

# 基于不同竖向拼缝位置的单面叠合板式 剪力墙抗震性能研究

马巍<sup>1,2</sup>,常红亮<sup>1</sup>,张阳<sup>1</sup>,王媛<sup>1</sup>,徐凯<sup>1</sup>

(1. 安徽建筑大学土木工程学院,安徽 合肥 230601;2. 安徽省装配式建筑研究院,安徽 合肥 230601)

**摘要** 目的 研究不同竖向拼缝位置的单面叠合板式剪力墙抗震性能,为该类墙体的模数化生产提供理论依据。**方法** 根据已有试验结果建立有限元模型,验证模型的正确性,进而研究单面叠合板式剪力墙在低周往复荷载作用下的抗震性能,分析不同竖向拼缝位置的单面叠合板式剪力墙滞回曲线、骨架曲线、混凝土损伤及暗柱配筋。**结果** 拼缝位置变动对墙体抗震性能影响较小,随着轴压比的增大,墙体耗能能力降低,在相同轴压比情况下,不同竖向拼缝位置的单面叠合板式剪力墙耗能能力基本相同;提出拼缝处暗柱钢筋计算公式和构造要求。**结论** 通过改变竖向拼缝位置可实现工厂结合已有模具对设计所需的大尺寸非标准化墙板进行灵活分割,降低生产成本;暗柱钢筋计算公式和构造要求可应用于单面叠合板剪力墙拼缝处暗柱的配筋设计,对推广叠合板式剪力墙装配式建筑具有现实意义。

**关键词** 叠合板式剪力墙;竖向拼缝位置;抗震性能;有限元

中图分类号 TU375

文献标志码 A

## Study on Seismic Properties of Single-sided Superposed Shear Wall Based on Different Vertical Joint Positions

MA Wei<sup>1,2</sup>, CHANG Hongliang<sup>1</sup>, ZHANG Yang<sup>1</sup>, WANG Yuan<sup>1</sup>, XU Kai<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei, China, 230601; 2. Prefabricated Building Research Institute of Anhui Province, Hefei, China, 230601)

**Abstract:** In order to provide theoretical basis for the modular production of this kind of walls, the seismic behavior of single-sided superposed shear walls with different vertical joint positions was studied. Establishing the finite element model according to the former experiment, which can verify the correctness of the model, and then the seismic behavior of one-side superposed shear wall under low cyclic loading was studied. And the hysteretic curves, skeleton curves, concrete damage and reinforcement of concealed column of single-sided superposed shear wall with different vertical

收稿日期:2021-10-20

基金项目:国家自然科学基金面上项目(12172001);安徽省住房城乡建设科学技术计划项目(2021-YF20);安徽高校自然科学研究重点项目(KJ2020A0454)

作者简介:马巍(1972—),男,教授,主要从事装配式建筑抗震方面研究。

joint positions are analyzed. As a result, the change of the joint position has little effect on the seismic properties of the wall. With the increase of the axial compression ratio, the energy dissipation capacity of the wall decreases. The calculation formula and construction requirement of steel bar of concealed column at joint were proposed. Changing the position of the vertical joint, which can realize the flexibly segment of the large-size non-standardized wall in the factory according to the existing molds, reducing the cost of production. The calculation formula and construction requirement of steel bar of concealed column at joint can be used in the designing of the concealed column joints of single-sided superposed shear walls, and has great significance for the promotion of the superposed shear wall used in prefabricated building.

**Key words:** superposed shear wall; vertical joint; seismic property; finite element

在建筑业发展日益迅速的今天,能耗问题受到普遍关注。据相关统计,建筑能耗已成为主要能源消耗之一,把发展节能环保的装配式建筑作为绿色建筑产业发展的主要方向势在必行。叠合板式剪力墙作为装配式建筑的一种结构形式,具有较好的经济效益和社会效益,应用前景广阔。国内外学者对叠合板式剪力墙进行了大量研究,结果表明其整体性能良好<sup>[1-7]</sup>。国外的叠合剪力墙和国内构造有所区别,该墙做法是在内外预制混凝土层中填充不同材料的保温板,一般作为外墙板,研究重点在结构的整体性和保温隔热效果。D. Y. Hyun 等<sup>[8-9]</sup>对夹心保温墙体的设计方法进行了研究,包括保温类型、连接件数量及尺寸等。国内的叠合板式剪力墙结构多用于承重构件,研究学者们重点关注的是其结构的整体抗震性能、水平拼缝和竖向拼缝连接部位的抗震性能。沈小璞等<sup>[10-13]</sup>研究了在双面叠合板式剪力墙竖向拼缝处设置暗柱或加水平筋连接的构造方式,结果表明,叠合板式混凝土剪力墙可以获得较好的抗震性能,且水平筋连接方式更经济。徐刚等<sup>[14]</sup>对装配式夹心剪力墙结构暗柱区域竖向钢筋的连接形式进行研究,结果表明,采用干式刚性连接与湿式连接的结构抗震性能基本一致;采用摩擦耗能连接的结构,其刚度与承载力比刚性连接较低,但耗能能力强。马巍等<sup>[15-17]</sup>对带暗柱拼缝的单面叠合式剪力墙和整体单面叠合式剪力墙进行了拟静力试

验,研究表明,带暗柱拼缝的单面叠合式剪力墙抗震性能与整体单面叠合式剪力墙基本一致。严寒等<sup>[18]</sup>提出了一种满足现性设计规范、造价低,且全过程符合绿色环保建筑理念的 ZM. H 新型模块化装配式钢筋混凝土剪力墙(柱)建造技术。

目前国内外对叠合板式剪力墙的研究重点是结构的抗震性能及保温隔热效果,而对单面叠合板式剪力墙不同拼缝位置的抗震性能研究较少。基于此,笔者在已有试验结果的基础上,借助 ABAQUS 有限元软件分析拼缝设置对单面叠合板式剪力墙的影响,通过理论分析得出拼缝处暗柱钢筋计算公式和构造要求,为该类墙体的模数化生产提供理论依据。

## 1 有限元模型

### 1.1 试件介绍

试件尺寸及相关数据参考文献[17],单面叠合板式剪力墙试件 DW-1 结构示意图如图 1 所示,试件由顶梁、剪力墙、基座 3 部分组成。试件高×宽×厚为 2 800 mm×2 000 mm×280 mm,轴压比为 0.1。外叶板为非受力预制混凝土板,厚度 50 mm,钢筋为  $\Phi 6@200$ ;内叶板为受力预制混凝土板,厚度 50 mm,钢筋为  $\Phi 10@200$ ;后浇混凝土部分厚度为 150 mm,钢筋为  $\Phi 10@200$ ;保温层厚度为 30 mm。钢筋实测力学性能结果见表 1。采用强度为 C30 的混凝土,标准立方体试块实测抗压强

度:预制构件混凝土 33.5 MPa,后浇腔内混凝土 33.3 MPa。

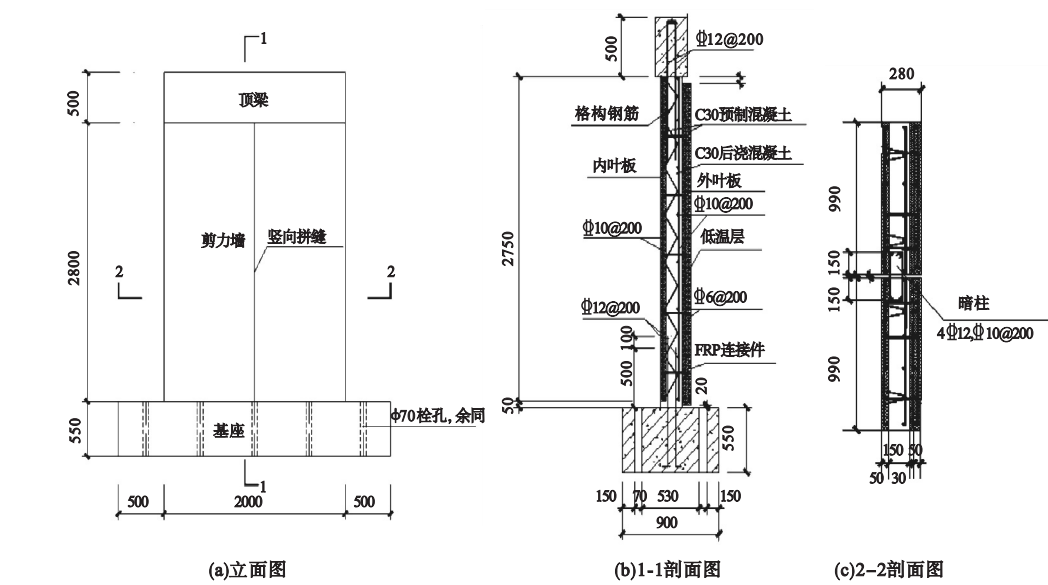


图 1 DW-1 试件构造详图

Fig. 1 Structural detail of DW-1 test pieces

表 1 钢筋力学性能

钢筋型号	直径/ mm	屈服强 度/MPa	极限强 度/MPa	伸长率/ %
HRB400	6	542.5	626.8	13.2
HRB400	10	492.2	525.1	11.9
HRB400	12	544.2	668.2	12.5

1.2 有限元模型的建立

笔者运用有限元软件 ABAQUS 进行模拟分析,采用分离式建模方式,通过 embedded 命令将钢筋桁架内置于混凝土,不考虑钢筋与混凝土之间的滑移现象。顶梁与剪力墙、剪力墙与基座、预制板与后浇混凝土部分通过 Tie 命令实现连接作用,不考虑构件之间的相对滑移。为保证边界条件的设置贴合试验过程,基础采用固定处理,顶梁为自由端,在顶梁上部耦合加载点 RP1,实现轴力的施加和水平位移的低周往复加载。模型设置两个加载步骤:第一步在加载点施加恒定竖向荷载;第二步在水平方向上对加载点进行平面内位移加载。

1.3 本构关系的选取

剪力墙混凝土选用 CDP 模型及 C3D8R

实体单元,结合试验所得混凝土材料力学性能数据及相关规范<sup>[19]</sup>,计算混凝土本构模型,泊松比取 0.2;为方便模型计算以及避免模型不收敛,顶梁、基座部分混凝土设置为刚性。钢筋采用双折线强化模型及 T3D2 桁架单元,泊松比取 0.3,屈服后  $E'_s = 0.01E_s$  ( $E_s$  为弹性模量)。试件形状比较规则,将剪力墙、加载梁及基座混凝土网格尺寸划分为 100,钢筋的网格尺寸划分为 200。

1.4 有限元模型的验证

笔者选取文献[17]中的试验结果验证有限元的准确性,试验与模拟试件破坏形态对比见图 2,试件骨架曲线对比见图 3。从图 2 可以看出,试验过程中,试件 DW-1 破坏主要集中在剪力墙水平接缝处和搭接区上部,有限元模拟结果与试验破坏模态基本相同。从图 3 可以看出,两者骨架曲线走势大体一致,且水平峰值承载力差值在 10% 之内(见表 2),说明该有限元模型能较为准确模拟墙肢在实际情况下受力状态,可以利用该模型进行后续参数分析。

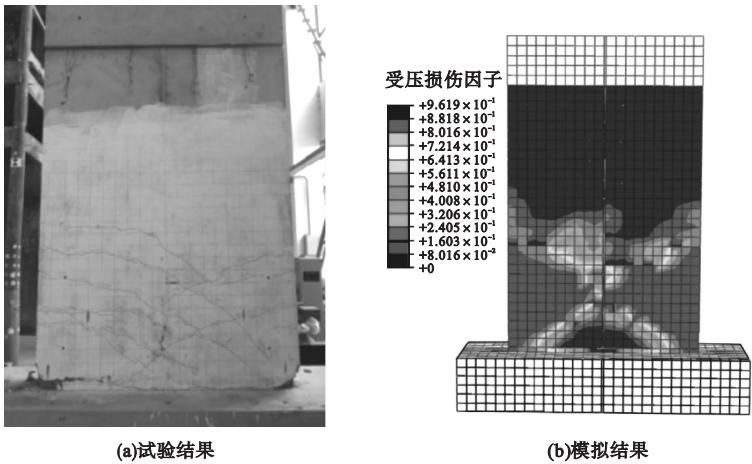


图 2 试验与模拟破坏模式对比

Fig. 2 Comparison between experimental and simulated failure modes

表 2 承载力结果对比

Table 2 Comparison of bearing capacity results

正向加载			反向加载		
承载力模拟值/kN	承载力试验值/kN	差值/%	承载力模拟值/kN	承载力试验值/kN	差值/%
606	580	4.5	588	545	7.9

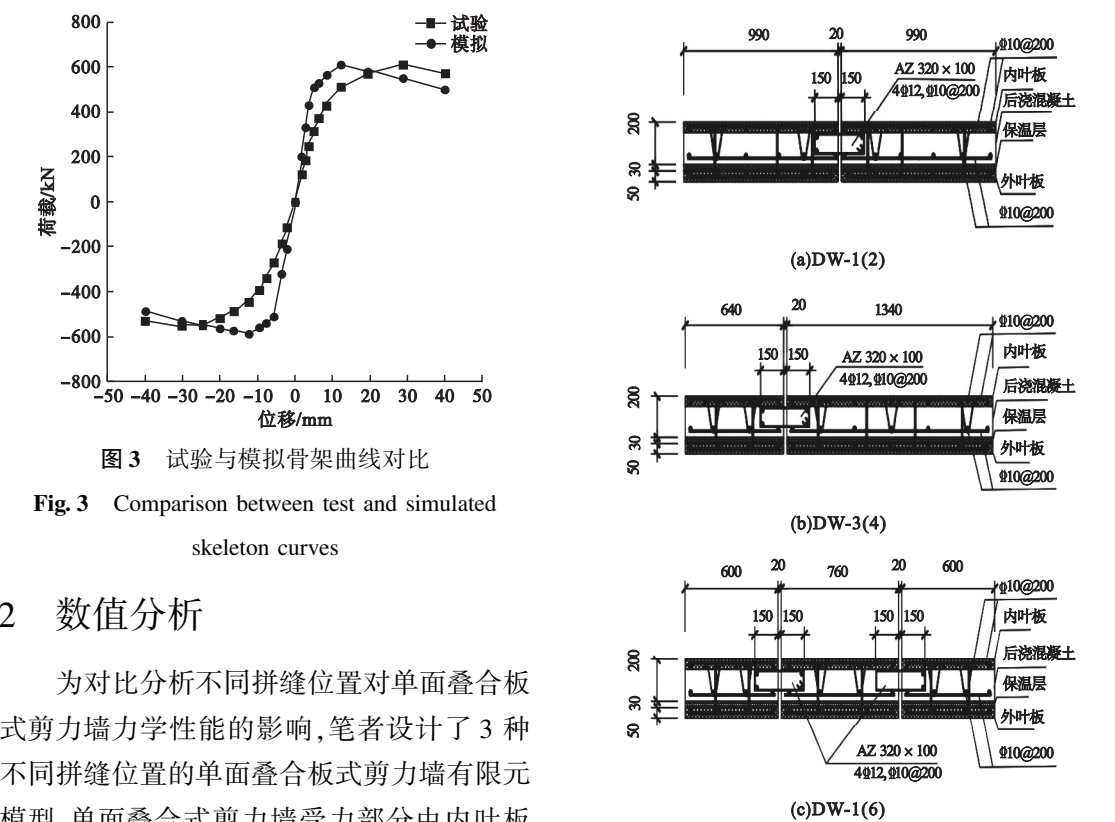


图 3 试验与模拟骨架曲线对比

Fig. 3 Comparison between test and simulated skeleton curves

2 数值分析

为对比分析不同拼缝位置对单面叠合板式剪力墙力学性能的影响,笔者设计了3种不同拼缝位置的单面叠合板式剪力墙有限元模型,单面叠合式剪力墙受力部分由内叶板和空腔内的后浇混凝土层组成,墙体通过竖向拼缝部位的暗柱进行连接(见图4)。

图 4 试件构造详图

Fig. 4 Detail drawing of specimen structure

由于实际工程中剪力墙的轴压比  $n_d$  大部分为 0.1 ~ 0.3, 故取  $n_d = 0.1$  和  $n_d = 0.3$  两种工况, 按拼缝位置分为 6 组试件进行研究(见表 3)。为减少其他因素的影响, 试件的规格尺寸、配筋、混凝土强度等参数均与 DW-1 相同, 并满足现行规范要求<sup>[20-21]</sup>。

表 3 试件说明

Table 3 Sample description

试件编号	轴压比	拼缝位置
DW-1	0.1	墙体 1/2 处
DW-2	0.3	
DW-3	0.1	
DW-4	0.3	墙体 1/3 处
DW-5	0.1	
DW-6	0.3	

2.1 滞回曲线

各试件加载点的滞回曲线如图 5 所示。从图中可以看出, 在反复水平荷载作用下, 试件的滞回曲线饱满且呈现出相同的走势与规律。加载初期, 试件处于弹性阶段, 曲线包络面积均较小, 荷载与位移基本呈线性关系; 试件屈服后转入位移加载, 曲线包络面积逐渐变大, 耗能能力有所提高, 但曲线斜率明显减小, 表明试件刚度退化程度增加; 至峰值后, 试件承载力呈下降态势, 各试件的残余变形逐渐增加, 表明试件耗能能力由于墙体内部损伤逐渐削弱。在轴压比  $n_d = 0.1$ , 对比试件 DW-1、DW-3、DW-5 可知, 三者滞回曲线饱满, 整体走势基本一致。同样, 在轴压比  $n_d = 0.3$  下, 试件 DW-2、DW-4、DW-6 的滞回曲线饱满, 整体走势基本一致, 但滞回曲线包络面积较小, 耗能能力降低。

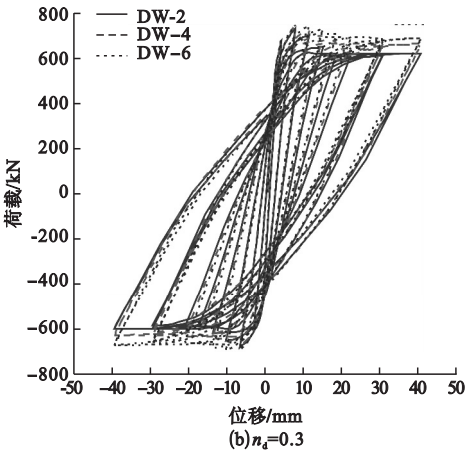
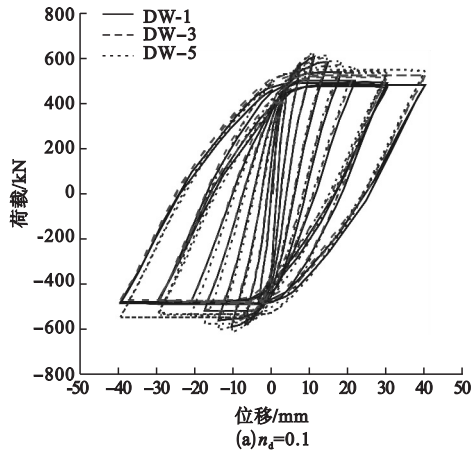


图 5 试件滞回曲线

Fig. 5 Hysteretic curves of different specimens

2.2 骨架曲线

各试件加载点骨架曲线如图 6 所示。从图中可以看出, 试件 DW-1 与 DW-3、DW-5 以及试件 DW-2 与 DW-4、DW-6 的骨架曲线走势基本一致。在弹性阶段, 试件骨架曲线呈线性关系, 此时试件刚度和侧移量变化较小; 进入屈服阶段, 曲线斜率减小, 表明试件内部损伤加剧导致其刚度退化; 至峰值荷载后, 试件损伤区域增大, 此过程试件承载力明显下降, 刚度大幅减小, 直至试件完全破坏。

随着轴压比升高, 试件水平承载力相应增加, 但对其刚度影响较小。由于试件 DW-3、DW-5 以及试件 DW-4、DW-6 拼缝设置墙体侧边, 暗柱对中部墙体具有一定的约束作用, 从而使其水平极限承载力略高于试件 DW-1、DW-2。

2.3 混凝土受压损伤

试件极限状态下的塑性损伤云图如图 7 所示。从图中可以看出, 试件 DW-1 与 DW-3、DW-5 以及试件 DW-2 与 DW-4、



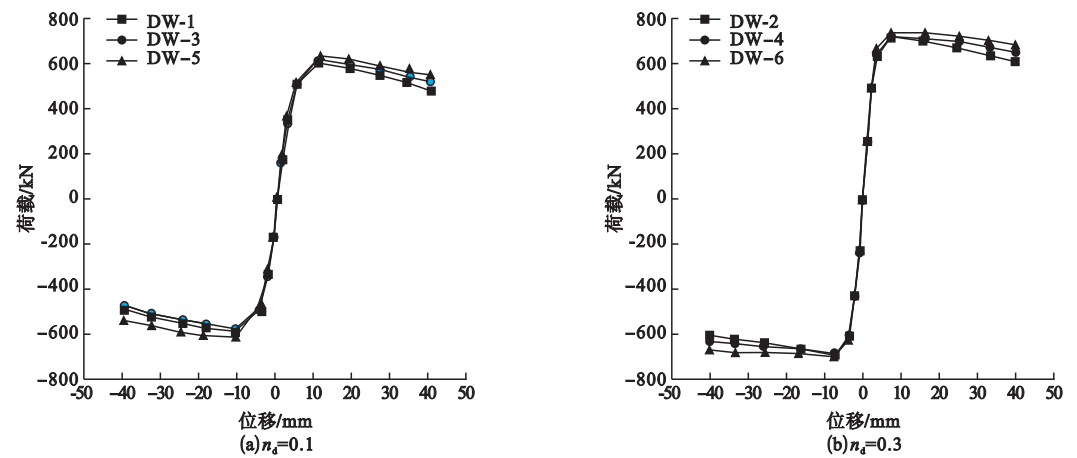


图6 试件骨架曲线

Fig. 6 Skeleton curves of different specimen

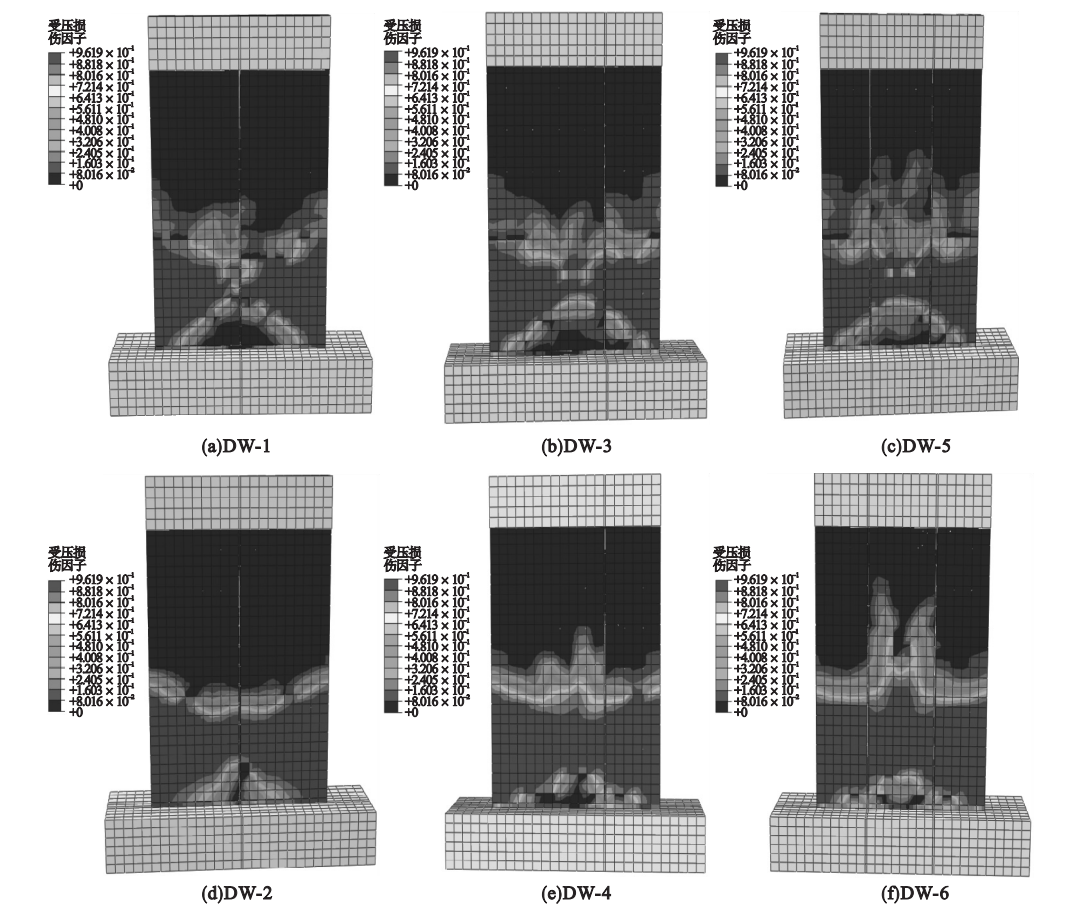


图7 试件损伤云图

Fig. 7 Plots of compression damage of different specimens

DW-6损伤走势基本相同,混凝土受压损伤最初出现在墙肢处,然后沿墙体向上展开。到达墙体一半高度时应变损伤逐渐减小,墙体加载端未出现损伤,最终墙肢处混凝土受压

破坏、钢筋屈服,试件破坏。

试件 DW-1 与 DW-3、DW-5 相比,虽然拼缝偏移,但是墙体损伤仍保持对称,损伤区域相似,并未对墙体损伤产生较大影响。试

件 DW-2 与 DW-4、DW-6 相比,墙体损伤呈对称状态,损伤趋势相似,但由于拼缝暗柱的存在,试件 DW-6 的水平承载能力增加,损伤区域面积较大。由此可见,在小轴压比情况下,拼缝位置变动对墙体损伤影响较小;随着轴压比的增大,由于拼缝处设有暗柱,使得有侧边拼缝的试件受压损伤区域面积增加明显。

3 暗柱配筋

通过 ABAQUS 有限元分析得出不同拼缝处的暗柱钢筋应力值也不同。由于保温层和外叶板不参与受力,所以只取内叶板和后浇混凝土层形成的剪力墙进行研究,通过文献[22-23]对暗柱进行计算配筋的公式推导。

由于暗柱与墙体现浇部分的混凝土是同步浇筑的,可以认为墙体与暗柱为整体。给出基本假定:①将墙体等效成悬臂梁<sup>[24]</sup>;②墙体顶部受到的是均布力作用。墙体分别受到一个竖直向下的均布力  $N/A$ ,一个水平力  $V$ ,计算模型简图见图 8,其中阴影区域为暗柱部分。图中  $d$  为叠合板式剪力墙受力墙体(内叶板+现浇混凝土层)厚度; $L$  为叠合板式剪力墙高度; $H$  为叠合板式剪力墙截面长度; $b$  为暗柱芯截面宽(芯截面为箍筋内截面); $h$  为暗柱芯截面高。

3.1 暗柱纵筋构造

由于文中墙暗柱为两片墙体拼装时采取的抗震构造措施(非边缘构件),布置在混凝土剪力墙分布筋内侧,主要起到墙体连接和整体性构造作用;同时,暗柱纵筋也具有竖向连接钢筋作用。根据文献[20-21]规定,混凝土抗震墙竖向分布钢筋直径、竖向钢筋直径不宜小于 10 mm;叠合墙板中竖向连接钢筋直径不宜小于预制墙板中的竖向分布钢筋直径。因此,暗柱纵向钢筋直径可以不进行计算,钢筋规格同受力预制墙板中竖向分布钢筋且不小于 10 mm。

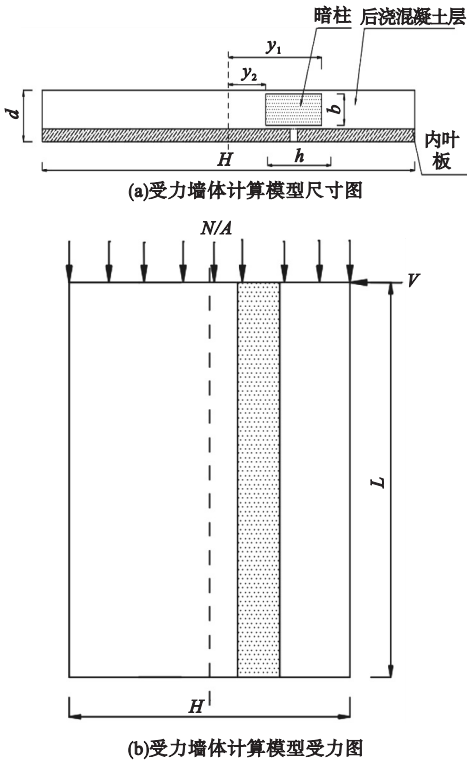


图 8 计算模型简图

Fig. 8 Schematic diagram of calculation model

3.2 暗柱配箍计算

剪力墙剪切应力图见图 9,暗柱部分的剪力  $V'$  由剪切应力在暗柱区域内积分而得:

$$V' = \int_{y_2}^{y_1} \tau dy. \tag{1}$$

为了计算方便,建议暗柱处剪力直接取暗柱区域内最大值  $\tau_1$  进行计算,虽然结果偏保守,但可避免积分繁琐。式(1)可转化为

$$V' = \tau_1 bh. \tag{2}$$

$$\tau_1 = \frac{VS^*}{Ib}. \tag{3}$$

为安全起见,不考虑混凝土抗剪作用,公式可简化为

$$V_{cs} = f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \geq V'. \tag{4}$$

$$\rho_{sv} = \frac{A_{sv}}{bs}. \tag{5}$$

式中: $S^*$  为受力墙体截面上  $\tau_1$  所在横线以外部分的面积对中性轴的静矩; $V_{cs}$  为暗柱中

箍筋受剪承载力设计值; $h_0$ 为暗柱芯截面有效高度; $f_{yv}$ 为箍筋抗拉强度设计值; $A_{sv}$ 为配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积; $s$ 为沿暗柱长度方向箍筋的间距; $\rho_{sv}$ 为暗柱箍筋的配筋率。

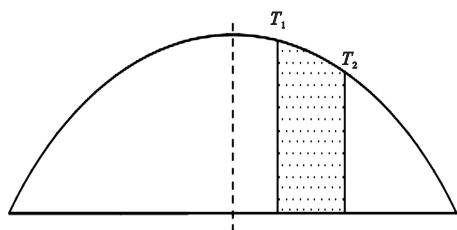


图9 墙体剪应力图

Fig. 9 shear stress diagram of wall

由于剪力墙剪力主要由墙体水平筋承担,暗柱箍筋在满足规范构造要求的同时,暗柱箍筋也可选用与剪力墙水平筋同规格,不需要另行进行计算。在实际应用中,可根据工程需要择优选取以上两种箍筋配筋方式。

## 4 结 论

(1)各试件破坏形式相似,拼缝位置变动对墙体抗震性能影响较小,随着轴压比的增大,墙体耗能能力降低。但在相同轴压比下,不同竖向拼缝位置的单面叠合板式剪力墙耗能能力基本相同。

(2)暗柱受力分析模型的计算值与墙体的受力性能吻合良好,箍筋配筋率与暗柱到中性轴的距离呈负相关;通过理论计算和分析,提出了暗柱钢筋计算方法和构造要求。

(3)通过竖向拼缝位置的改变,可以对单面叠合板剪力墙进行灵活分割,有利于工厂利用已有模具进行叠合板式剪力墙中预制墙板的生产,大大降低了模具的成本,也有利于叠合板式剪力墙的灵活设计,具有较好的工程实际意义。

## 参考文献

[1] FRANKL B A, LUCIER G W, HASSAN T K, et al. Behavior of precast, prestressed concrete sandwich wall panels reinforced with CFRP shear grid [J]. PCI journal, 2011, 56(2): 42 -

54.

- [2] INSUB C, JUNHEE K, HO-RYONG K. Composite behavior of insulated concrete sandwich wall panels subjected to wind pressure and suction [J]. Materials, 2015, 8 (3): 1264 - 1282.
- [3] 种迅, 王金亮, 蒋庆, 等. 水平拼缝部位增强叠合板式剪力墙抗震性能试验研究[J]. 工程力学, 2018, 35(4): 107 - 114.  
(CHONG Xun, WAN Jinliang, JIANG Qing, et al. Experimental study on aseismic performance of superimposed RC walls with enhanced horizontal joint [J]. Engineering mechanics, 2018, 35(4): 107 - 114.)
- [4] 薛伟辰, 徐亚玲, 朱永明, 等. 新型预制混凝土无机保温夹心墙体开发及其热工性能研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2013(8): 55 - 57.  
(XUE Weichen, XU Yaling, ZHU Yongming et al. Development and thermal performance of new precast concrete inorganic insulation sandwich wall [J]. China concrete and cement products, 2013(8): 55 - 57.)
- [5] 崔瑶, 王晶秋, 郁银泉, 等. 双面叠合剪力墙压弯性能的数值模拟分析[J]. 北京工业大学学报, 2020, 46(8): 851 - 860.  
(CUI Yao, WANG Jingqiu, YU Yinquan, et al. Numerical study on behavior of double-superimposed RC shear wall under axial compression and bending combination [J]. Journal of Beijing university of technology, 2020, 46(8): 851 - 860.)
- [6] 马巍, 段建华, 路师远, 等. 新型带保温层单面叠合板式剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑科学, 2021, 37(9): 73 - 79.  
(MA Wei, DUAN Jianhua, LU Shiyuan, et al. Experimental study on seismic performance of new single faced superimposed slab shear wall with insulating layer [J]. Architectural science, 2021, 37(9): 73 - 79.)
- [7] 段建华. 单面叠合板式剪力墙抗震性试验研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2021.  
(DUAN Jianhua. Experimental study on seismic performance of single faced superimposed slab shear wall [D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2021.)
- [8] HYUN D Y, SEOK J J, YOUNG C Y. Direct shear responses of insulated concrete sandwich panels with GFRP shear connectors [J]. Applied mechanics and materials, 2012, 1975: 204 - 208.
- [9] GREGORY W, MARTIN N, AMIR F. Experimental and numerical investigations of thermal properties of insulated concrete sandwich panels with fiber glass shear connectors [J]. Energy & buildings, 2017, 145: 22 - 31.
- [10] 沈小璞, 马巍, 陈信堂, 等. 叠合混凝土墙板竖向拼缝连接抗震性能试验研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2010, 33(9): 1366 - 1371.  
(SHEN Xiaopu, MA Wei, CHEN Xintang, et al. Experimental study of the seismic



- performance of the vertical joint seam of superimposed concrete wall panels [J]. Journal of Hefei university of technology (natural science), 2010, 33(9): 1366–1371. )
- [11] 沈小璞,周宏庚. 竖向拼缝叠合板式混凝土剪力墙有限元分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2010, 26(5): 905–912.  
(SHEN Xiaopu, ZHOU Honggeng. Finite element analysis of superposed concrete wall panels with the vertical seam [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2010, 26(5): 905–912. )
- [12] 周宏庚. 叠合板式混凝土剪力墙竖向拼缝构造措施试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2013, 39(1): 39–42.  
(ZHOU Honggeng. The experiment study on structural measures of the vertical seam of superimposed concrete shear wall [J]. Sichuan building science, 2013, 39(1): 39–42. )
- [13] 周宏庚. 叠合板式混凝土剪力墙平面内竖向拼缝构造措施研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(1): 95–99.  
(ZHOU Honggeng. Study on structural measures of vertical seams in superimposed concrete wall panels [J]. Journal of water resources and architectural engineering, 2012, 10(1): 95–99. )
- [14] 徐刚,张瑞君,李爱群. 装配式夹心剪力墙结构抗震性能研究[J]. 建筑结构学报, 2020, 41(9): 56–67.  
(XU Gang, ZHANG Ruijun, LI Aiqun. Seismic behavior of precast sandwich shear wall structure [J]. Journal of building structures, 2020, 41(9): 56–67. )
- [15] MA Wei, XU Kai, CHENG Baoquan, et al. Experimental study on the seismic behavior of a new single-faced superposed shear wall with the concealed column [J]. Structures, 2021, 33: 4446–4460.
- [16] 马巍,徐凯,黄旭辉. 带暗柱拼缝的单面叠合式剪力墙抗震性能试验研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2021, 37(3): 427–436.  
(MA Wei, XU Kai, HUANG Xuhui et al. Experimental study on the seismic behaviour of a single-faced superposed shear wall with the concealed column Joints [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2021, 37(3): 427–436. )
- [17] 徐凯. 新型单面叠合式剪力墙抗震性能对比研究[D]. 合肥:安徽建筑大学, 2021.  
(XU Kai. Comparative study on seismic performance of new single-sided superimposed shear wall [D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2021. )
- [18] 严寒,韩忠民. 模块化装配叠合式钢筋混凝土剪力墙 ZM. H 结构技术研究[J]. 建筑结构, 2019, 49(增刊2): 522–525.  
(YAN Han, HAN Zhongmin. Research on modular assembly superimposed reinforced concrete shear wall ZM. H structure technology [J]. Building structure, 2019, 49(S2): 522–525. )
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范:GB 50010—2010 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010.  
(Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Code for design of concrete structures:GB 50010—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. )
- [20] 安徽省市场监督管理局. 叠合板式混凝土剪力墙结构技术规程:DB34/T 810—2020 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2020.  
(Anhui Market Supervision and Administration Bureau. Technical specification for superimposed slab concrete shear wall structures:DB34/T 810—2020 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020. )
- [21] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑抗震设计规范:GB 50011—2010 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2016.  
(Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Code for seismic design of buildings:GB50011—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016. )
- [22] 李爱群. 混凝土结构设计原理[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2015.  
(LI Aiqun. Design principle of concrete structure [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2015. )
- [23] 孙训方,方孝淑,关来秦. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社, 2009.  
(SUN Xunfang, FANG Xiaoshu, GUAN Laiqin. Mechanics of materials [M]. Beijing: Higher Education Press, 2009. )
- [24] 熊丹安. 混凝土结构设计[M]. 北京:北京大学出版社, 2012.  
(XIONG Dan'an, Concrete structure design [M]. Beijing: Peking University Press, 2012. )  
(责任编辑:杨永生 英文审校:刘永军)