

文章编号:1673-2049(2018)01-0017-09

不同轴压比免模保温剪力墙抗震性能试验

吴方伯¹, 丘伟城¹, 欧阳靖¹, 李 钧¹, 周绪红^{1,2}

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要:为研究不同轴压比对免模保温剪力墙平面内抗震性能及墙体协同工作性能的影响,开展了 3 片轴压比分别为 0, 0.1 和 0.2 的免模保温剪力墙结构模型的拟静力试验;观察并记录了墙身两侧混凝土预制模块裂缝发展及分布情况,得到试件的位移延性系数、滞回曲线和骨架曲线等试验数据;综合分析各曲线和破坏形态得到了免模保温剪力墙在低周反复荷载作用下的破坏机理。结果表明:破坏过程可分为未开裂阶段、带裂缝工作阶段和破坏阶段;试验过程中 3 片墙体裂缝开展均匀,具有较好的协同工作性能,破坏时墙角均出现混凝土大幅压碎现象;随着轴压比的增加,预制模块的开裂荷载逐渐增加,且水平裂缝的位置逐渐靠下,极限承载力及刚度都得到提高,而延性有所降低;该研究为深入认识免模保温剪力墙的破坏模式和抗震性能提供了必要的科学依据。

关键词:免模保温剪力墙;抗震性能;轴压比;破坏机理;协同工作性能

中图分类号:TU311 **文献标志码:**A

Experiment on Seismic Performance of Non-template Insulation Shear Wall Under Varied Axial Compression Ratios

WU Fang-bo¹, QIU Wei-cheng¹, OUYANG Jing¹, LI Jun¹, ZHOU Xu-hong^{1,2}

(1. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China;

2. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: In order to study the effect of varied axial compression ratios on the seismic performance and the cooperative performance of the non-template insulation shear wall, pseudo-static tests were carried out on 3 pieces of insulation shear wall with axial compression ratios of 0, 0.1 and 0.2. The development and distribution of cracks in the prefabricated concrete template on both sides of the wall were observed and recorded, and the test data such as displacement ductility coefficients, hysteresis curves and skeleton curves of the specimens were obtained. Based on the analysis of the curves and destruction modes, the failure mechanism of the non-template insulation shear wall under low cyclic loading was obtained. The results show that the failure process can be divided into three phases: uncracked, with cracks in the work and fail. The cracks in all 3 specimens develop and distribute uniformly during tests, which shows good cooperative performance, and the concrete of corner all crush substantially when the wall is broken. With the increase of the axial compression ratio, the cracking load of prefabricated concrete template increases gradually, and the position of the horizontal crack is gradually shifted downwards, the ultimate bearing capacity and stiffness increase while the ductility decreases. The study provides necessary scientific basis for further investigation on the failure mode and

收稿日期:2017-06-16

基金项目:国家自然科学基金项目(51278179)

作者简介:吴方伯(1954-),男,湖南长沙人,教授,博士研究生导师,E-mail:wfbprof@163.com。

seismic performance of non-template insulation shear wall.

Key words: non-template insulation shear wall; seismic performance; axial compression ratio; failure mechanism; cooperative performance

0 引言

目前,中国高层建筑的承重结构大多采用现浇混凝土剪力墙,该结构不仅具有较大的竖向承载能力,而且可承受较大的水平荷载,比如地震荷载或风荷载。现浇混凝土剪力墙需要采用大量木模板,且墙体保温性能较差,做保温措施需进行二次施工,导致施工成本高且效率低。因此,往往将承重混凝土材料与保温材料进行复合,形成复合剪力墙体。经过本课题组的不断研究与改进,提出了一种新型免模保温剪力墙。

这种新型墙体主要包括现浇混凝土层、混凝土预制模块(强度 C25~C30)、钢筋笼和保温层四大部分。该墙体的主要特征在于混凝土预制模块上设置有定位件并且安装了可拆卸的吊装桁架,吊装桁架通过预制模块与螺帽连接;其次混凝土预制模块上设置有孔洞,孔洞中插有套管,在套管中插入对拉螺栓。制作上述免模保温剪力墙的主要施工步骤是:首先绑扎好钢筋笼,制作 A、B 两侧预制模块,在 B 侧预制模块通过对拉螺栓安装聚苯板保温层;然后吊装混凝土预制模块至指定位置,拆卸吊装桁架,插入套管,安装并拧紧对拉螺栓,进行混凝土浇筑;最后在混凝土达到强度等级的 75% 后,拆除对拉螺栓,形成剪力墙体系。

这种新型节能体系相对现浇混凝土剪力墙存在很多优点:①新体系实现了保温与墙体的一体化,避免钢筋混凝土对室内外的热传递,合理利用了室内能源;②主体结构 and 保温层一次施工完成,避免了对墙体保温所进行的二次施工;③保温免拆模板的系统组成科学合理,能保证工程质量,聚苯模板和钢网模板的单块面积适中,重量较轻,1 或 2 人即可轻松支拆模板,操作简便,施工效率高;④聚苯板保温层在保温的同时也起到了很好的隔声作用,一定程度减小了噪声污染。

由于目前国内外对此体系的受力性能研究甚少,本文将探究免模保温剪力墙的抗震性能,以影响抗震性能的重要因素轴压比作为变量,进行了 3 片免模保温剪力墙的拟静力试验。

1 试验概况

1.1 试件设计

免模保温剪力墙的构造如图 1 所示。为研究免模保温剪力墙在不同轴压比下的抗震性能及墙体协同工作性能,进行了 3 片免模保温剪力墙 BWQ-1, BWQ-2, BWQ-3 在轴压比分别为 0, 0.1, 0.2 时的拟静力试验(表 1)。试件设计如图 2 所示,墙体高 2 300 mm,宽 1 300 mm,高宽比为 1.77,如图 2(a)所示;墙体由 A、B 两片 30 mm 厚的混凝土预制模块拼装而成,在 B 侧预制模块内侧设置 30 mm 厚聚苯板保温层,核心部分现浇混凝土,厚度为 100 mm;A、B 侧预制模块通过抗剪连接件与现浇混凝土层拉结,墙体总厚度均为 190 mm,墙体端部设置边缘构件,如图 2(b)所示。图 2(c)为试件配筋详图,在预制模块中钢筋采用间距为 75 mm 的冷拉低碳钢筋;现浇层纵横钢筋、边缘构件纵筋和箍筋均采用 HRB400 钢筋,间距均为 150 mm。

1.2 材料性能

分别取现浇层和预制模块同批次混凝土制作标准立方体试块,每组 3 个,进行轴心受压试验,结果见表 2。在同批次现浇层、边缘构件和预制模块中各取 3 根长度为 500 mm 的钢筋进行标准拉伸试验,试验结果见表 3。

1.3 加载装置

本次试验采用 MTS 液压伺服加载系统,MTS 加载系统包括作动器、反力墙、反力梁、地锚螺栓、千斤顶等,系统通过给试件施加水平及竖向荷载,形成空间加载体系^[1],如图 3 所示。

1.4 加载制度

试验前,通过竖向加载装置在墙体顶部施加竖向压力,按照《建筑抗震试验方法规程》(JGJ 101—96)的要求^[2],竖向压力大小为预加荷载的 40%,重复加载 2 次或 3 次,以消除试件内部组织的不均匀性^[3];然后根据不同轴压比的要求,将竖向压力加至预加荷载,并在试验中保持不变。

水平加载分 2 个阶段^[4]:第 1 阶段采用力控制,按照先拉后推的顺序,并规定推为荷载正值,拉为荷载负值,每级荷载循环 3 次,增量取 30 kN;当接近开裂荷载预估值时,增量减小至 10 kN,墙体开裂

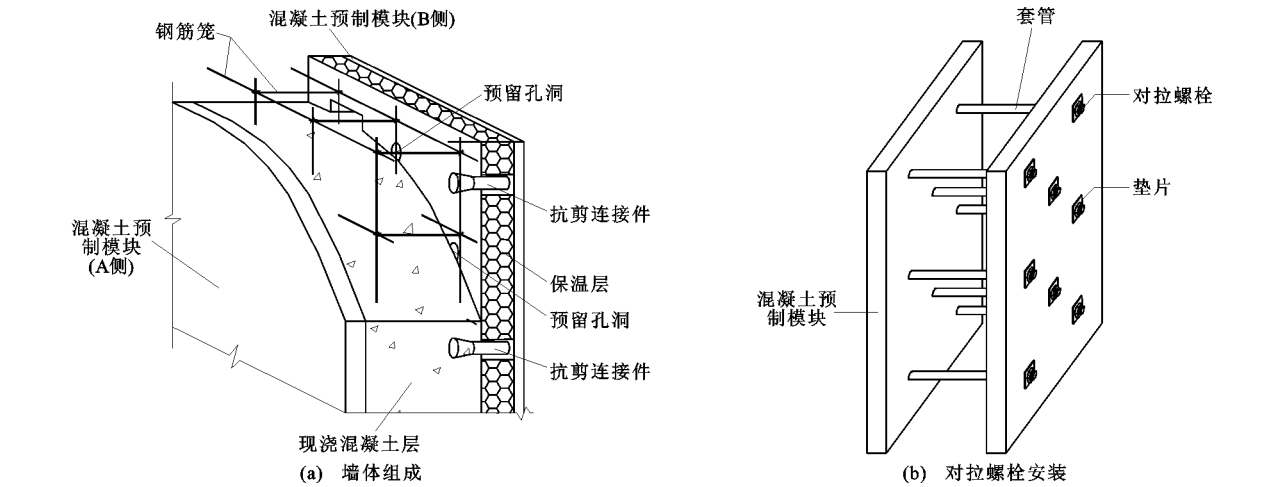


图 1 免模保温剪力墙
Fig. 1 Non-template Insulation Shear Wall

表 1 试件参数
Tab. 1 Parameters of Specimens

试件编号	试件尺寸	边缘构件	轴压比	抗剪连接件布置
BWQ-1	2 300 mm×1 300 mm×190 mm	有	0.0	梅花状 300 mm×300 mm
BWQ-2	2 300 mm×1 300 mm×190 mm	有	0.1	梅花状 300 mm×300 mm
BWQ-3	2 300 mm×1 300 mm×190 mm	有	0.2	梅花状 300 mm×300 mm

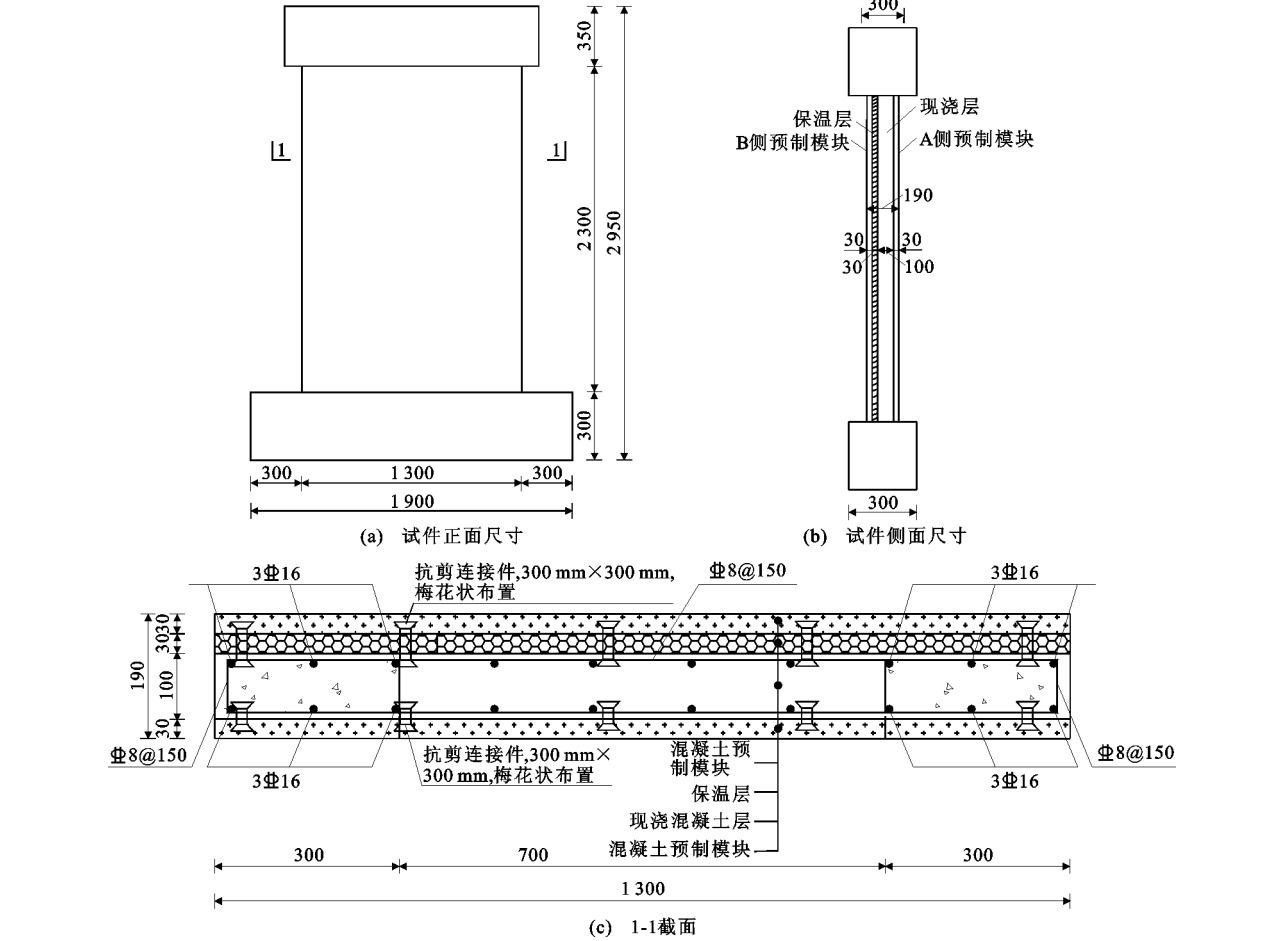


图 2 试件配筋及构造(单位:mm)
Fig. 2 Reinforcement and Construction of Specimens (Unit:mm)

表 2 混凝土抗压强度平均值

Tab. 2 Average Compressive Strength of Concrete

试件编号	BWQ-1		BWQ-2		BWQ-3	
试件部位	预制侧模	现浇层	预制侧模	现浇层	预制侧模	现浇层
抗压强度/MPa	30.1	32.1	32.6	33.2	33.8	32.2

表 3 钢筋拉伸强度平均值

Tab. 3 Average Tensile Strength of Steel Bar

钢筋	类别	ϕ /mm	间距/mm	f_y /MPa	f_u /MPa
现浇层纵横钢筋	HRB400	8	150	513.8	600.4
边缘构件纵筋	HRB400	16	150	550.4	632.1
边缘构件箍筋	HRB400	8	150	350.7	442.3
预制模块钢筋	冷拉低碳	3	75	666.2	847.9

注： ϕ 为钢筋直径； f_y 为钢筋抗拉屈服强度； f_u 为钢筋抗拉极限强度。

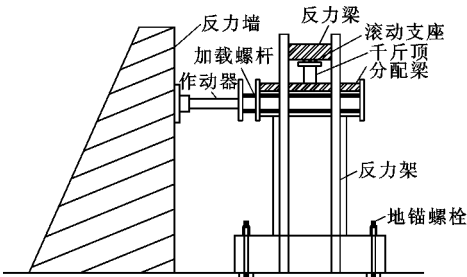


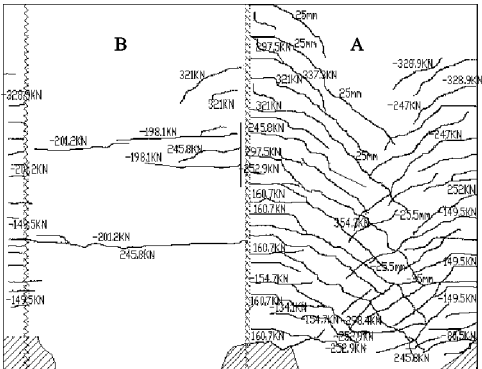
图 3 加载装置
Fig. 3 Loading Device

后,增量增加到 50 kN,直至接近屈服荷载预估值,此时增量取为 20 kN,各级荷载往复循环 1 次,直至墙体外部纵筋屈服;第 2 阶段采用位移控制^[5],按试件顶点屈服位移 δ_y 的倍数逐级加载,加载位移取为 $\delta_y, 2\delta_y, 3\delta_y, 4\delta_y$,各级荷载循环 3 次,直到骨架曲线出现下降段,之后当荷载加载至峰值荷载的 85% 时,停止试验。

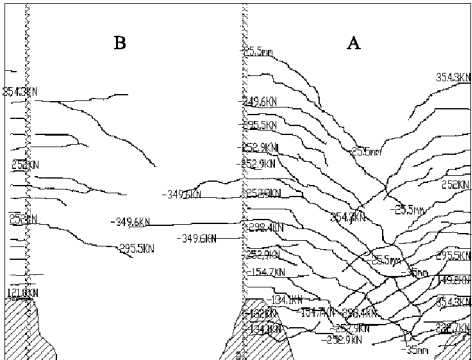
2 试验破坏现象及分析

2.1 试验破坏现象

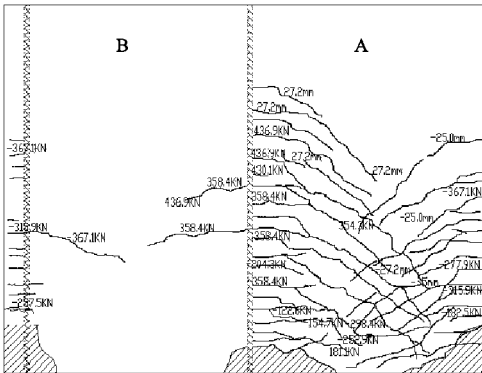
图 4 为试件裂缝分布。结合破坏过程中所观察并记录的现象,对比发现有无轴向压力对破坏现象有显著的影响。对于轴压比为 0 的试件 BWQ-1,在力控制阶段,当水平荷载为 -105.1 kN 和 98.9 kN 时,在作动器一侧的墙体距底面 220 mm 处出现第 1 条水平裂缝,宽度为 0.1 mm,与 A 侧预制模块相贯通;随着水平荷载的增大,裂缝逐渐向上延伸,达到 -160.7 kN 时,B 侧预制模块在距底面 900 mm 处开始出现水平裂缝,缝宽 0.12 mm,A 侧预制模块与内部现浇混凝土层在距墙底 500 mm 处有脱离趋势;之后,当水平荷载增加到 323.1 kN 时,试件



(a) BWQ-1 裂缝分布(轴压比为 0)



(b) BWQ-2 裂缝分布(轴压比为 0.1)



(c) BWQ-3 裂缝分布(轴压比为 0.2)

图 4 试件裂缝分布

Fig. 4 Crack Distributions of Specimens

滞回曲线出现明显转折点,试件达到屈服状态,A 侧预制模块最大缝宽为 0.27 mm,试件水平位移为 17 mm。此后试验开始采用位移控制,试件水平位移增加到 25 mm 时,水平荷载达到 345 kN,墙体顶部出现斜裂缝;水平位移继续增加,达到 38.3 mm 时,水平荷载达到峰值,大小为 353.8 kN,墙体底部混凝土部分剥落,A 侧预制模块与内部现浇混凝土层脱离,脱离宽度达 4 mm;水平荷载达到 270.31 kN 时,荷载下降到峰值荷载的 85% 以下,外侧墙体纵筋露出,墙体底部 500 mm 内的受压区混凝土大幅度压溃,此时试件已发生破坏。

当竖向存在轴向压力时,试件 BWQ-2 和试件

BWQ-3 破坏现象相似,本文以轴压比为 0.2 的试件 BWQ-3 为例进行分析。在力控制阶段,当水平荷载为-160 kN 和 155.6 kN 时墙体两侧在距底面 150 mm 处开始出现水平裂缝,缝宽 0.06 mm,与 A 侧预制模块相贯通,之后,随着水平荷载的增大,裂缝逐渐向上延伸;当荷载达到-225 kN 时,B 侧预制模块出现第 1 条水平裂缝,距底面 700 mm;荷载继续增加直至 400.5 kN 时,试件滞回曲线出现明显转折点,试件达到屈服状态,此时 A 侧预制模块斜裂缝最大宽度为 0.22 mm,水平位移达到 15 mm。此后,试验开始采用位移控制,随着位移的增大,墙体底部开始出现剪切斜裂缝,并不断向墙体腹部延伸。当试件水平位移增加到 25 mm 时,水平荷载达到 436.9 kN,内部现浇混凝土层底部与 A 侧预制模块脱离并轻微压碎;在水平位移增加到 42.3 mm 时,水平荷载达到峰值,大小为 509.8 kN,两端产生的斜向弯剪裂缝相互交叉,形成典型的 X 形裂缝,墙体底部 400 mm 内的受压区混凝土全部压碎;之后,随着位移的增加,荷载开始降低,当水平位移增加到 55 mm 时,水平荷载达到 420.3 kN,荷载下降到峰值荷载的 85% 以下,墙体出现明显的倾斜,外侧纵筋拉断,表明试件已破坏。

2.2 破坏现象分析

对比 3 个试件破坏过程中的现象可以发现:试件 BWQ-1,BWQ-2,BWQ-3 的墙角破坏形态相似,均出现混凝土大幅度压碎现象,A 侧预制模块裂缝

均开展充分,可见 A 侧预制模块与内部现浇混凝土层有较好的协同受力性能,而 B 侧预制模块因为保温层的存在,裂缝开展较 A 侧少。试件 BWQ-1 在水平荷载 353.8 kN 时,A 侧预制模块与内部现浇混凝土层及 B 侧预制模块与保温层在距墙底 500 mm 处均出现脱离现象,A 侧预制模块脱离宽度达 4 mm;试件 BWQ-3 在试验过程中则无明显预制模块与内部现浇混凝土层及保温层脱离的现象。进一步分析破坏过程可知,试件 BWQ-1 的 B 侧预制模块在水平荷载-160.7 kN 作用下距底面 900 mm 处出现第 1 条水平裂缝,而试件 BWQ-3 是在水平荷载-225 kN 时 B 侧预制模块开始出现水平裂缝,且距底面 700 mm。由此可以看出:随着轴压比增大,B 侧预制模块开裂荷载逐渐增加,且开始产生水平裂缝的位置逐渐靠下,而 A 侧预制模块的第 1 条裂缝开展也存在相似情况;随着轴压比的增大,墙体竖向约束增强,试件协同性能增强。

从图 4 裂缝总体分布形态来看:3 片墙体的 A 侧预制模块在开裂初期以水平裂缝为主,集中在墙体底部,向上延伸,后期则以斜裂缝为主;B 侧预制模块则主要以水平裂缝为主,整体裂缝开展均匀且高度对称。当轴压比为 0 时,墙体裂缝比较分散,并且从图 5 墙角破坏形态可以看出,墙角混凝土压碎区域高度均高于试件 BWQ-2 与 BWQ-3,分布区域较大,表现出较好的延性;随着轴压比的增大,裂缝分布区域逐渐减小,墙体底部的裂缝更加密集。

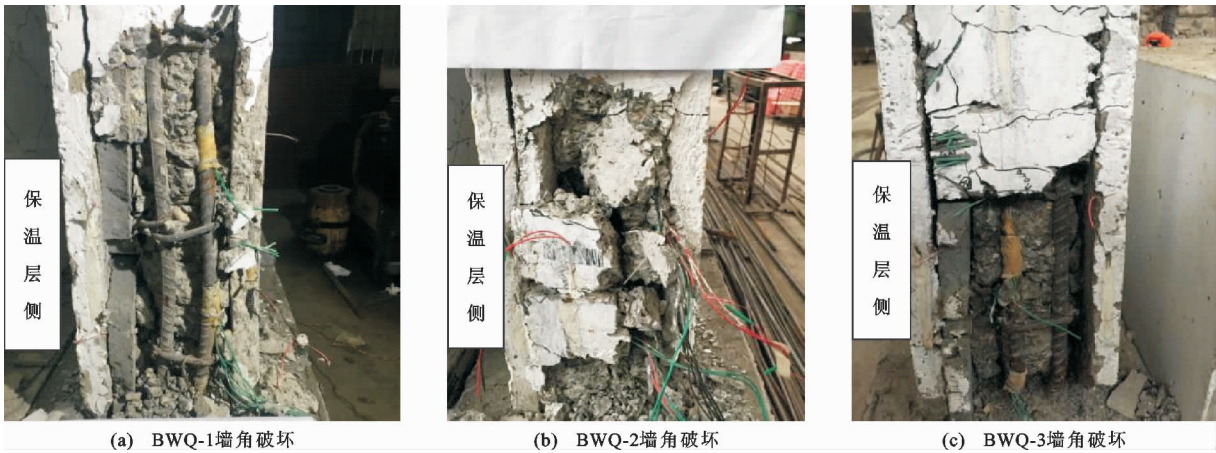


图 5 墙角破坏形态
Fig. 5 Corner Damage Forms

3 试验结果及分析

3.1 水平承载力

试件的开裂荷载、屈服荷载、峰值荷载、极限荷载及其对应位移如表 4 所示。

由表 4 可知,当轴压比分别为 0,0.1,0.2 时,试件的顶点水平荷载峰值分别为 353.8,449.6,509.8 kN。轴压比由 0 增至 0.1 时,承载力提高了 95.8 kN,增幅为 27.1%;轴压比由 0.1 增至 0.2,承载力提高了 60.2 kN,增幅为 13.4%。由此可判断:随着

表 4 主要阶段试验结果及对应位移

Tab. 4 Test Results of Main Stages and Corresponding Displacements

试件编号	荷载方向	F_{cr}/kN	δ_{cr}/mm	F_y/kN	δ_y/mm	F_{max}/kN	δ_{max}/mm	F_u/kN	δ_u/mm
BWQ-1	推	98.9	2.80	323.1	17.0	353.8	38.3	300.7	46.9
	拉	-105.1	-1.50	-334.5	-17.6	-349.9	-37.6	-297.4	-50.5
BWQ-2	推	134.1	3.10	348.1	16.4	412.0	35.5	350.2	42.1
	拉	-133.1	-2.95	-379.5	-16.7	-449.6	-35.8	-382.5	-47.5
BWQ-3	推	155.6	3.30	400.5	15.6	509.8	42.3	433.3	40.5
	拉	-160.0	-3.86	-423.6	-15.9	-493.1	-45.9	419.1	-43.1

注:试件加载时,采用先拉后推的顺序; F_{cr} 、 δ_{cr} 分别为开裂荷载和开裂位移; F_y 为计算屈服荷载; F_{max} 、 δ_{max} 分别为峰值荷载和峰值位移; F_u 、 δ_u 分别为极限荷载和极限位移,取 $F_u=85\%F_{max}$ 。

轴压比的增大,水平承载力逐渐增加,但增幅开始逐渐降低。

3.2 位移延性系数

本文采用位移延性系数 μ 来反映试件的整体延性,考虑到墙体在 2 个方向加载并非完全一致,其定义式为

$$\mu=\frac{|-\delta_u|+|\delta_u|}{|-\delta_y|+|\delta_y|}$$

(1)

式中:屈服位移 δ_y 在无明显屈服点时,可取计算屈服位移;极限位移 δ_u 取试件荷载下降至 85% 峰值荷载时所对应的位移,各数值见表 4。

比较表 5 计算结果可知,位移延性系数随轴压比的增大而减小,表明试件整体延性呈下降趋势。

表 5 轴压比-位移延性系数关系

Tab. 5 Relation of Axial Compression Ratio and Displacement Ductility Coefficient

轴压比	0.0	0.1	0.2
μ	2.95	2.62	2.48

3.3 滞回曲线

由图 6 可知:试件 BWQ-1,BWQ-2,BWQ-3 的滞回曲线形状相似,滞回曲线前期均较饱满,在试件屈服之前呈梭形^[6-8];随着水平荷载增大,逐渐变成弓形,由于试件的持续损伤^[9-10],均出现明显的捏缩效应。加载过程与卸载过程中,曲线斜率均逐渐减小,且随着荷载的增大,减小速率加快。

对比各试件的滞回曲线可知,随着轴压比的增大,滞回曲线饱满程度逐渐降低,极限承载能力明显提高,各阶段刚度也均有不同程度的提高。

3.4 耗能能力

在拟静力试验中,试件的耗能能力可以用黏滞阻尼系数来反映^[11]。本文试件的等效黏滞阻尼系数 h_e 可根据如下公式计算

$$h_e=\frac{1}{2\pi}\frac{S_{ABCA}+S_{ADCA}}{S_{\Delta OBE}+S_{\Delta ODF}}$$

(2)

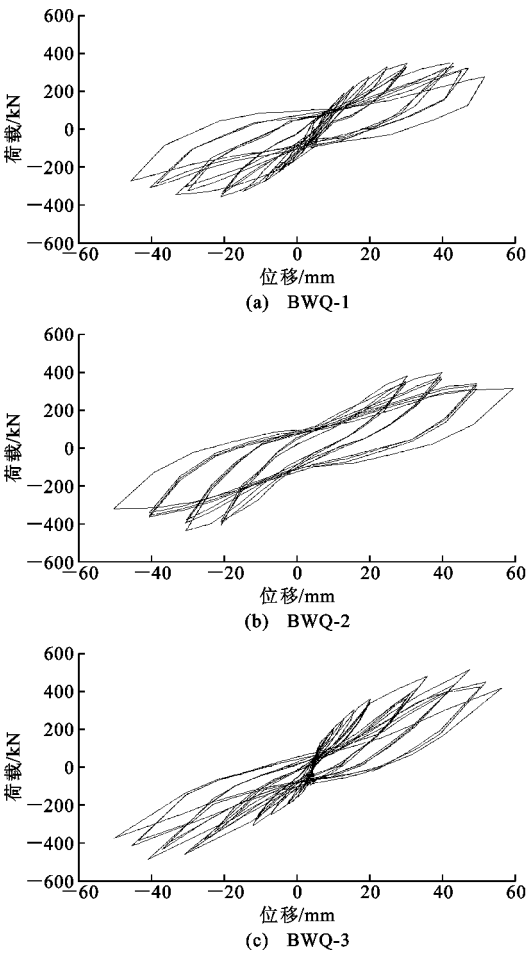


图 6 试件滞回曲线

Fig. 6 Hysteresis Curves of Specimens

式中: S_{ABCA} 、 S_{ADCA} 分别为滞回曲线 $ABCA$ 、 $ADCA$ 所围成的面积; $S_{\Delta OBE}$ 、 $S_{\Delta ODF}$ 分别为滞回曲线对角线极值点投影到横轴构成的面积,参见图 7。

由图 8 可知:免模保温剪力墙耗能曲线可分为 2 个阶段,第 1 阶段为试件耗能迅速增长阶段,从初始加载到试件屈服,耗散能量呈现线性上升;第 2 阶段为耗散能量增长平缓期,从试件屈服到最终破坏,耗散能量增幅趋于平缓,在相同加载制度下,随着轴

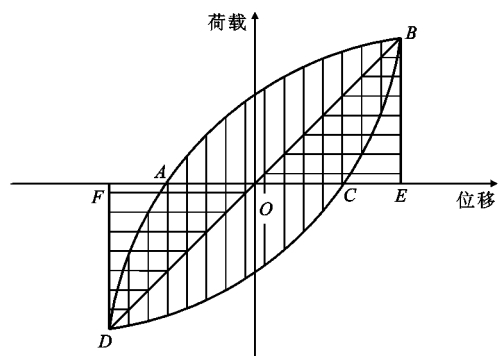


图 7 等效黏滞阻尼系数计算示意

Fig. 7 Calculation Schematic Diagram of Equivalent Viscous Damping Coefficient

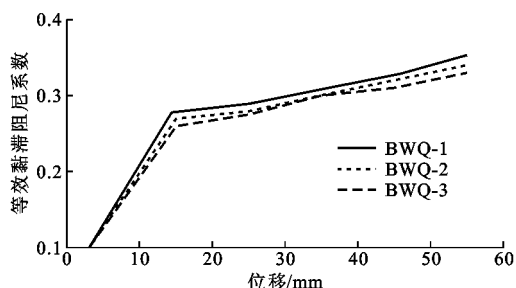


图 8 试件等效黏滞阻尼系数-位移曲线

Fig. 8 Equivalent Viscous Damping Coefficient-displacement Curves of Specimens

压比的降低,试件耗能能力有所提高。

3.5 骨架曲线

图 9 为试件 BWQ-1, BWQ-2, BWQ-3 的骨架曲线,3 条曲线经历了相似的变化^[12],即初始阶段形成一个 1/4 正弦波形,承载力在位移为 40 mm 左右达到峰值,之后迅速衰减。

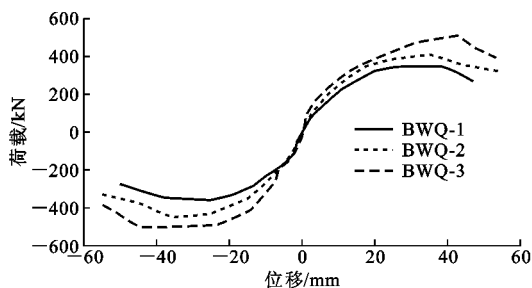


图 9 试件骨架曲线

Fig. 9 Skeleton Curves of Specimens

对比图 9 曲线可以看出:当位移小于 15 mm 时,3 条曲线几乎重合;当位移大于 15 mm 时,随着荷载的增大,试件刚度退化,试件 BWQ-1, BWQ-2, BWQ-3 的骨架曲线斜率依次增加,这说明当位移增加到一定数值时,竖向约束在一定程度上增强了试件的协同工作性能,而且轴压比大的试件协同性能

优于轴压比小的试件。

3.6 刚度退化

试件在反复荷载作用下的刚度可用平均割线刚度 K 来表示^[13],其值取为每一加载循环正、负向的最大荷载 $F_{1\max}$, $F_{2\max}$ 绝对值之和与其相应位移 δ_1 , δ_2 绝对值之和的比,即

$$K = \frac{|F_{1\max}| + |-F_{2\max}|}{|\delta_1| + |- \delta_2|} \quad (3)$$

图 10 为试件刚度退化曲线。免模保温剪力墙刚度退化主要可分为 2 个阶段:第 1 阶段为刚度快速退化阶段,从初始加载到试件屈服,刚度呈现指数衰减;第 2 阶段为刚度退化平缓阶段,从试件屈服到最终破坏,刚度退化趋于平缓,3 片试件在这阶段刚度退化程度相近,说明该阶段轴压比对试件刚度退化影响较小。进一步分析曲线可以看出:当位移相同时,试件 BWQ-3, BWQ-2, BWQ-1 刚度值依次降低,表明试件刚度随着轴压比的增加而增加。

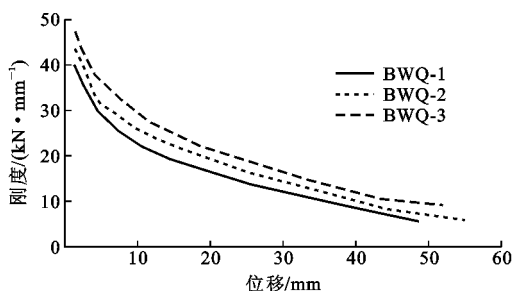


图 10 刚度退化曲线

Fig. 10 Stiffness Degradation Curves

4 破坏机理分析

为揭示免模保温剪力墙在低周反复荷载作用下的破坏机理,以试件 BWQ-3 为例,根据试件的滞回曲线、刚度退化曲线和骨架曲线并结合试件的破坏形态^[14-16],将试件的破坏过程分为如下 3 个阶段:

(1)未开裂阶段(位移 0~4 mm)。试件的骨架曲线基本呈线性变化,滞回曲线呈梭形,刚度退化曲线快速下降。该阶段,试验处于力控制阶段,由于水平荷载较小,试件整体变形较小,表面尚未出现裂缝,但墙体内部可能已经出现裂缝,导致刚度出现退化,滞回曲线基本未出现捏缩。此阶段的墙体表现出良好的协同工作性能。

(2)带裂缝工作阶段(位移 4~40 mm)。当位移在 4~15 mm 时,试验处于力控制阶段,骨架曲线斜率逐渐减小,滞回曲线呈弓形,刚度退化曲线呈指数下降。墙角开始出现水平裂缝,随着水平荷载的增大,试件从压弯状态转变为弯剪状态,墙体开始出

现剪切斜裂缝,刚度急剧退化,导致滞回曲线的捏缩效应较为明显。之后,随着裂缝的持续发展,刚度持续退化,骨架曲线斜率逐渐减小,并在位移为 15 mm 时出现转折点,外侧钢筋开始屈服。此阶段墙体裂缝由于轴压力的作用发生不同程度的闭合,试件协同性能得到增强,导致骨架曲线中轴压比较大的试件斜率更高。试件最外侧纵筋屈服后,试验进入位移控制阶段,位移处于 15~40 mm,此时由于裂缝发展完全及纵筋由外到内的逐渐屈服,刚度退化减缓,骨架曲线斜率持续减小,滞回曲线捏缩现象依然明显;由于轴压力对试件的约束作用,试件的 A 侧预制模块与内部现浇混凝土层相对其他 2 个试件出现较小程度的脱离。

(3)破坏阶段(位移 40~55 mm)。骨架曲线开始出现下降段,滞回曲线捏缩现象更加明显,刚度退化到 0 附近。随着位移的持续增大,试件表面裂缝进一步延伸并形成典型的 X 形裂缝,墙体底部 400 mm 内混凝土出现大幅度压碎,外侧纵筋被拉断,导致刚度几乎完全丧失,承载能力下降,滞回曲线捏缩现象显著。该阶段试件几乎丧失恢复能力,墙体出现明显的倾斜。

5 结 语

(1)轴压比为 0 的试件裂缝分布均匀,几乎延伸至墙体顶部;随轴压比的增大,试件破坏时裂缝相对集中于墙体底部。

(2)随着轴压比的增加,滞回曲线饱满程度、位移延性系数均有所降低,极限承载力明显提高,各阶段刚度也均有不同程度的提高。

(3)免模保温剪力墙在低周反复荷载作用下的破坏过程可分为 3 个阶段:未开裂阶段、带裂缝工作阶段和破坏阶段。

(4)免模保温剪力墙在低周反复荷载作用下表现出良好的协同工作性能和抗震性能,满足使用功能,表明构造方案可行。同时考虑到轴压比对试件的抗震性能有较大影响,在使用免模保温剪力墙的结构体系中,设计时应着重考虑轴压比,处于抗震设防等级较高的地区,应严格控制轴压比,综合考虑延性和刚度,防止发生脆性破坏。

参考文献:

References:

[1] JGJ 3—2010, 高层建筑混凝土结构技术规程[S].

JGJ 3—2010, Technical Specification for Concrete Str-

uctures of Tall Building[S].

[2] JGJ 101—96, 建筑抗震试验方法规程[S].

JGJ 101—96, Specification of Testing Methods for Earthquake Resistant Building[S].

[3] 过镇海,时旭东. 钢筋混凝土原理和分析[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

GUO Zhen-hai, SHI Xu-dong. Reinforced Concrete Theory and Analyses[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.

[4] 钱稼茹,魏 勇,赵作周,等. 高轴压比钢骨混凝土剪力墙抗震性能试验[J]. 建筑结构学报,2008,29(2): 43-50.

QIAN Jia-ru, WEI Yong, ZHAO Zuo-zhou, et al. Experimental Study on Seismic Behavior of SRC Shear Walls with High Axial Force Ratio [J]. Journal of Building Structures, 2008, 29(2): 43-50.

[5] 朱伯龙. 结构抗震试验[M]. 北京:地震出版社,1989.

ZHU Bo-long. Earthquake-resistance Test of Structures[M]. Beijing: Seismological Press, 1989.

[6] 吕西林,董宇光,丁子文. 截面中部配置型钢的混凝土剪力墙抗震性能研究[J]. 地震工程与工程振动, 2006, 26(6): 101-107.

LU Xi-lin, DONG Yu-guang, DING Zi-wen. Study on Seismic Behavior of Steel Reinforced Concrete Wall [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2006, 26(6): 101-107.

[7] 董宇光,吕西林. 型钢混凝土剪力墙轴压比计算及其限值研究[J]. 地震工程与工程振动, 2007, 27(1): 80-85.

DONG Yu-guang, LU Xi-lin. Study on Axial Compression Ratio Calculation and Limit Value for Steel Reinforced Concrete Walls [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2007, 27(1): 80-85.

[8] 钱稼茹,吕 文,方鄂华. 基于位移延性的剪力墙抗震设计[J]. 建筑结构学报,1999,20(3): 42-49.

QIAN Jia-ru, LU Wen, FANG E-hua. Displacement Ductility-based Aseismic Design for Shear Walls [J]. Journal of Building Structures, 1999, 20(3): 42-49.

[9] 陈 勤,钱稼茹,李耕勤. 剪力墙受力性能的宏模型静力弹塑性分析[J]. 土木工程学报,2004,37(3): 35-43.

CHEN Qin, QIAN Jia-ru, LI Geng-qin. Static Elastic-plastic Analysis of Shear Walls with Macro-model [J]. China Civil Engineering Journal, 2004, 37(3): 35-43.

[10] 张云峰. 钢筋混凝土剪力墙高轴压比下抗震性能试验研究[D]. 北京:清华大学,1996.

ZHANG Yun-feng. Experimental Study on Seismic

- Behavior of Reinforced Concrete Shear Wall with High Axial Ratio[D]. Beijing: Tsinghua University, 1996.
- [11] 蒋欢军. 沿竖向耗能剪力墙抗震理论与应用研究[D]. 上海: 同济大学, 1999.
- JIANG Huan-jun. Seismic Theory and Application Study of the Vertical Shear Wall [D]. Shanghai: Tongji University, 1999.
- [12] 孙仁楼, 陈柳, 叶燕华, 等. 节能剪力墙抗震性能试验研究[J]. 混凝土, 2011(5): 7-9, 12.
- SUN Ren-lou, CHEN Liu, YE Yan-hua, et al. Experimental Study on Seismic Behavior of Energy Saving Superimposed Slab Shear Wall [J]. Concrete, 2011(5): 7-9, 12.
- [13] 吴方伯, 宋瑞, 邓利斌, 等. 新型夹心保温墙体设计及其连接件剪切性能研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2015(7): 62-65.
- WU Fang-bo, SONG Rui, DENG Li-bin, et al. Study on Design of a New Type of Sandwich Insulation Wall and Shear Test of Its Connector[J]. China Concrete and Cement Products, 2015(7): 62-65.
- [14] 吴方伯, 李大禹, 欧阳靖, 等. 不同连接方式下新型砌体填充墙框架结构的抗震性能[J]. 建筑科学与工程学报, 2016, 33(3): 28-35.
- WU Fang-bo, LI Da-yu, OUYANG Jing, et al. Seismic Performance of New Masonry Infilled RC Frame with Different Types of Connections[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2016, 33(3): 28-35.
- [15] 朱张峰, 郭正兴, 汤磊, 等. 考虑不同预拉力的新型混合装配式混凝土剪力墙抗震性能试验[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2015, 42(11): 41-48.
- ZHU Zhang-feng, GUO Zheng-xing, TANG Lei, et al. Seismic Performance Experiments on New Hybrid Precast Concrete Shear Walls Under Different Prestress Forces[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2015, 42(11): 41-48.
- [16] 郭正兴. 新型预制装配混凝土结构规模推广应用的思考[J]. 施工技术, 2014, 43(1): 17-22.
- GUO Zheng-xing. Thinking on Generalization and Application of New Prefabricated Concrete Structure [J]. Construction Technology, 2014, 43(1): 17-22.