

文章编号:1673-2049(2017)05-0083-09

免模保温剪力墙施工工艺及抗震性能

吴方伯¹,段芳敏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:提出一种由 A,B 混凝土预制侧模块、现浇混凝土层、保温层以及抗剪连接件构成的免模保温剪力墙,混凝土预制侧模块在工厂制造生产,运输到施工现场,作为现浇混凝土层的模板;通过 2 片免模保温剪力墙的拟静力试验,考察其施工工艺的可行性,研究 A 侧预制模块采用不同构造措施时墙体的整体性和协调工作性能,分析了墙体从加载到破坏全过程的破坏形态以及承载能力、滞回特性、骨架曲线、刚度退化现象、延性性能和耗能能力。根据试验结果给出了该剪力墙在工程应用中的建议。结果表明:该免模保温剪力墙施工简单可行,在 A 侧预制模块 2 种不同构造措施下,剪力墙具有良好的整体性及相近的抗震性能。

关键词:免模保温剪力墙;预制侧模块;拟静力试验;抗剪连接件;施工工艺

中图分类号:TU311 **文献标志码:**A

Construction Process and Seismic Performance of Non-template Insulation Shear Wall

WU Fang-bo¹, DUAN Fang-min¹, 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: A kind of non-template insulation shear wall made of A,B side prefabricated concrete templates, cast-in-place concrete layer, insulation layer and shear connector was put forward. The prefabricated concrete template was manufactured in the factory and transported to the construction site as the cast-in-place concrete layer template. Through the pseudo-static test on 2 pieces of the non-template insulation shear walls, the feasibility of construction process was investigated. The integrity, cooperative performance of wall under the condition of different construction measures used in A side prefabricated concrete templates were studied. Meanwhile, the failure pattern, bearing capacity, hysteretic characteristics, skeleton curve, stiffness degradation, ductility and energy dissipation capacity of wall from loading to failure were also analyzed. The suggestions on the application of the shear wall in engineering were put forward. The results show that the construction of non-template insulation shear wall is simple and feasible. The shear wall has good integrity and similar seismic performance under the condition of two different construction measures used in A side prefabricated concrete templates.

Key words: non-template insulation shear wall; prefabricated template; pseudo-static test; shear connector; construction process

收稿日期:2017-07-21

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。

0 引言

目前,中国高层建筑中大多采用现浇混凝土剪力墙作为承重结构,在浇筑混凝土所用的模板体系中,木模板体系占据主导地位。施工现场须反复支模拆模,耗费人力物力,施工成本高,模板施工质量难以得到保证。同时由于木模板重复利用率低,木材的大量使用耗费宝贵的森林资源,给生态环境带来严重危害。

转变建筑行业生产方式,提高资源有效利用率,建设资源节约型、环境友好型社会,保持建筑行业持续、健康、绿色发展,成为当前建筑行业发展的新目标。近十几年来,预制装配式混凝土结构的研究和发展再一次成为建筑行业的热点问题,到目前为止,国内外已取得部分研究成果,并进行了推广运用。

本课题组经过不断研究和改进,提出了一种免模保温剪力墙,该剪力墙由 A、B 两片混凝土预制侧模块(A 混凝土预制侧模块不与保温层相接触,B 混凝土预制侧模块与保温层相接触,以下分别简称 A 侧预制模块和 B 侧预制模块)、钢筋网、现浇混凝土层、保温层以及抗剪连接件构成,在一种现浇保温剪力墙、梁、柱的基础上优化设计,改进外侧现浇混凝土层施工工艺,无需支模、拆模或者拼装模板,节省大量人力,减少了施工成本,提高了施工速度和质量,且不对生态环境造成危害。该剪力墙保温、耐久、防火性能较好。本文主要阐述该免模保温剪力墙的施工工艺,完成 2 片免模剪力墙的拟静力试验,探究 A 侧预制模块 2 种不同施工工艺对该剪力墙抗震性能的影响,根据试验结果,提出该免模保温剪力墙的设计施工建议。

1 免模保温剪力墙构造及施工工艺

1.1 免模保温剪力墙构造组成

该免模保温剪力墙主要由 A、B 混凝土预制侧模块、钢筋网、现浇混凝土层、保温层以及抗剪连接件构成。混凝土预制侧模块上设置孔洞,孔洞中插有套管,在套管中插入对拉螺栓,墙体构造见图 1。

预制侧模块的混凝土强度等级宜大于等于 C25,厚度宜大于等于 30 mm,预制侧模块内设置有间距 30~75 mm 的防裂钢丝网,钢丝网可取直径 3~4 mm 冷拔低碳钢丝。保温层厚度可根据当前项目节能指标确定,可选用挤出聚苯乙烯泡沫板(XPS 板)^[1]。

1.2 免模保温剪力墙施工工艺

制作该免模保温剪力墙的施工步骤主要包括:①绑扎现浇混凝土层钢筋网;②制作 B 侧预制模块(预制抗剪连接件→绑扎钢丝网→按设计布置抗剪连接件→浇筑混凝土→待混凝土未完全硬化,预留对拉螺栓孔洞→安装保温层),制作 A 侧预制模块时无需安装保温层;③吊装两侧混凝土预制侧模块至指定位置,插入套管(套管的长度为墙体厚度),安装对拉螺栓并拧紧;④现浇筑混凝土层,分层浇筑并振捣,待混凝土强度达到设计值 75%时,拆除对拉螺栓,最终形成免模保温剪力墙。

2 免模保温剪力墙拟静力试验

2.1 试件设计

试验设计 2 片免模保温剪力墙试件 MMQ-1、MMQ-2,高宽比均为 1.77,试验轴压比为 0.1,试件参数见表 1。剪力墙由 2 片 30 mm 厚的混凝土预制

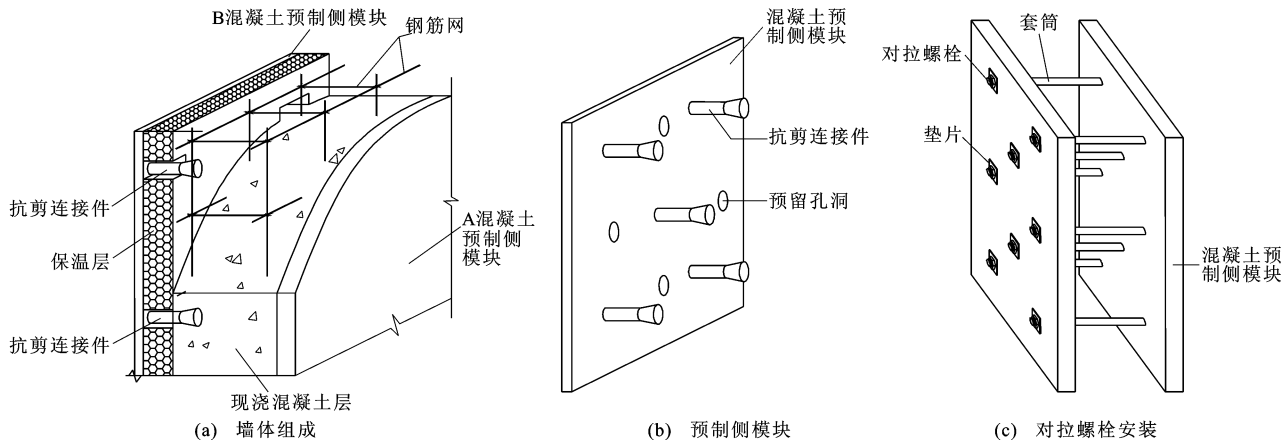


图 1 免模保温剪力墙
Fig. 1 Non-template Insulation Shear Wall

表 1 试件参数

Tab. 1 Parameters of Specimens

试件编号	预制侧模块 混凝土强度	现浇层混 凝土强度	B 侧预制模块抗剪连接件	A 侧预制模块抗剪连接件	试件尺寸
MMQ-1	C30	C30	梅花状,300 mm×300 mm		2 300 mm×1 300 mm×190 mm
MMQ-2	C30	C30	梅花状,300 mm×300 mm	梅花状,300 mm×300 mm	2 300 mm×1 300 mm×190 mm

侧模块(A,B 侧预制模块)拼装而成,作为现浇层混凝土浇筑模板,现浇混凝土层为 100 mm,在 B 侧预制模块内侧设置 30 mm 厚保温层,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,设置边缘试件。A 侧预制模块内侧均为自然粗糙面,2 片剪力墙不同点在于:MMQ-2 在 A 侧预制模块设置抗剪连接件与现浇混凝土层拉

结,MMQ-1 的 A 侧预制模块仅通过自然粗糙面与现浇混凝土层接触。研究在 2 种不同构造措施下 A 侧预制模块与现浇混凝土层协同工作性能及其对该剪力墙抗震性能的影响,根据试验结果提出合理的设计施工建议。试件配筋及构造如图 2 所示。其中抗剪连接件采用直径为 32 mm 的钢筋混凝土短柱,配置 $\Phi 6$ 加强筋。

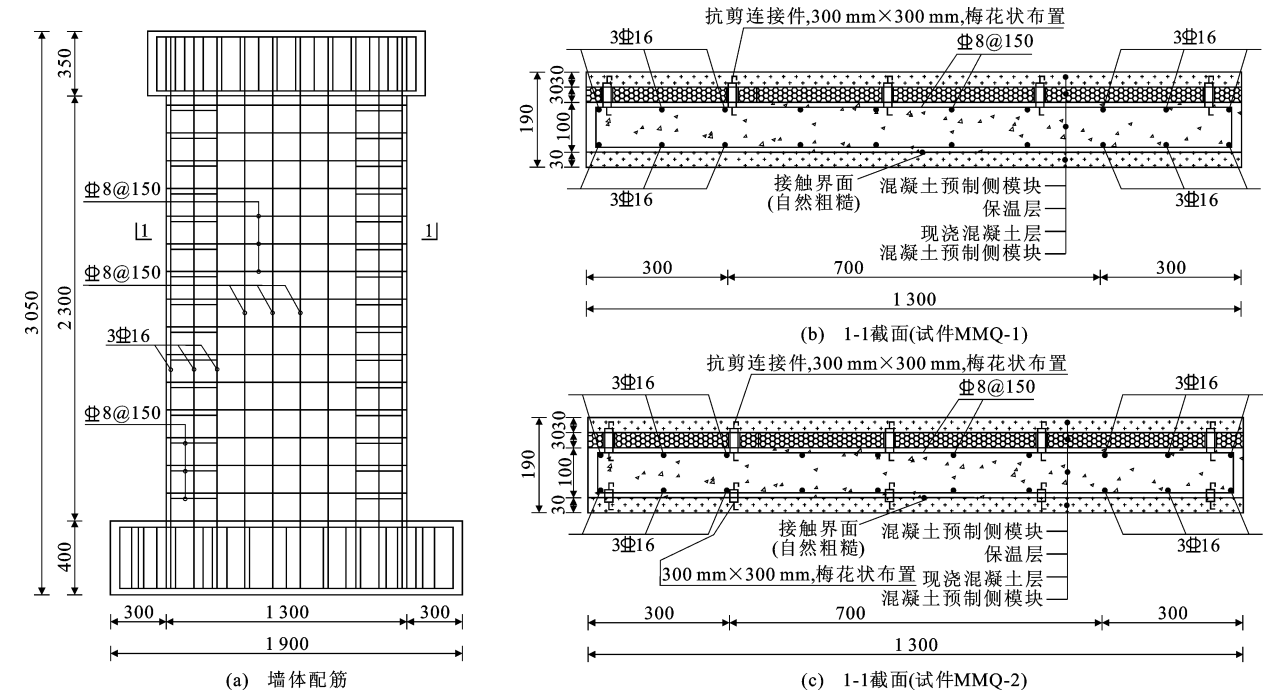


图 2 试件配筋及构造(单位:mm)

Fig. 2 Reinforcement and Construction of Specimens (Unit:mm)

2.2 试验概况

2.2.1 材性试验

浇筑免模保温剪力墙混凝土预制侧模块及现浇混凝土层时,分别取一部分同批次混凝土,制成 150 mm×150 mm×150 mm 的混凝土试块^[2],每组 3 个,养护 28 d 进行压力试验。在同批次的钢筋中,取长度为 500 mm 的试样,每组 3 根,进行拉伸试验。材性试验在湖南大学结构实验室完成,材料性能如表 2,3 所示。

2.2.2 加载装置及加载制度

免模保温剪力墙拟静力试验加载装置如图 3 所示,由于试验装置存在间隙,电液伺服系统的输出位

表 2 混凝土抗压强度平均值

Tab. 2 Average Compressive Strength of Concrete

试件编号	MMQ-1		MMQ-2	
试件部位	预制侧模块	现浇层	预制侧模块	现浇层
混凝土抗压强度 平均值/MPa	30.1	32.1	32.6	33.2

移无法反映墙体真实位移,本文试验采用墙顶设置位移计的方式来测量墙体的真实水平位移。2 片剪力墙的试验轴压比均为 0.1,换算为设计轴压比为 0.14。

正式加载前,首先施加竖向荷载到竖向荷载设计值的 50%,之后卸载,重复 3 次,以消除加载装置

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	f_y/MPa	f_u/MPa
现浇层纵横钢筋	HRB400	8	513.8	600.4
边缘试件纵筋	HRB400	6	550.4	632.1
边缘试件箍筋	HRB400	8	350.7	442.3
预制模块钢筋	冷拉低碳	3	666.2	847.9

注： ϕ 、 f_y 、 f_u 分别为钢筋直径、抗拉屈服强度、抗拉极限强度。

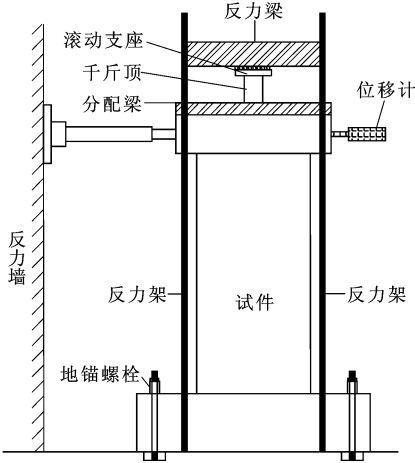


图 3 加载装置示意

Fig. 3 Schematic Diagram of Loading Device

的间隙及不均匀性,然后加载到竖向荷载设计值,在整个加载过程中保持不变。水平荷载采用荷载-位移混合控制加载方式,试件屈服前采用荷载控制,每级荷载增量取 30 kN,接近预估的开裂荷载时,将荷载增量减小为 10 kN,试件开裂之后,荷载增量取为 50 kN,接近预估屈服荷载时,荷载增量取为 20 kN,各级荷载往复循环 1 次。试件屈服之后,采用位移控制加载,加载位移取为 δ_y (δ_y 为屈服位移), $2\delta_y$, $3\delta_y$, $4\delta_y$,各级荷载循环 3 次,直至加载到峰值荷载的 85% 以下^[3]。

由于剪力墙试件没有明显的屈服点,试验中通过实时绘制的滞回曲线是否出现明显转折点^[4],结合最外侧受拉纵筋的应变情况来判断试件是否达到屈服状态。加载过程示意如图 4 所示。

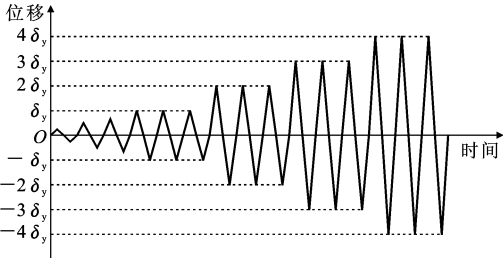


图 4 加载过程示意

Fig. 4 Schematic Diagram of Loading Process

3 免模保温剪力墙试验结果及分析

3.1 试验现象及破坏机理

3.1.1 试验现象

试件 MMQ-1 在水平荷载达到 -134.1 kN 和 121.8 kN 时,距墙底约 200 mm 高度处两侧分别出现第 1 条水平裂缝,贯通 A 侧预制模块,裂缝宽度约为 0.04 mm。随着荷载增加,不断出现新裂缝,且均贯通 A 侧预制模块,未贯通 B 侧预制模块,原有裂缝延伸并开始呈向下约 45° 方向发展。当荷载增加到 202.7 kN 时,在距墙底约 900 mm 高度处出现第 1 条贯通 B 侧预制模块的水平裂缝,宽度为 0.04 mm。当荷载增加到 354.3 kN 时,试件滞回曲线出现明显转折点,试件达到屈服状态(水平位移约为 15 mm),此时 A 侧预制模块上出现多条弯剪斜裂缝。当试件水平位移增加到 25 mm 时,A 侧预制模块上形成多条 X 形交叉裂缝,与现浇混凝土层结合良好,无鼓胀或者错位现象,此后裂缝发展主要以延伸为主。当水平位移增加到约 35 mm 时,试件水平荷载达到峰值(-440 kN),A、B 侧预制模块及现浇混凝土层的受压侧混凝土出现竖向裂缝,混凝土开始剥落。当水平位移增加到约 45 mm 时,A、B 侧预制模块及现浇混凝土层底部受压侧混凝土压溃,向外鼓出,混凝土大幅剥落,最外侧纵筋压屈,荷载下降到峰值荷载的 85% 以下,试件破坏,加载结束。试件 MMQ-1 裂缝分布及破坏形态如图 5 所示。

与 MMQ-1 基本相同,试件 MMQ-2 出现第 1 条水平裂缝时贯通 A 侧预制模块,水平荷载增加到 196.0 kN 时,B 侧预制模块距墙底 850 mm 处出现第 1 条水平裂缝,裂缝宽度为 0.04 mm。破坏时裂缝分布及破坏形态如图 5 所示。

3.1.2 破坏机理

试件 MMQ-1,MMQ-2 出现的裂缝先呈水平方向发展,荷载增大时,裂缝向下约 45° 方向发展,最终形成 X 形交叉裂缝,试件为弯剪型破坏,墙趾处混凝土压碎,纵筋压屈,形成塑性铰,塑性铰高度约为 400 mm。

加载过程中,在距墙底 300 mm 高度范围内,2 片剪力墙的 A 侧预制模块与现浇混凝土层的黏结界面开裂,但无明显平面外脱开及平面内错动现象,随着荷载增大,A 侧预制模块出现竖向裂缝并压碎;此高度以上,A 侧预制模块与现浇混凝土层黏结界面未开裂,无平面外鼓出现象,裂缝发展充分。以上说明 A 侧预制模块在 2 种不同的施工工艺下均能

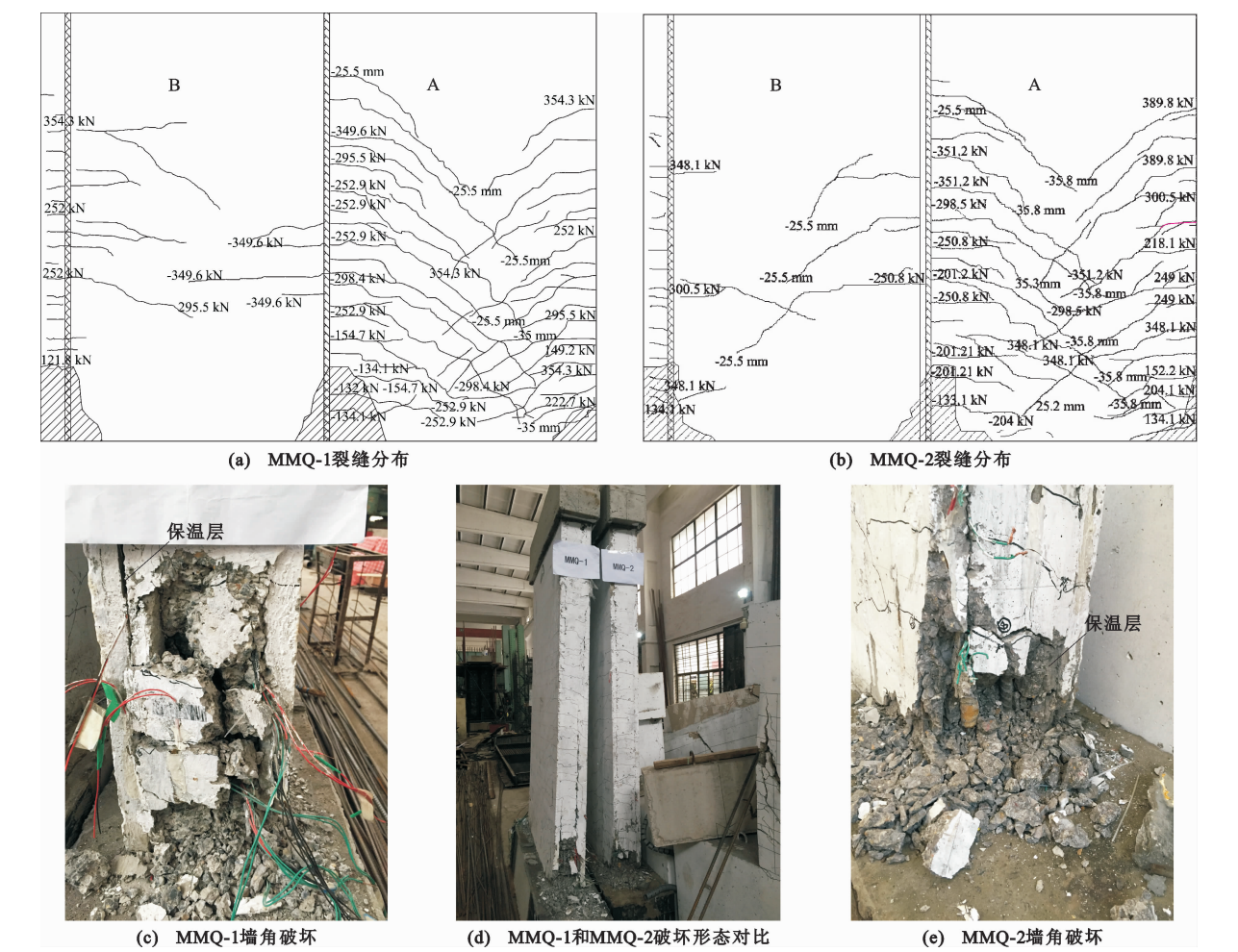


图 5 试件裂缝分布及破坏形态

Fig. 5 Crack Distributions and Failure Modes of Components

与现浇混凝土层协同工作,具有良好整体性。

加载过程中,在距墙底约 400 mm 高度范围内,2 片剪力墙的 B 侧预制模块与现浇混凝土层黏结界面开裂,有明显平面外脱开趋势,平面内错动现象不明显,随着荷载增大,B 侧预制模块出现竖向裂缝并压碎,压碎区域较小;此高度以上,B 侧预制模块与现浇混凝土层黏结界面未开裂,无平面外脱开或鼓出现象,但裂缝发展程度低于 A 侧预制模块。以上

说明,由于与现浇混凝土层之间夹有保温层,并通过抗剪连接件连接,在受荷过程中,B 侧预制模块能在一定程度上与现浇混凝土层协同工作,具有较好的整体性。

3.2 各阶段试验结果

MMQ-1,MMQ-2 的开裂荷载、计算屈服荷载、峰值荷载、极限荷载及其对应的位移、延性系数如表 4 所示。

表 4 主要阶段试验结果及延性系数

Tab. 4 Test Results of Main Stages and Ductility Coefficients										
试件	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	μ
MMQ-1	推	121.8	4.20	346.5	16.9	397.0	35.3	338.1	44.9	2.62
	拉	-134.1	-3.80	374.5	17.4	-440.0	-35.1	-367.1	-45.1	
MMQ-2	推	134.1	3.10	348.1	16.4	412.0	35.5	350.2	42.1	2.71
	拉	-133.1	-2.95	-379.5	-16.7	-449.6	-35.8	-382.5	-47.5	

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 $F_u=85\%F_{max}$; μ 为延性系数。

3.2.1 计算屈服点确定

由于剪力墙试件配筋较多,各部位的钢筋在不

同时刻达到屈服状态,因此在剪力墙试件的骨架曲线上屈服点往往不明显。在试件初始屈服点的问题

上尚没有统一的定值方法。目前确定试件屈服点的方法主要有:①钢材达到屈服应变的时刻;②能量等值法;③几何作图法^[5];④基于试件在峰值荷载 75% 处的割线刚度定义的屈服点。

以上各种方法在计算试件的屈服点时结果有所差异,本文结合试件在加载过程中的实际情况,采用几何作图法确定试件屈服点,计算结果见表 4。

3.2.2 极限点确定

根据《建筑抗震试验方法规程》(JGJ 101—96),取试件荷载下降到峰值荷载 85% 时对应的位移为试件的极限位移,极限荷载即为峰值荷载的 85%。MMQ-1 与 MMQ-2 的极限荷载和极限位移试验结果见表 4。

3.3 试件滞回曲线

MMQ-1 和 MMQ-2 在加载过程中墙顶的荷载-位移滞回曲线如图 6 所示。

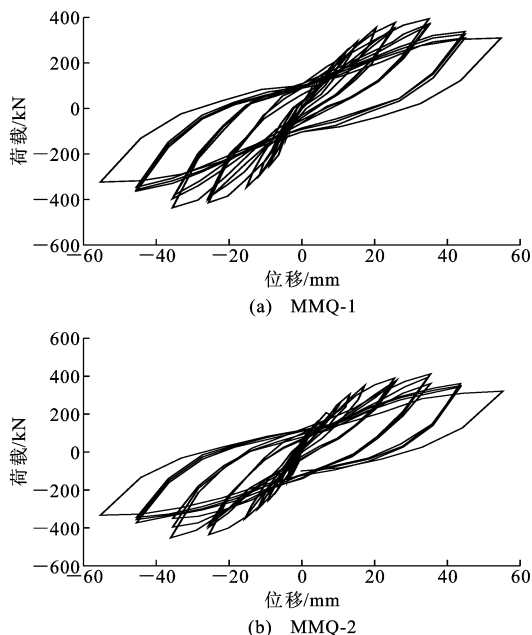


图 6 试件滞回曲线

Fig. 6 Hysteresis Curves of Components

由图 6 可知:MMQ-1, MMQ-2 的滞回曲线在构件屈服之前呈梭形,随着水平荷载增大,逐渐呈弓形,捏缩效应均较为明显^[6-8]。在加载过程中,随着荷载增大,曲线斜率逐渐减小,且减小速率加快。在各次加载曲线中,后次加载曲线的斜率小于前次加载曲线,说明试件在加载、卸载过程中刚度发生退化。在卸载过程中,刚开始曲线斜率较大,变形恢复较少,随着荷载减小,变形恢复速度加快,变形的恢复速度滞后于荷载。

3.4 试件骨架曲线

将 MMQ-1, MMQ-2 滞回曲线上同方向各级荷

载第 1 次循环的荷载峰值点依次连接,分别得到 MMQ-1, MMQ-2 的骨架曲线,如图 7 所示。

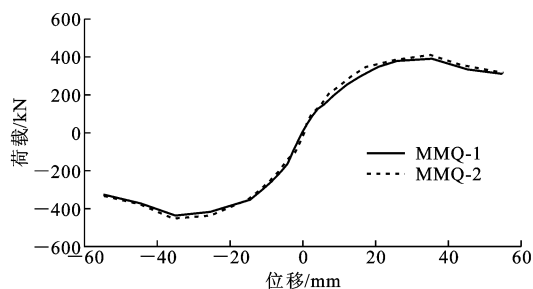


图 7 试件骨架曲线

Fig. 7 Skeleton Curves of Specimens

由图 7 可知,MMQ-1, MMQ-2 在开裂前骨架曲线呈线性,试件处于线弹性阶段,此阶段 MMQ-1 和 MMQ-2 骨架曲线斜率相当,主要是由于此时变形较小,B 侧预制模块抗剪连接件作用较小。随着荷载增大,试件刚度退化,表现出明显的弹塑性,MMQ-1 骨架曲线斜率略小于 MMQ-2,说明随着试件变形加大,B 侧预制模块抗剪连接件逐渐发挥作用,一定程度上增强了试件的协同工作性能,但增强幅度有限。

3.5 试件刚度退化

取荷载-位移曲线每个循环正反向峰值荷载绝对值之和与相应位移绝对值之和的比值作为试件每个循环的刚度 K ,即割线刚度^[9-11]。随着位移不断增大和循环次数增多,试件刚度将不断减小,这就是刚度退化现象。MMQ-1, MMQ-2 割线刚度随位移的退化曲线如图 8 所示。

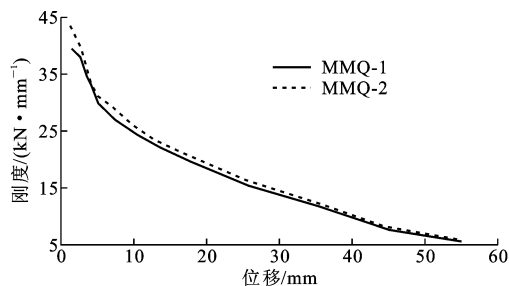


图 8 刚度退化曲线

Fig. 8 Stiffness Degradation Curves

由图 8 可知:2 片剪力墙刚度退化趋势相同,从试件开裂到试件出现明显转折点,刚度退化迅速,主要是因裂缝的出现和发展,位移继续增大,试件刚度持续退化,但退化速度放缓;MMQ-1, MMQ-2 在计算屈服点处的刚度约为开裂点处刚度的 65%,破坏时刚度约为开裂时刚度的 25%;MMQ-1, MMQ-2 在开裂后刚度退化程度相近,说明 A 侧预制模块设

置抗剪连接件对免模剪力墙刚度退化影响较小。

3.6 试件延性性能

试件延性性能反映试件在荷载作用下的塑性变形能力。常用延性系数 μ 来反映试件的位移延性。考虑到墙体在 2 个方向加载并非完全一致,定义位移延性系数 $\mu^{[12-14]}$ 为

$$\mu = \frac{|-\delta_u| + |+\delta_u|}{|-\delta_y| + |+\delta_y|} \tag{1}$$

式中:试件屈服位移 δ_y 在无明显屈服点时可取计算屈服位移;试件极限位移 δ_u 取试件荷载下降至 85% 峰值荷载时对应的位移。

3.7 试件耗能能力

试件耗能能力通过试件在水平荷载作用下滞回曲线所包围的面积来度量。本文以试件等效黏滞阻尼系数 $h_e^{[15-16]}$ 来衡量试件耗能能力,其计算如图 9 和式(2)所示。

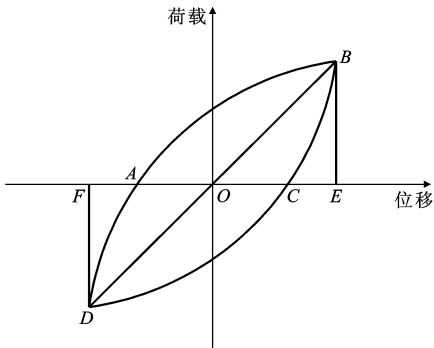


图 9 等效黏滞阻尼系数计算示意

Fig. 9 Calculation Schematic Diagram of Equivalent Viscous Damping Coefficient

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

式中: S_{ABCA} , S_{ADCA} 分别为曲线 $ABCA$, $ADCA$ 所围成的面积; $S_{\triangle OBE}$, $S_{\triangle ODF}$ 分别为 $\triangle OBE$, $\triangle ODF$ 的面积。

MMQ-1, MMQ-2 在不同加载等级下的等效黏滞阻尼系数 h_e 计算结果见图 10。由图 10 可知:在相同加载等级下,MMQ-2 等效黏滞阻尼系数计算值相对于 MMQ-1 有所提升,但提升幅度小于 5%,二者在能量耗散能力方面无明显差别。同时,随着加载等级位移幅值增大,MMQ-1, MMQ-2 的等效黏滞阻尼系数 h_e 计算值不断增大,说明随着试件损伤程度加大,耗能能力增强。

4 免模保温剪力墙设计、施工建议

4.1 抗剪连接件施工

免模保温剪力墙的混凝土预制侧模块与现浇混

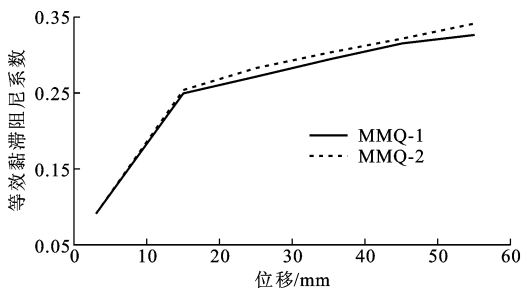


图 10 试件等效黏滞阻尼系数-位移曲线

Fig. 10 Equivalent Viscous Damping Coefficient-displacement Curves of Specimens

凝土层通过抗剪连接件连接,为保证二者之间有良好的拉结作用,从而使混凝土预制侧模块和现浇混凝土层能够协同作用、共同受力,提高剪力墙的整体性和节能性能,抗剪连接件应由强度高、导热系数小的材料制成。在本文试验中,抗剪连接件采用无机保温砂浆圆柱,直径为 32 mm,并配置 $\Phi 6$ 加强筋,如图 11,12 所示。

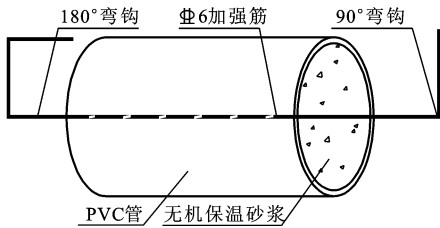


图 11 抗剪连接件

Fig. 11 Shear Connector

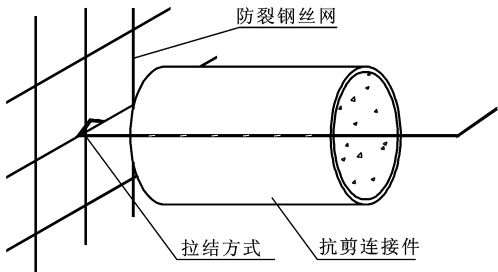


图 12 抗剪连接件与防裂钢筋网拉结

Fig. 12 Connection Between Shear Connector and Anti Crack Reinforcement Net

施工建议:①抗剪连接件在工厂预制完成,通过点焊方式与混凝土预制侧模块内防裂钢筋网固定,防止在浇筑预制模块混凝土时移动,可将抗剪连接件固定于防裂钢筋网纵横钢筋相交处,增强拉结作用;②抗剪连接件靠近混凝土预制侧模块一端,加强筋宜成 180° 弯钩,增强与防裂钢筋网拉结;③抗剪连接件在现浇混凝土层一端,加强筋宜成 90° 弯钩,弯钩长度不宜过大,避免在安装预制侧模板时与现浇混凝土层钢筋网发生碰撞。

4.2 模数化、标准化设计

混凝土预制侧模块应根据项目实际情况,进行模数化、标准化设计,实现工厂化生产,可有效提高施工效率,缩短试件的施工周期,降低操作者的劳动强度,节省施工成本^[17-18]。

混凝土预制侧模块钢筋网布置间距 S_1 、现浇混凝土层钢筋布置间距 S_2 、抗剪连接件布置间距 S_3 之间也应采用模数化、标准化设计,方便试件预制生产,同时避免在安装预制侧模块时抗剪连接件与现浇混凝土层钢筋网出现碰撞现象,致使预制侧模块无法顺利安装。

建议取 $S_3 = nS_1 = kS_2$ (n, k 均为自然数),在安装预制侧模块时,保持抗剪连接件位于钢筋网格内,设计时应充分考虑抗剪连接件靠近现浇混凝土层一侧加强筋弯钩的长度和抗剪连接件尺寸,进行碰撞检查,保证预制侧模块能顺利安装。

4.3 预制侧模块孔洞设计施工

混凝土预制侧模块上预留有孔洞,A,B 侧预制模块拼装后,在孔洞内插入套筒,然后在套筒内插入对拉螺栓。

预留孔洞的施工建议在预制侧模块浇筑混凝土后,待混凝土未完全硬化,采用静力钻孔方式。孔洞位置应避开防裂钢丝网和现浇混凝土层钢筋网,设计时也应进行碰撞检查。孔洞预留位置需精确控制,A,B 侧预制模块上孔洞位置一致,保证 A,B 侧预制模块安装后套筒能顺利插入对应孔洞。

5 结 语

(1)该免模保温剪力墙结合装配式和整体式施工方法,工艺简单可行,保温层和抗剪连接件设置可有效隔断剪力墙的冷桥,保温性能良好。

(2)该免模保温剪力墙在施工过程中无需支模、拆模,能节省大量木材资源,预制侧模块可根据工程实际需求进行模数化、标准化设计,实现工业化生产,有利于推动中国装配式住宅发展。

(3)B 侧预制模块与现浇混凝土层之间夹有保温层,通过抗剪连接件连接,在受荷过程中,B 侧预制模块能在一定程度上与现浇混凝土层协同工作,具有较好整体性,满足使用功能。

(4)MMQ-1,MMQ-2 的拟静力试验结果表明,A 侧预制模块在 2 种不同施工工艺下均能与现浇混凝土层协同工作,具有良好的整体性,基本等同于现浇剪力墙。

(5)MMQ-1,MMQ-2 的抗震性能分析表明,在

A 侧预制模块 2 种不同施工工艺下 MMQ-1,MMQ-2 具有相近的破坏机理、承载能力、延性性能及耗能能力,从施工角度出发,A 侧预制模块施工建议选择 MMQ-1 的方式,即不设置抗剪连接件,保持接触界面自然粗糙。

参考文献:

References:

- [1] 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.
- [2] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范[S].
GB 50010—2010, Code for Design of Concrete Structures[S].
- [3] 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].
- [4] 吕西林,干淳洁,王 威. 内置钢板钢筋混凝土剪力墙抗震性能研究[J]. 建筑结构学报, 2009, 30(5): 89-96.
LU Xi-lin, GAN Chun-jie, WANG Wei. Study on Seismic Behavior of Steel Plate Reinforced Concrete Shear Walls[J]. Journal of Building Structures, 2009, 30(5):89-96.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 曹万林,王 丽,胡国振,等. 钢筋混凝土带暗支撑 Z 形截面短肢剪力墙抗震性能试验研究[J]. 世界地震工程, 2004, 20(3): 84-89.
CAO Wan-lin, WANG Li, HU Guo-zhen, et al. Experimental Study on Seismic Performance of Z-shaped Short Pier RC Shear Wall with Concealed Bracings [J]. World Earthquake Engineering, 2004, 20(3): 84-89.
- [8] 刘 伟,王 娱,朱蕴东. 双肢短肢剪力墙结构抗震性能试验研究[J]. 世界地震工程, 2004, 20(2): 81-85.
LIU Wei, WANG Yu, ZHU Yun-dong. Experimental Research on the Short-limb Shear Wall [J]. World

- Earthquake Engineering,2004,20(2):81-85.
- [9] 王滋军,刘伟庆,叶燕华,等. 钢筋混凝土开洞叠合剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2012,33(7):156-163.
- WANG Zi-jun,LIU Wei-qing, YE Yan-hua, et al. Experimental Study on Seismic Behavior of Reinforced Concrete Composite Shear Wall with Opening [J]. Journal of Building Structures,2012,33(7):156-163.
- [10] 乔彦明,钱稼茹,方鄂华. 钢骨混凝土剪力墙抗剪性能的试验研究[J]. 建筑结构,1995,25(8):3-7.
- QIAO Yan-ming, QIAN Jia-ru, FANG E-hua. Experimental Study on Shear Capacity of Steel Reinforced Concrete Shear Walls[J]. Building Structure,1995,25(8):3-7.
- [11] 李国强,张晓光,沈祖炎. 钢板外包混凝土剪力墙抗剪滞回性能试验研究[J]. 工业建筑,1995,25(6):32-35.
- LI Guo-qiang, ZHANG Xiao-guang, SHEN Zu-yan. Experimental Study on Hysteretic Behavior of Concrete-incased Steel Plate Shear Walls [J]. Industrial Construction,1995,25(6):32-35.
- [12] 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.
- [13] 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研究[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.
- [14] 魏威,叶燕华,王滋军,等. 新型钢筋混凝土叠合剪力墙抗震性能试验研究[J]. 混凝土,2011(6):15-18.
- WEI Wei, YE Yan-hua, WANG Zi-jun, et al. Experimental Study on Seismic Behavior of New RC Composite Shear Walls[J]. Concrete,2011(6):15-18.
- [15] 连星,叶献国,王德才,等. 叠合板式剪力墙的抗震性能试验分析[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2009,32(8):1219-1223.
- LIAN Xing, YE Xian-guo, WANG De-cai, et al. Experimental Analysis of Seismic Behavior of Superimposed Slab Shear Walls[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science,2009,32(8):1219-1223.
- [16] 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.
- [17] 赵作周,韩文龙,钱稼茹,等. 整体式拼缝连接的预制楼板-预制剪力墙节点试验[J]. 哈尔滨工业大学学报,2016,48(6):81-86.
- ZHAO Zuo-zhou, HAN Wen-long, QIAN Jia-ru, et al. Mechanical Behavior of Precast Concrete Slab-precast Shear Wall Monolithic Joint [J]. Journal of Harbin Institute of Technology,2016,48(6):81-86.
- [18] 吴浩,吕西林,蒋欢军. 基于纤维单元的预应力预制混凝土剪力墙抗侧性能数值分析[J]. 建筑结构学报,2017,38(1):116-124.
- WU Hao, LU Xi-lin, JIANG Huan-jun. Numerical Analysis on Lateral Performance of Prestressed Precast Concrete Shear Walls Based on Fiber Element [J]. Journal of Building Structures,2017,38(1):116-124.