

角部构造改进装配式组合剪力墙力学性能试验研究

王彦峰*, 吴小蕙, 潘柏崇

(广东电网有限责任公司电网规划研究中心, 广州 510220)

摘要: 在地震荷载作用下, 剪力墙结构角部混凝土常发生压碎脱落, 进而导致构件承载力下降, 确保角部混凝土不提前损伤失效是提升其抗震性能的有效途径之一。针对内藏钢板-外包混凝土板装配式组合剪力墙结构, 提出了角部加厚处理、角部直边加肋处理、角部圆边加肋处理三种构造改进方式, 文中设计制作了4组装配式组合剪力墙试件, 并对其开展了低周往复加载试验研究, 探讨了不同角部构造改进方式对组合剪力墙抗震性能的影响。结果表明: 三种角部构造改进方式均能有效提升减轻装配式组合剪力墙的抗震性能, 消除加载过程中角部混凝土提前损伤失效、墙身斜裂缝交织的问题; 角部构造改进后, 试件的承载力、抗侧刚度、滞回耗能等力学性能较角部构造未改进试件均有大幅提升, 其中以角部圆边加肋构造的改进效果最优, 该改进试件在加载位移角达到1/37时, 峰值承载力、抗侧刚度较未改进试件分别提升了16.77%和26.67%。

关键词: 装配式结构; 组合剪力墙; 角部构造改进; 低周往复加载试验; 力学行为

中图分类号: TU398⁺.9

文献标志码: A

文章编号: 1671-9379(2025)11-0066-09

DOI: 10.13969/j.jzgjz.20240614002

Experimental Study on Mechanical Performance of Prefabricated Composite Shear Wall with Improved Corner Construction

WANG Yanfeng*, WU Xiaohui, PAN Baichong

(Power Grid Planning Research Center of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510220, China)

*Corresponding author: 13560309121@139.com

Abstract: Under seismic loads, the concrete at the corners of shear wall structures often experiences crushing and spalling, leading to a decrease in the bearing capacity. Ensuring that the concrete at the corners is not damaged or fails prematurely is one of the effective ways to improve the seismic performance of shear walls. Three construction improvement methods are proposed for the assembled composite shear wall structure with embedded steel plate and outer concrete plate, including corner thickening treatment, corner straight edge rib treatment, and corner circular edge rib treatment. Four kinds of assembly composite shear wall test specimens are designed. Low cycle reversed tests are conducted for the four specimens to explore the influence of different corner construction improvement methods on the seismic performance of composite shear walls. The results show that the three improved methods of corner construction can effectively improve the seismic performance of prefabricated composite shear walls. The improved methods can mitigate the early damage and failure of corner concrete and interweaving of diagonal cracks in the wall body during the loading process of specimens. The mechanical properties of the specimen, such as load-

收稿日期: 2024-06-14

基金项目: 南方电网公司科技项目 (GDKJXM20230414)

作者简介:

王彦峰(1978—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要从事电力工程与建设方面的研究。

E-mail: 13560309121@139.com。(通信作者)

吴小蕙(1974—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事工程管理与抗震减灾技术方面的研究。

bearing capacity, lateral stiffness, and hysteresis energy dissipation, have been significantly improved compared to the specimens without improvement in the corners, and the optimal treatment is corner circular edge rib treatment. The peak bearing capacity and lateral stiffness were increased by 16.77% and 26.67% respectively when the loading displacement angle reached 1/37 compared to the unmodified specimen.

Keywords: prefabricated structure; composite shear wall; corner construction improvement; low cycle reversed tests; mechanical behavior

近年来,建筑业产业结构深度调整,推动传统建造模式发生重大变革,装配式结构体系凭借绿色环保、建造周期短等优势在实际工程中得到广泛使用^[1-3]。在既有装配式结构体系中,剪力墙结构体系占比超过了90%,尤其是在高层住宅建筑中被广泛使用。开发新型装配式剪力墙结构体系,提升其抗震性能成为当前装配式结构体系研究的热点问题之一^[4]。

国内外学者针对预制装配式剪力墙结构开展了大量的研究,取得了丰富的研究成果。文献[5]针对竖向接缝采用钢筋锚环或钢丝绳套连接、水平接缝采用单排大直径钢筋间接搭接的多层装配式预制剪力墙,开展了低周往复加载性能试验研究,对比分析了试件破坏形态、全过程受力机理和参数影响规律。文献[6]研究了采用超高性能混凝土连接的装配式剪力墙的力学性能,结果表明:该剪力墙的破坏形态与现浇式剪力墙的破坏形态一致,均为理想的压弯破坏。文献[7]研究了含预制剪力墙板与钢制耗能器的可恢复功能的装配式剪力墙的抗震性能,结合拟静力试验探讨了其破坏机理、承载力和滞回耗能特性,结果表明:该含有可恢复功能的装配式剪力墙具有良好的抗震性能和耗能能力。文献[8]研究了带竖缝连接装配式剪力墙的抗震性能,发现带竖缝耗能器的该类装配式剪力墙不仅协同工作性能良好,其抗震承载力还与现浇整体式剪力墙接近,且延性和耗能能力均有所提升。文献[9]基于性能试验和数值模拟研究了槽钢骨架轻质混凝土装配式剪力墙的抗震性能,研究发现:在此类剪力墙中增设暗柱能有效提升构件的水平承载力和延性性能。文献[10]研发了一种新型装配式双钢套管内置高强混凝土组合剪力墙,并开展了压(拉)-弯-剪力学性能试验研究,发现该装配式剪力墙在复合受力作用下具有良好的抗震性能,且具有易装配、高承载、低成本等优点。此外,文献[11-13]亦针对不同类型的装配式剪力墙开展了构件开发与力学性能研究,取得了极具参考价值的成果。

剪力墙在承载抗侧过程中一般发生压弯破坏,剪力墙角部混凝土首先出现开裂损伤,然后向墙身延伸直至失效,其中角部混凝土损伤最大。为此,提出一种改进角部构造的装配式型钢-混凝土组合剪力墙结构,设计制作了不同角部构造改进方式的组合剪力墙试件,并对其开

展了低周往复加载试验,探究了所提角部构造改进方案对剪力墙抗震性能的影响,为实际工程设计提供参考。

1 试验概况

1.1 试件设计

装配式剪力墙主要由内藏钢板、双面外挂混凝土板及四周连接钢板组成。内藏钢板与四周连接钢板焊接;内藏钢板上设置间距150 mm的栓钉,用于与混凝土板连接,栓钉长38 mm、直径10 mm,同时在混凝土板内配型号HPB-300、直径8 mm、间距100 mm的纵横分布筋;钢板与混凝土浇筑成型后,剪力墙按模块化方式,采用螺栓与上下构件装配连接。模块化墙体宽580 mm、长1 335 mm、厚100 mm,内藏钢板采用厚3 mm的Q235型钢,混凝土板通过内藏钢板上的栓钉与其现浇形成一体,该混凝土板厚48.5 mm、采用C30强度等级材质。为对比不同角部构造改进方式对装配式剪力墙力学性能的影响,设计了4个剪力墙试件,具体设计如下:

(1) 试件SP1。对照试件,角部构造未进行改进处理,如图1a)所示;

(2) 试件SP2。角部加厚处理,即将角部100 mm区域中的内藏钢板由3 mm加厚至9 mm,焊脚尺寸取为5 mm,其余保持与试件SP1相同,如图1b)所示;

(3) 试件SP3。角部直边加肋处理,即在角部100 mm区域中的内藏钢板上增加两条加劲肋,加劲肋钢板厚6 mm,焊缝同试件SP2,其余同试件SP1,如图1c)所示;

(4) 试件SP4。角部圆边加肋处理,加肋方式与试件SP3相同,但将其中一条直边肋替换为圆边肋,焊缝同试件SP2,如图1d)所示。

1.2 材料力学性能

4个剪力墙试件的混凝土在实验室一次浇筑完成,浇筑时按照《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2019)要求,预留3个立方体试块和3个棱柱体试块。在试件加载当天测试试块的混凝土材料强度,测得立方体抗压强度为31.5 MPa、抗拉强度为2.2 MPa、弹性模量为28 760 MPa(均为平均值),棱柱体轴心抗压强度为15.4 MPa、对应压应变为0.002 5、破坏荷载为707.9 kN(均为平均值)。

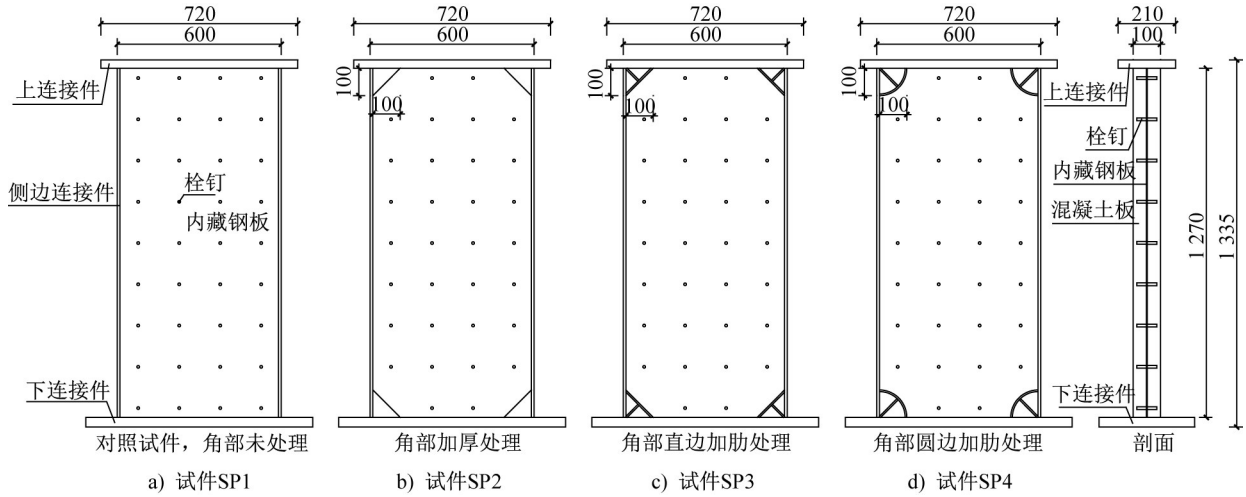


图1 装配式组合剪力墙试件(单位:mm)

Fig. 1 Prefabricated composite shear wall specimens (unit: mm)

按照《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》(GB/T 228.1—2021)的要求,同步对剪力墙中的连接件钢板、内藏钢板和钢筋进行取样,其中内藏钢板、连接件钢板分别取自同一块钢板,钢筋为同一批次。型钢和钢筋材料力学性能见表1。

表1 型钢和钢筋力学性能参数

Table 1 Property parameters of steel and reinforcement

试件	屈服强度 f_y /MPa	极限强度 f_u /MPa	弹性模量 E_s /GPa
内藏钢板试件	A1	413	511
	A2	393	490
	A3	404	506
	试件均值	400	502
连接件钢板试件	B1	335	460
	B2	320	450
	B3	315	455
	试件均值	323	455
钢筋试件	C1	305	447
	C2	300	440
	C3	310	441
	试件均值	305	442

1.3 试件组装与测量方案

装配式剪力墙试件模块养护好后,先通过高强螺栓将试件墙体与地梁、加载梁连接,再安装到试验加载框架上,如图2所示。剪力墙的轴压力通过竖向千斤顶施加,轴压比控制为0.05;水平低周往复荷载采用1500kN液压伺服助动器加载,水平加载初期以力控制方式加载,随后采用位移控制,当加载力下降至峰值荷载的85%时加载结束,水平加载制度如图3所示。沿试件高度方向在侧面布置4个水平位移计d1~d4,用于测量试件水平侧向位移;在剪力墙上布置铰接式位移计DW1~DW6,用于测量试件在加载过程中的剪切变形和弯曲变形,如图4所示。试验数据通过MTS FlexDAC-20系统采集。

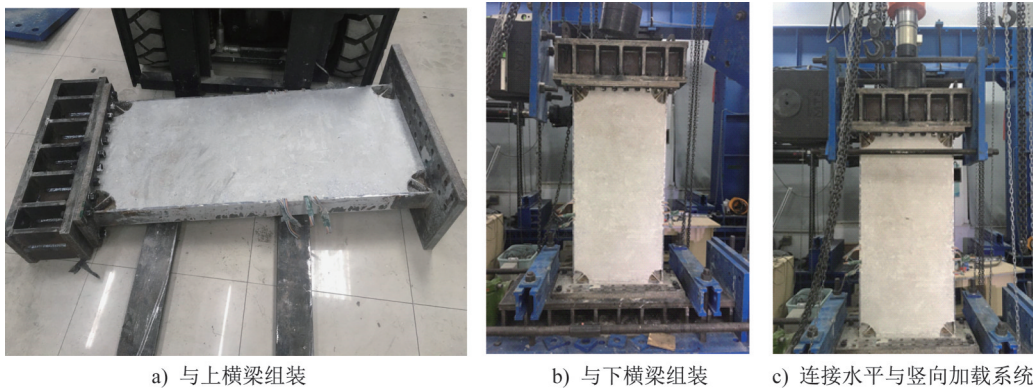


图2 试件组装过程

Fig. 2 Assembly process of specimens

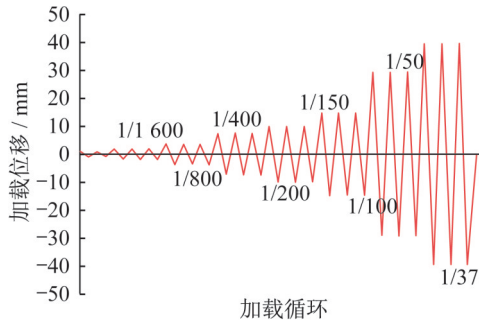


图 3 位移控制水平加载制度

Fig. 3 Displacement controlled horizontal loading system

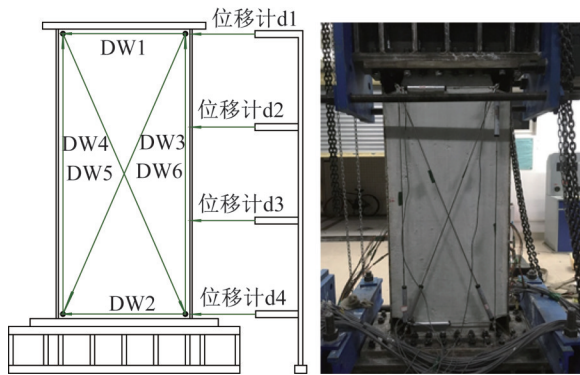


图 4 位移计布置和现场照片

Fig. 4 Arrangement of displacement meters and onsite photo

2 试验现象与变形特征

2.1 试验现象

组合剪力墙试件随加载位移角增大,整体呈现损伤不断发展的现象,当加载位移 δ 为 $1/50$ rad、 $1/37$ rad时,

组合剪力墙试件的代表性试验现象与裂缝发展情况分别如图 5、6 所示。对各试件的损伤裂缝发展概述如下:

(1) 试件 SP1。当加载位移角 δ 为 $1/400$ rad时,墙身下方首次出现斜裂缝;当加载位移角 δ 为 $1/100$ rad时,混凝土损伤开始发展,裂缝数量增加,底部出现长 290 mm、宽 0.3 mm 的裂缝,角部混凝土同时出现一定程度的压碎现象;当加载位移角 δ 为 $1/50$ rad时,混凝土损伤加剧,底部裂缝近乎贯穿,缝宽达到 4 mm,角部混凝土挤压脱落现象更明显;当加载位移角 δ 为 $1/37$ rad时,混凝土损伤进一步加剧,墙身斜裂缝相互交织,角部混凝土大面积压碎脱落,试件最终破坏失效。

(2) 试件 SP2。当加载位移角 δ 为 $1/400$ rad时,墙身下方首次出现斜裂缝;当加载位移角 δ 为 $1/100$ rad时,混凝土损伤开始发展,墙身最大缝宽达到 0.3 mm,但底部未出现水平裂缝;当加载位移角 δ 为 $1/50$ rad时,墙身裂缝发展不断扩大,并发出撕裂声,且底部出现长 290 mm、宽 3 mm 的裂缝,角部混凝土开始出现压碎现象;当加载位移角 δ 为 $1/37$ rad时,混凝土损伤发展加剧,表面撕裂面积及裂缝宽度扩大,角部混凝土出现一定程度的压碎脱落现象,试件失效。

(3) 试件 SP3。当加载位移角 δ 为 $1/400$ rad时,墙身下方首次出现斜裂缝;当加载位移角 δ 为 $1/100$ rad时,混凝土有一定程度损伤,但角部混凝土未出现压碎现象,仅沿加劲肋方向撕裂,撕裂宽度达 0.75 mm;当加载位移角 δ 为 $1/50$ rad时,墙身裂缝不断扩大,并发出撕裂声,墙身底部出现长 235 mm、宽 2 mm 的裂缝,且角部混凝土未出现压碎现象;当加载位移角 δ 为 $1/37$ rad时,混凝土损伤加剧,表面撕裂面积及裂缝宽度扩大,角部混凝土出现一定程度压碎脱落,试件失效。

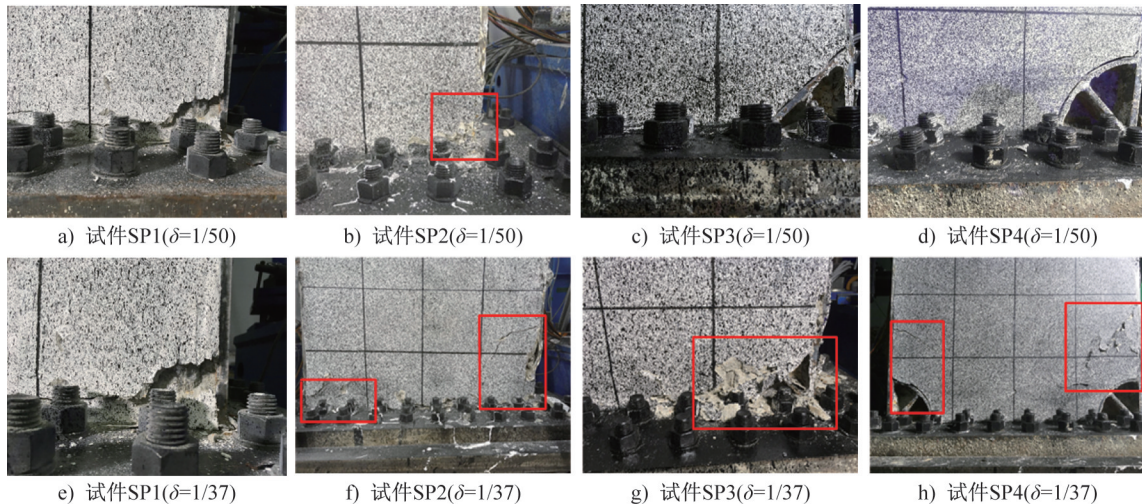


图 5 剪力墙试件角部失效模式

Fig. 5 Failure modes at the corners of shear wall specimens

(4) 试件 SP4。当加载位移角 δ 为 $1/400$ rad时,墙身下方首次出现斜裂缝;当加载位移角 δ 为 $1/100$ rad时,混

凝土有一定程度损伤,但角部混凝土未出现压碎现象,仅沿加劲肋方向撕裂,撕裂宽度达 0.4 mm;当加载位移角 δ

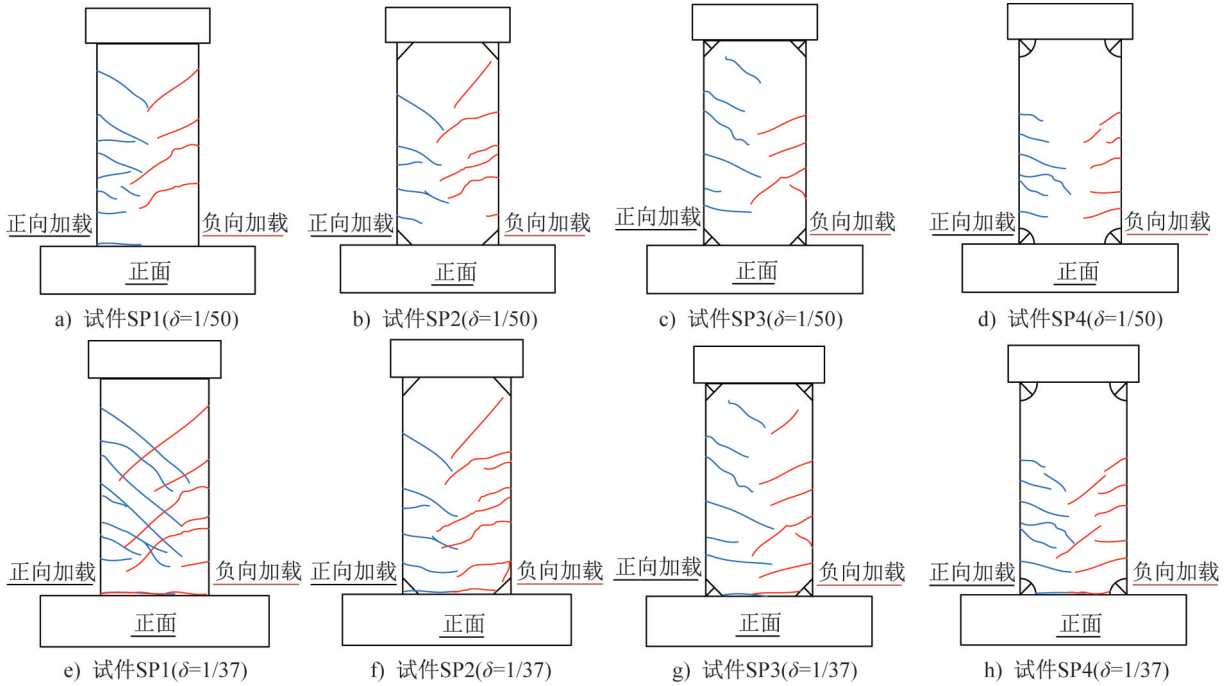


图6 剪力墙试件裂缝发展

Fig. 6 Crack development of shear wall specimens

为 1/50 rad 时,墙身裂缝不断扩大,并发出撕裂声,墙身底部出现长 225 mm、宽 0.7 mm 的裂缝,但角部混凝土未出现压碎现象;当加载位移角 δ 为 1/37 rad 时,混凝土损伤加剧,表面撕裂面积及裂缝宽度扩大,角部混凝土出现一定程度压碎脱落现象,试件失效。

2.2 变形特征

通过位移计 d1~d4 测量试件在加载过程中的侧向位移情况,在加载位移角 $\delta=1/400$ rad、 $\delta=1/150$ rad 时试件沿高度方向的侧向位移如图 7 所示,其余加载位移角下的侧向位移与此类似。由图可知:剪力墙试件沿高度方向的侧向位移逐渐增大且无突变,说明该试件抗侧刚度分布均匀、具有良好的协同工作性能;无论正向加载还是负向加载,角部构造改进试件(SP2~SP4)的侧向位移均小于角部构造未改进试件 SP1 的侧向位移,且以角部圆边加肋处理的试件位移最小,说明此种角部处理方式最优,且具有更高的抗侧能力。如在 $\delta=1/50$ rad 时,试件 SP1~SP4 顶部的侧向位移依次为 23.28 mm、22.59 mm、21.91 mm、20.73 mm,试件 SP4 的侧向位移较试件 SP1 的侧向位移降低了 11%。

剪力墙试件的弯曲变形特征可通过竖向铰接式位移计 DW5、DW6 的测量数据计算求得;剪切变形特征则通过斜向铰接式位移计 DW1~DW4 的测量数据计算求得,相应的曲率 ω 和剪应变 γ 计算公式如式(1)、(2),参数表征如图 8 所示:

$$\omega = \frac{\mu_t - \mu_c}{hl} \quad (1)$$

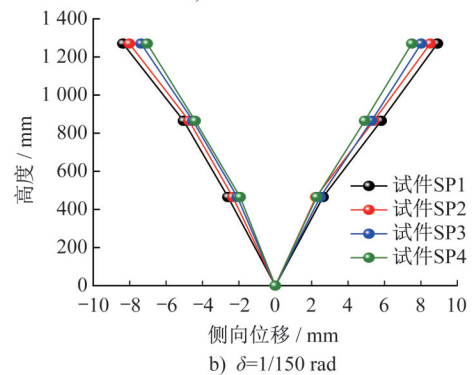
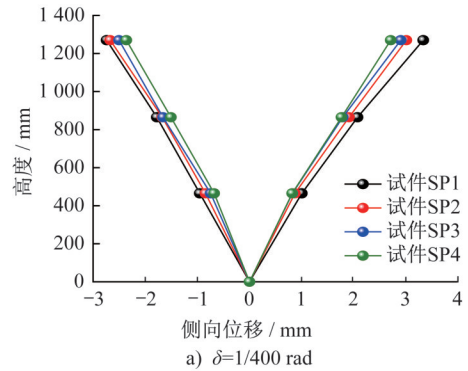


图7 剪力墙试件沿高度方向侧向位移对比
Fig. 7 Comparison of lateral displacement along height of shear wall specimens

$$\gamma = \frac{d_1}{h} = \frac{d_{11} - d_{12}}{h2 \cos \alpha} \quad (2)$$

式中: μ_t 、 μ_c 分别为竖向位移计的拉伸和压缩变形; d_{11} 、 d_{12} 分别为斜向位移计的对角压缩和拉伸变形; l 和 h 分别为试件的宽度和高度; α 为斜杆角度。

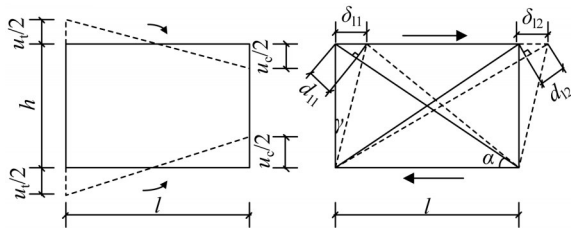


图8 曲率和剪应变参数表征

Fig. 8 Parameter characterization of curvature and shear strain

图9为4组装配式组合剪力墙试件在不同加载位移角下的曲率和剪应变变化。由图可知:无论是曲率还是剪应变,均随加载位移角变化整体上呈逐渐上升的趋势,且角部构造改进型试件的曲率、剪应变均高于未改进试件的曲率与剪应变,说明角部构造改进有利于提升试件的抗剪切和弯曲变形能力,其中角部圆边加劲处理效果最优。

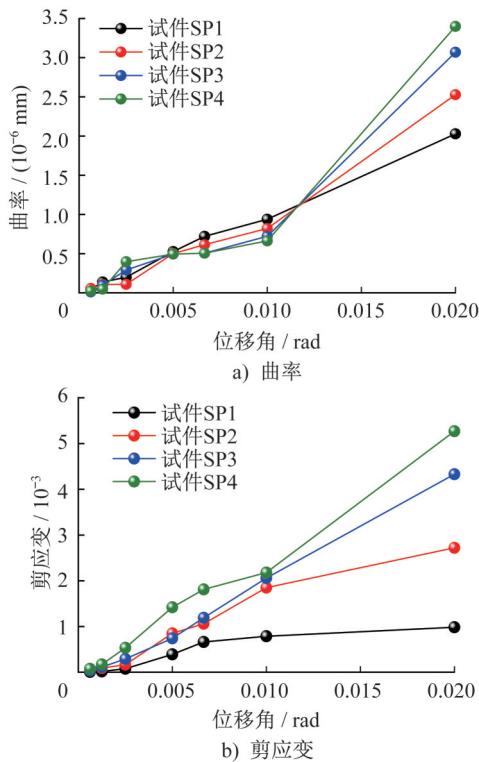


图9 剪力墙试件曲率和剪应变特征

Fig. 9 Characteristics of curvature and shear strain of shear wall specimens

3 试验结果分析

3.1 荷载-位移关系曲线

将4个装配式组合剪力墙试件测得的荷载和位移进行均值处理,绘制试件的荷载-位移关系曲线如图10所示。由图可知:随着加载位移角的增大,所有试件的荷载均随之增大,且角部构造改进试件的增长速度较未改进

试件的增长速率大。各试件的屈服位移差异不大,角部构造未改进试件SP1的屈服位移最低(16.2 mm),角部构造改进试件SP2~SP4的屈服位移分别为16.4 mm、16.7 mm、16.8 mm,屈服位移最大仅相差2.38%。但在峰值承载力方面,角部构造改进试件明显高于角部构造未改进试件,试件SP1~SP4的峰值承载力分别为328 kN、360 kN、371 kN、383 kN,其中试件SP4较试件SP1提升了16.77%。此外,从试件的荷载-位移关系曲线还可以看出,角部圆边加劲构造改进试件SP4在加载位移角达到1/37时仍未出现承载力退化现象,而其余3个试件的承载力在加载位移角达1/50后均出现了下降,这说明角部圆边加劲构造改进,能够有效提升试件的承载能力和延性。

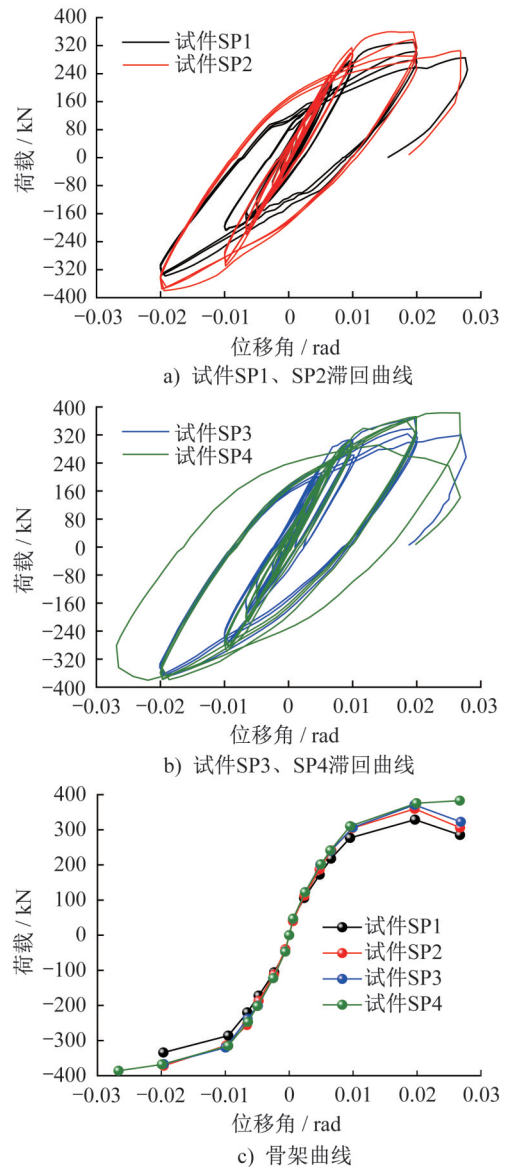


图10 剪力墙试件荷载-位移关系曲线

Fig. 10 Load-displacement relationship curves of shear wall specimens

3.2 滞回耗能特性

图11为4个装配式组合剪力墙试件累积滞回耗能与等效黏滞阻尼比随加载位移角的变化曲线。由图可知:随着加载位移角的增大,试件的累积滞回耗能也呈现出不断增大的趋势;在加载前期,4个试件的耗能能力相差不大,甚至角部构造未改进试件的累积滞回耗能和等效阻尼比要高于角部构造改进试件的对应值;但在加载后期,角部构造改进试件的累积滞回耗能和等效阻尼比均高于未改进试件的对应值。其原因在于:在加载前期,角部构造改进试件的损伤程度要低于角部构造未改进试件的损伤程度,进而导致角部构造未改进试件的累积滞回耗能特性较好;然而,随着加载位移角增大,角部构造未改进试件不断出现混凝土压碎脱落,而角部构造改进试件仅产生微小压碎脱落,甚至未发生该现象,因此加载后期试件滞回耗能特性不断提升。如在加载位移角为1/100时,试件SP1~SP4的累积滞回耗能分别为14.6 kN·m、10.4 kN·m、17 kN·m和11.2 kN·m,等效黏滞阻尼比分别为4.7%、3.8%、5.0%和4.4%;然而,在加载位移角为1/50时,试件SP1~SP4的累积滞回耗能分别为36.3 kN·m、52.4 kN·m、50.5 kN·m和53.8 kN·m,等效黏滞阻尼比分别为9.5%、10.8%、10.5%和11.3%,试件SP4的滞回耗能和等效黏滞阻尼比较试件SP1分别提升了48.2%、18.9%。

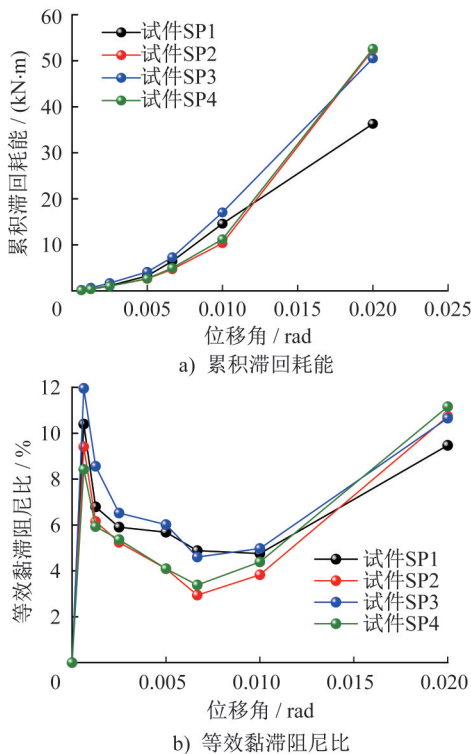


图11 剪力墙试件滞回耗能特性

Fig. 11 Hysteretic energy dissipation characteristics of the shear wall specimens

3.3 刚度退化

剪力墙试件的侧向变形能力可由抗侧刚度反映,而刚度随加载位移角的变化特性常采用割线刚度表征:

$$K_j^i = \frac{|+F_j^i| + |-F_j^i|}{|+\Delta_j^i| + |-\Delta_j^i|} \quad (3)$$

式中: $\pm F_j^i$ 为正向和负向加载的最大承载力; $\pm \Delta_j^i$ 为正向和负向加载的最大位移。

图12为4个试件的割线刚度随加载位移角的变化曲线。由图可知:虽然随着加载位移角的增大,试件割线刚度呈现不断下降的变化趋势,但角部构造未改进试件的割线刚度最小,且下降最快,说明角部构造改进有助于提升组合剪力墙试件的整体抗侧刚度,其中以角部圆边加劲构造改进最优。如试件SP1~SP4的初始刚度分别为 $38.5 \text{ kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ 、 $40.7 \text{ kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ 、 $46 \text{ kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ 和 $52.5 \text{ kN}\cdot\text{mm}^{-1}$,试件SP4的初始刚度较试件SP1的初始刚度提升了26.67%。

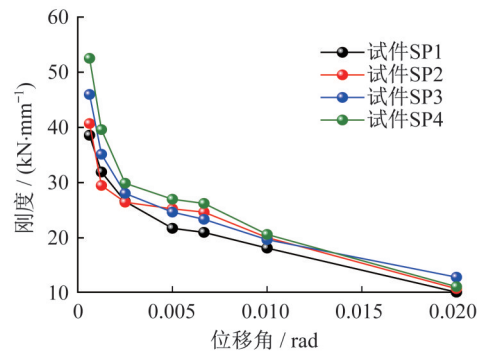


图12 剪力墙试件刚度退化

Fig. 12 Stiffness degradation of the shear wall specimens

4 结论

针对装配式组合剪力墙容易在角部提前发生损伤失效的情况,基于低周往复加载试验探讨了不同角部构造改进方式对组合剪力墙抗震性能的影响,得到结论如下:

(1) 所提出的三种角部构造改进处理方式可有效改善装配式组合剪力墙的抗震性能,解决试件在加载过程中角部混凝土提前损伤失效的问题,进而提升装配式组合剪力墙的抗侧刚度和承载力。

(2) 角部构造改进可显著提升装配式组合剪力墙的抗损伤能力与抗震性能。具体表现为:相较于角部构造未改进试件(位移角为1/100时即出现角部混凝土压碎,位移角为1/37时发生大面积压碎脱落且墙身斜裂缝交织),角部构造改进试件的损伤起始时间显著延缓(位移角为1/50才逐渐出现角部裂缝与轻微压碎脱落),且破坏程度明显减轻,即使加载至位移角为1/37,仅角部混凝土出现一定程度压碎脱落,墙身斜裂缝数量少、缝宽小,未发生交织现象,充分体现了角部构造优化对延缓混凝土

土损伤发展、降低破坏程度的积极作用。

(3) 三种角部构造改进处理方式中以角部圆边加劲构造改进最优,能大大提升试件的承载能力和延性性能,在加载位移角达到1/37时仍未出现承载力退化现象,其峰值承载力、抗侧刚度较未改进试件分别提升了16.77%、26.67%。

(4) 所有试件的累积滞回耗能均随加载位移角的增大而增大,在加载前期试件耗能能力相差不大,但在加载后期,角部构造改进试件的累积滞回耗能和等效阻尼比均高于未改进试件的对应值,如在位移角为1/50时试件SP4的滞回耗能和等效黏滞阻尼比较试件SP1的滞回耗能和等效黏滞阻尼比分别提升了48.2%、18.9%。

参考文献:

- [1] 王斌,张静玄,史庆轩,等.装配式混凝土剪力墙结构接缝连接研究进展[J].建筑科学与工程学报,2024,41(1):15-30. DOI:10.19815/j.jace.2023.05039.
WANG Bin, ZHANG Jingxuan, SHI Qingxuan, et al. Research progress on joint connection of precast concrete shear wall structures [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2024, 41(1): 15-30. DOI: 10.19815/j.jace.2023.05039. (in Chinese)
- [2] 曹万林,秦成杰,董宏英,等.装配式单排配筋再生混凝土中高剪力墙抗震性能研究[J].地震工程与工程振动,2018,38(1):108-116. DOI:10.13197/j.eeev.2018.01.108.caowl.012.
CAO Wanlin, QIN Chengjie, DONG Hongying, et al. Study on seismic behavior of mid-rise prefabricated single-row reinforced recycled concrete shear walls [J]. Earthquake Engineering and Engineering Dynamics, 2018, 38(1): 108-116. DOI: 10.13197/j.eeev.2018.01.108.caowl.012. (in Chinese)
- [3] 付重阳,熊二刚,胡勤斌,等.装配式剪力墙新型水平连接装置的力学性能数值模拟[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2024,56(1):82-92. DOI:10.15986/j.1006-7930.2024.01.011.
FU Chongyang, XIONG Ergang, HU Qinbin, et al. Numerical simulation of mechanical properties of new horizontal connection device for prefabricated shear walls [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2024, 56(1): 82-92. DOI: 10.15986/j.1006-7930.2024.01.011. (in Chinese)
- [4] 申彦利,石佩云.低层装配式竖缝中空剪力墙抗震性能[J].科学技术与工程,2021,21(7):2810-2815. DOI:10.3969/j.issn.1671-1815.2021.07.036.
SHEN Yanli, SHI Peiyun. Study on seismic behavior of low layer assembled slit hollow shear wall [J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(7): 2810-2815. DOI: 10.3969/j.issn.1671-1815.2021.07.036. (in Chinese)
- [5] 肖明,韩文龙,吕晚晴,等.多层装配式预制剪力墙抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2023,44(12):32-45. DOI:10.14006/j.jzjgxb.2022.0686.
XIAO Ming, HAN Wenlong, LYU Wanqing, et al. Experimental study on seismic performance of multi-story prefabricated shear wall [J]. Journal of Building Structures, 2023, 44(12): 32-45. DOI: 10.14006/j.jzjgxb.2022.0686. (in Chinese)
- [6] 郑七振,李会炎,龙莉波,等.基于超高性能混凝土连接的装配式剪力墙抗震性能试验研究[J].工业建筑,2021,51(9):82-89. DOI:10.13204/j.gyjzg20042601.
ZHENG Qizhen, LI Huiyan, LONG Libo, et al. Experimental research on aseismic performances of prefabricated shear wall connected by UHPC [J]. Industrial Construction, 2021, 51(9): 82-89. DOI: 10.13204/j.gyjzg20042601. (in Chinese)
- [7] 叶建峰,刘宪成,颜桂云,等.可恢复功能装配式剪力墙抗震性能试验研究[J].地震工程与工程振动,2024,44(1):61-72. DOI:10.13197/j.eeed.2024.0106.
YE Jianfeng, LIU Xiancheng, YAN Guiyun, et al. Experimental study on seismic performance of recoverable precast shear wall [J]. Earthquake Engineering and Engineering Dynamics, 2024, 44(1): 61-72. DOI: 10.13197/j.eeed.2024.0106. (in Chinese)
- [8] 王宇亮,崔洪军,张玉敏,等.竖缝耗能的预制装配式剪力墙抗震性能试验研究[J].工业建筑,2020,50(11):46-51. DOI:10.13204/j.gyjzg19102703.
WANG Yuliang, CUI Hongjun, ZHANG Yumin, et al. Experimental research on seismic behavior of prefabricated shear wall with energy dissipation by vertical joints [J]. Industrial Construction, 2020, 50(11): 46-51. DOI: 10.13204/j.gyjzg19102703. (in Chinese)
- [9] 李传浩,王二成,张京军,等.装配式槽钢骨架轻质混凝土剪力墙抗震性能试验研究及有限元分析[J].混凝土,2019(8):8-12,16. DOI:10.3969/j.issn.1002-3550.2019.08.002.
LI Chuanhao, WANG Ercheng, ZHANG Jingjun, et al. Experimental study and FEA on seismic behavior of precast channel framing light weight concrete shear walls [J]. Concrete, 2019(8): 8-12, 16. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3550.2019.08.002. (in Chinese)
- [10] 补国斌,齐超文,周靖,等.装配式双钢套管内置高强混凝土组合剪力墙及其试验验证[J].地震工程学报,2022,44(6):1294-1299,1308. DOI:10.20000/j.1000-0844.20220804009.
BU Guobin, QI Chaowen, ZHOU Jing, et al. Fabricated double steel tube-encased and high strength concrete-filled composite shear wall and its test verification [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2022, 44(6): 1294-1299, 1308. DOI: 10.20000/j.1000-0844.20220804009. (in Chinese)
- [11] 郑宏,徐笑东,王伟,等.装配式交叉密肋钢板剪力墙参数影响分析[J].建筑科学与工程学报,2020,37(4):52-59. DOI:10.19815/j.jace.2019.07057.
ZHENG Hong, XU Xiaodong, WANG Wei, et al. Analysis on influence factors of assembled cross-ribbed steel plate shear wall [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2020, 37(4): 52-59. DOI: 10.19815/j.jace.2019.07057. (in Chinese)

- [12] 程蓓,屈魏超,雷远德.装配式与现浇钢筋混凝土联肢剪力墙基础隔震结构受力性能对比研究[J].工程抗震与加固改造,2021,43(4):81-87,80.DOI:10.16226/j.issn.1002-8412.2021.04.012.
CHENG Bei, QU Weichao, LEI Yuande. Studies of mechanical performances of precast concrete coupled shear wall base-isolated structures compared with cast concrete coupled shear wall base-isolated structures [J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2021, 43(4): 81-87, 80. DOI: 10.16226/j.issn.1002-8412.2021.04.012. (in Chinese)
- [13] 武立伟,于斐凡,郭雪源,等.装配式圆钢管混凝土组合剪力墙抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2022,43(增刊1):186-195.DOI:10.14006/j.jzjgxb.2022.S1.0020.
WU Liwei, YU Feifan, GUO Xueyuan, et al. Experimental study on seismic behavior of assembled concrete-filled circular steel tubular composite shear wall [J]. Journal of Building Structures, 2022, 43 (Suppl. 1): 186-195. DOI: 10.14006/j.jzjgxb.2022.S1.0020. (in Chinese)

.....

(上接第 65 页)

- [10] 杨攀,张雷,孟宪乔,等.单角钢八地脚螺栓的受力分析及其塔脚板厚度设计[J].南昌大学学报(工科版),2016,38(3):240-244.DOI:10.13764/j.cnki.ncdg.2016.03.007.
YANG Pan, ZHANG Lei, MENG Xianqiao, et al. Stress analysis of single angle eight foundation bolts and its design of bottom plate thickness [J]. Journal of Nanchang University (Engineering & Technology), 2016, 38(3): 240-244. DOI: 10.13764/j.cnki.ncdg.2016.03.007. (in Chinese)
- [11] 国家能源局.架空输电线路杆塔结构设计技术规程:DL/T 5486—2020[S].北京:中国电力出版社,2020.
National Energy Administration. Technical Specification for the Design of Steel Supporting Structures of Overhead Transmission Line: DL/T 5486—2020 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2020. (in Chinese)