned precast concrete walls with rocking connections: modeling approaches and impact damping[J]. *Frontiers in Built Environment*, 2021, 7: 638509.
- [8] 孙建, 邱洪兴, 谭志成, 等. 螺栓连接全装配式一字形 RC 剪力墙受力性能试验研究[J]. *建筑结构学报*, 2016, 37(3): 67-75.
SUN Jian, QIU Hongxing, TAN Zhicheng, et al. Experimental study on mechanical behavior of rectangular precast reinforced concrete shear wall utilizing bolted connections[J]. *Journal of Building Structures*, 2016, 37(3): 67-75.
- [9] 孙建, 邱洪兴, 蒋洪波. 螺栓连接装配式一字形钢筋混凝土剪力墙承载力分析[J]. *建筑结构学报*, 2019, 40(8): 23-30.
SUN Jian, QIU Hongxing, JIANG Hongbo. Analysis on load bearing capacities of rectangular precast reinforced concrete shear wall assembled by high strength bolts[J]. *Journal of Building Structures*, 2019, 40(8): 23-30.
- [10] 马雪玉. 预制钢筋混凝土剪力墙板水平接缝钢板组合连接构造研究[D]. 苏州: 苏州科技大学, 2017.
MA Xueyu. Research on horizontal interface of precast shear wall with bolt and two-side connecting plate[D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2017.
- [11] 苗欣蔚, 黄炜, 胡高兴, 等. 水平缝螺栓连接的全装配式复合墙体受力性能试验研究[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2021, 48(5): 19-28.
MIAO Xinwei, HUANG Wei, HU Gaoxing, et al. Experimental study on mechanical behavior of fully assembled composite wall with bolted connection on horizontal joints[J]. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 2021, 48(5): 19-28.
- [12] 王啸楠, 高旭杰. 螺栓钢板接缝连接装配式混凝土剪力墙的受力性能分析[J]. *建筑结构*, 2019, 49(增刊2): 526-530.
WANG Xiaonan, GAO Xujie. Mechanical behaviors analysis of precast concrete shear wall with bolted steel plate joints[J]. *Building Structures*, 2019, 49(Suppl. 2): 526-530.
- [13] 赵斌, 王庆杨, 吕西林. 采用全装配水平接缝的预制混凝土剪力墙抗震性能研究[J]. *建筑结构学报*, 2018, 39(12): 48-55.
ZHAO Bin, WANG Qingyang, LÜ Xilin. Research on seismic behavior of precast concrete walls with fully assembled horizontal joints[J]. *Journal of Building Structures*, 2018, 39(12): 48-55.