

文章编号:1673-2049(2018)03-0063-08

内嵌 CCA 板填充墙对钢框架结构受力性能的影响

郁有升,梅 灿,雷 鸣

(青岛理工大学 土木工程学院,山东 青岛 266033)

摘要:为了研究蒸压无石棉纤维素纤维水泥板(CCA 板)填充墙对钢框架结构受力性能的影响,对纯框架和带 CCA 板填充墙钢框架进行了低周往复加载试验,并利用有限元软件 ABAQUS 进行了模拟分析。根据试验及有限元模拟结果对带 CCA 板填充墙钢框架的承载能力、抗侧刚度和耗能能力等抗震性能指标进行了分析。结果表明:在低周往复荷载作用下,CCA 板填充墙提高了钢框架结构的承载能力、抗侧刚度;CCA 板填充墙参与了钢框架结构的滞回耗能,带 CCA 板填充墙钢框架的累积耗能能力明显优于纯框架;与纯框架相比,带 CCA 板填充墙钢框架的初始刚度有所提高;当位移角达到某一限值时,CCA 板填充墙的损坏会引起钢框架结构的刚度发生突变,钢框架结构非弹性设计不应考虑 CCA 板填充墙对钢框架结构刚度的提高作用;所得结论可为带 CCA 板填充墙钢框架的工程应用提供参考。

关键词:CCA 板填充墙;钢框架;受力性能;低周往复加载试验

中图分类号:TU391

文献标志码:A

Influence of CCA Plate Infill Wall on Mechanical Behavior of Steel Frame Structures

YU You-sheng, MEI Can, LEI Ming

(School of Civil Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, Shandong, China)

Abstract: In order to study the influence of cellulose fiber cement autoclaved plate (CCA plate) infill wall on the mechanical behavior of steel frame structures, the low frequency cyclic loading tests of steel frame and steel frame infilled with CCA plate were done. The steel frame and steel frame infilled with CCA plate were simulated by the finite element software ABAQUS. The bearing capacity, stiffness, energy dissipation capacity and seismic performance index of steel frame infilled with CCA plate were analyzed according to the results of test and finite element simulation. The results show that CCA plate infill wall will enhance the bearing capacity, lateral stiffness of steel frame. The CCA plate infill wall is involved in hysteretic energy dissipation of steel frame structure. The energy dissipation capacity of steel frame infilled with CCA plate is significantly better than that of the steel frame. Compared with steel frame, the peak load and initial stiffness of steel frame infilled with CCA plate are improved. When the drift angle reaches a certain limit, the stiffness of steel frame structure will suddenly change due to the damage of CCA plate infill wall, therefore the influence of CCA plate infill wall on the stiffness of steel frame structure shouldn't be considered in the structural inelastic design. The results can promote the application of steel frame infilled with CCA plates.

收稿日期:2017-08-14

基金项目:国家自然科学基金项目(51678316);山东省自然科学基金项目(ZR2017MEE068)

作者简介:郁有升(1976-),男,山东莒南人,副教授,工学博士,E-mail:yuyousheng@126.com。

Key words: CCA plate infill wall; steel frame; mechanical behavior; low frequency cyclic loading test

0 引言

钢结构具有工业化程度高、施工周期短、绿色环保、可持续发展、抗震性能好、使用中易于改造、灵活方便等优点,被称为“绿色建筑”。近年来国家大力推进钢结构装配式建筑,带填充墙的钢框架结构体系得到广泛的应用^[1-4]。在传统的框架结构设计中,填充墙只是作为围护构件,不参与框架结构的抗震计算。然而在框架结构的实际受力过程中,由于填充墙与框架之间的耦连作用,填充墙对框架结构的承载能力、抗侧刚度、延性以及耗能能力等方面会产生一定的影响。针对带填充墙框架结构中填充墙对框架结构受力性能的影响,国内外学者进行了大量的研究工作^[5-11]。

目前国内外^[12-14]学者普遍认为:在侧向荷载作用下,填充墙对框架结构的承载能力和抗侧刚度等方面具有提高作用。李国强等^[15]对外挂式和内嵌式 ALC 墙板钢框架分别进行了水平静力及低周往复加载试验,研究 ALC 墙板对钢框架结构受力性能的影响。贾连光等^[16]利用有限元软件 ABAQUS 对不同开洞率的带填充墙框架结构分别进行了单调荷载、循环荷载作用下的有限元分析,研究了开洞填充墙的破坏模式以及开洞填充墙对框架结构受力性能的影响。赵欣等^[17]根据已有的带填充墙钢框架结构理论研究成果,提出了一种适用于结构整体分析的带填充墙框架有限元模型,并且运用该模型分析了轻质砌体填充墙对钢框架结构抗震性能的影响。

然而,目前国内外对于蒸压无石棉纤维素纤维水泥板(Cellulose Fiber Cement Autoclaved Plate, CCA 板)填充墙对钢框架结构受力性能影响的研究还比较少。CCA 板填充墙是以冷弯薄壁型钢为骨架,内嵌 EPS 泡沫混凝土,两侧分别外装 CCA 面板而构成的轻质复合墙体。CCA 板填充墙具有轻质高强、保温隔热、绿色环保等优点,已成为钢结构装配式建筑中选择的填充墙形式之一。本文通过对纯框架和带 CCA 板填充墙钢框架的试验及有限元对比分析,研究 CCA 板填充墙对钢框架结构受力性能的影响以及带 CCA 板填充墙钢框架的受力性能。

1 试件设计

本文设计了 1 榀足尺的单层单跨纯框架 KJ-1 和 1 榀足尺的单层单跨带 CCA 板填充墙钢框架 KJ-2。2 榀框架的尺寸均相同,如图 1 所示。图 1 为试件示意。

试件 KJ-1 的跨度为 1 500 mm,层高为 2 000 mm,梁、柱截面尺寸分别为 HN300×150×6.5×9, HW200×200×8×12,均采用 Q235B 钢。试件 KJ-2 的框架梁、柱材料和截面均与 KJ-1 相同,墙体横龙骨为 QC100×50×50×0.6,横龙骨竖向间距为 400 mm,龙骨与框架柱之间采用 ZD4.2×19 射钉连接。CCA 板选用 8 mm 厚的中密度板,通过自攻螺钉固定在龙骨上,自攻螺钉水平间距为 200 mm。CCA 板内填充 EPS 泡沫混凝土,EPS 泡沫混凝土配合比参考文献^[18]选用,见表 1。

2 试验概况

加载装置及测量系统布置如图 2 所示。试验过程中使用 500 kN 液压水平作动器在柱端施加低周往复荷载。柱顶的力由作动器上的力传感器读出,在框架柱不同高度处对称布置了 8 个位移计,即 WY1~WY8,其中位移计 WY1 和 WY5 用于测量地梁的滑移,WY9 用于测量柱顶的侧向位移。

图 3 为试验现场照片。水平作动器一端与反力墙固定,一端通过高强螺栓与柱顶连接,水平荷载的作用线与框架梁的形心线重合。参考规范^[19]规定的钢框架结构弹性阶段以及塑性阶段层间侧移值设计了本试验加载制度。位移角达到 1/500 rad 之前,每级循环 1 次。位移角达到 1/500 rad 之后,每级循环 2 次。当水平荷载下降至峰值荷载的 85% 以下时,停止加载,试验结束。位移加载制度如图 4 所示。

3 试验结果与分析

3.1 试验现象

2 榀试件的破坏形态分别如图 5(a),(b)所示。

试件 KJ-1:当位移角在 1/100 rad 范围内时,钢框架处于弹性阶段,无明显试验现象;当位移角达到 1/28.6 rad 时,节点域变形严重;当位移角达到 1/25 rad 时,地梁东侧端部下翼缘屈曲、腹板开裂,

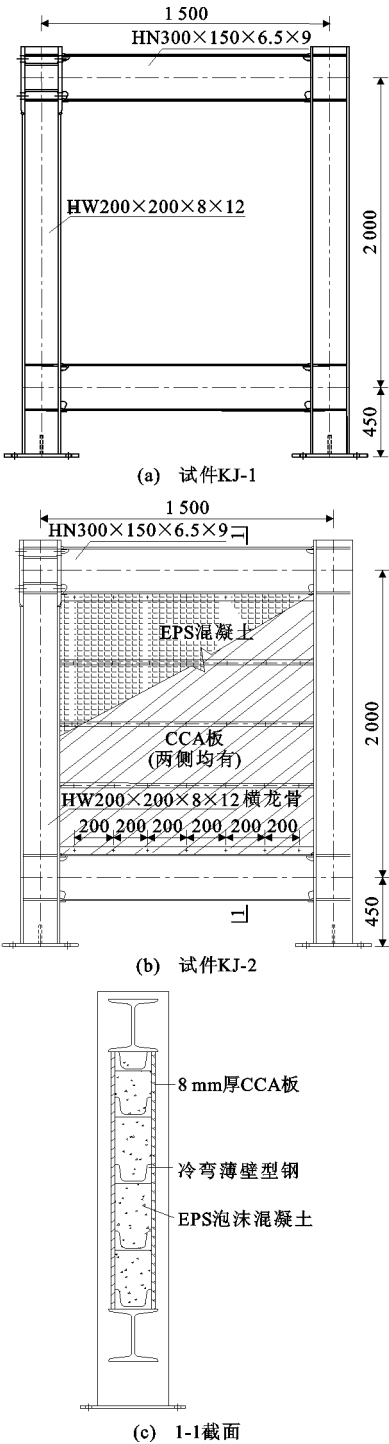


图 1 试件示意 (单位:mm)

试件承载力下降较多;当位移角达到 $1/21.9\text{ rad}$ 时,腹板进一步开裂,地梁翼缘屈曲严重,水平荷载下降至峰值荷载的 85% 以下,停止加载,试验结束。

试件 KJ-2:当位移角在 $1/250\text{ rad}$ 范围内时,钢框架与 CCA 板填充墙均处于弹性阶段,无明显试验现象;当位移角达到 $1/200\text{ rad}$ 时,CCA 板接缝处硅酮密封胶出现轻微裂缝,同时由于 CCA 板与龙骨间小滑移摩擦,试件发出吱吱的响声;当位移角达到 $1/125\text{ rad}$ 时,CCA 板表面出现 1 条裂缝,自攻螺钉周围 CCA 板出现挤压开裂;当位移角达到 $1/50\text{ rad}$ 时,自攻螺钉周围 CCA 板挤压开裂更加明显,并且向外延伸,CCA 板角部出现轻微裂缝;当位移角达到 $1/33.3\text{ rad}$ 时,CCA 板角部被完全压碎,自攻螺钉周围 CCA 板完全开裂;当位移角达到 $1/22.2\text{ rad}$ 时,顶梁腹板、翼缘屈服,CCA 板角部斜裂缝继续延伸并且部分 CCA 板脱落;当位移角达到 $1/20.6\text{ rad}$ 时,顶梁屈曲较大,水平荷载下降至峰值荷载的 85% 以下,停止加载,试验结束。

3.2 滞回曲线

滞回曲线是在循环往复荷载作用下反映结构承载能力、刚度退化以及能量消耗的曲线。各试件的滞回曲线如图 6 所示,其中, F_1 为荷载, Δ 为位移。

由图 6 可知:试件处于弹性阶段时,卸载后试件变形可恢复。试件进入非弹性阶段,卸载后试件出现残余变形,残余变形随着循环荷载的增加不断增大。试件 KJ-1 与 KJ-2 均具有饱满的滞回曲线,表现出良好的滞回性能。试件 KJ-2 在加载过程中,由于 EPS 混凝土压碎,CCA 板出现一定的滑移,滞回曲线呈现由梭形向弓字形发展的趋势。与试件 KJ-1 相比,试件 KJ-2 的滞回曲线更加饱满,表明 CCA 板填充墙参与了试件 KJ-2 的滞回耗能,对试件 KJ-2 的耗能能力具有提高作用。在位移角相同的情况下,试件 KJ-2 比 KJ-1 能够承担更大的荷载,表明 CCA 板填充墙对试件 KJ-2 的承载能力具有提高作用。

3.3 刚度退化

每一个滞回环峰值点的割线刚度反映循环往复

Fig. 1 Schematic Diagrams of Specimens (Unit:mm)

表 1 EPS 轻集料混凝土配合比

Tab. 1 Mix Proportion of EPS Lightweight Aggregate Concrete

| 材料 | 水泥 | 水 | 砂 | 珍珠岩 | 粉煤灰 | 膨胀剂 UEA | EPS 颗粒 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|
| 材料用量/(kg · m ⁻³) | 360.0 | 144.0 | 127.4 | 36.0 | 100.8 | 49.0 | 1.5 |
| 配合比 | 1.000 | 0.400 | 0.350 | 0.100 | 0.280 | 0.140 | 0.038 |

荷载作用下试件侧向刚度的变化情况,2 榀试件的刚度 K 退化曲线如图 7 所示。各阶段 2 榀试件的

割线刚度见表 2。

由图 7 中 KJ-1 刚度退化曲线可知:当位移角在

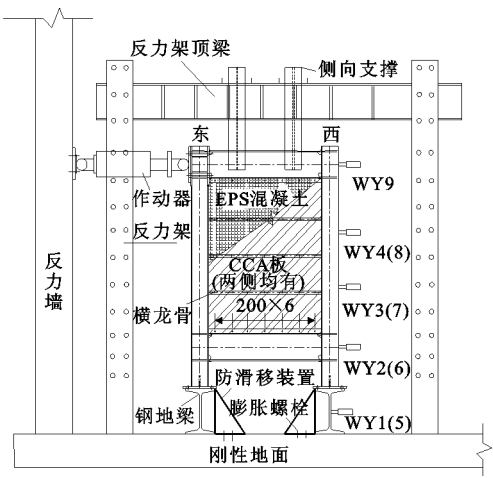


图 2 加载装置及测量系统布置

Fig. 2 Loading Setup and Arrangement of Measurement System

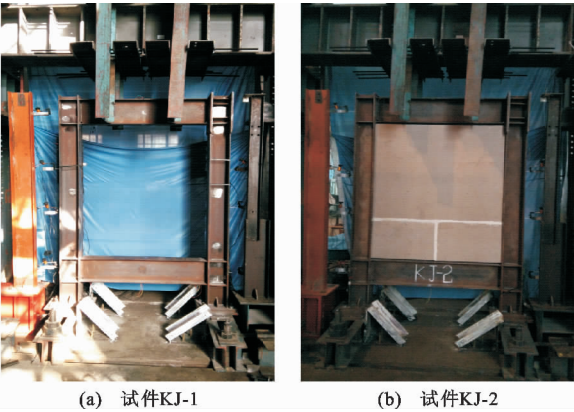


图 3 试验现场照片

Fig. 3 Photos of Test Site

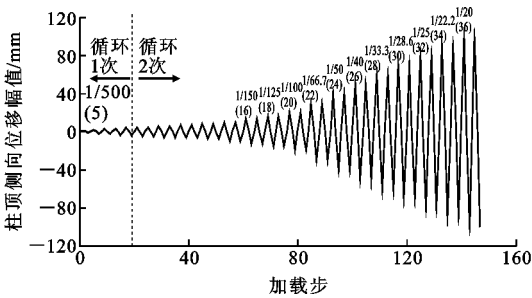


图 4 位移加载制度

Fig. 4 Displacement Loading System

0~1/100 rad 范围内时,试件 KJ-1 的刚度近似为一条直线,试件 KJ-1 处于弹性阶段,刚度无太大变化。当位移角达到 1/100 rad 之后,试件 KJ-1 进入非弹性阶段,刚度曲线出现明显的下降段。随着位移角的逐步增加,试件 KJ-1 的刚度也逐渐降低。当位移角达到 1/33.3 rad 之后,试件 KJ-1 的刚度退化速率逐渐减小。与初始刚度相比,当位移角为 1/33.3

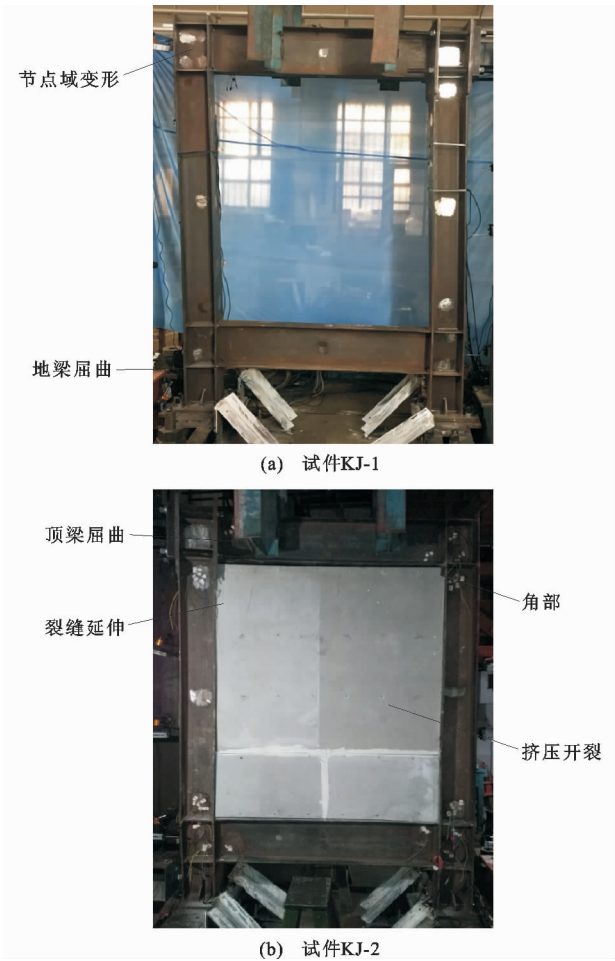


图 5 试件破坏形态

Fig. 5 Damage Patterns of Specimens

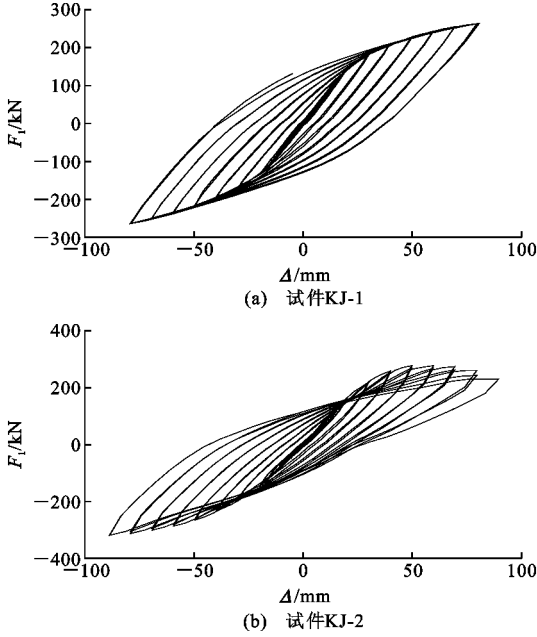


图 6 各试件的滞回曲线

Fig. 6 Hysteretic Curves of Specimens

rad 时,试件 KJ-1 的刚度下降了 43 %;试验加载结

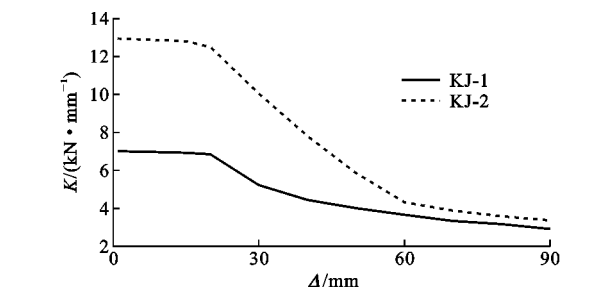


图 7 各试件的割线刚度退化曲线

Fig. 7 Secant Stiffness Degradation Curves of Specimens

表 2 各阶段试件的割线刚度

| 试件编号 | KJ-1 | KJ-2 |
|--|-------|--------|
| $K_0/(\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1})$ | 7.008 | 12.950 |
| $K_y/(\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1})$ | 5.52 | 9.95 |
| $K_u/(\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1})$ | 2.907 | 3.120 |
| η_1 | 1.00 | 1.85 |

注: K_0 、 K_y 、 K_u 分别为初始刚度、屈服荷载对应的刚度和极限荷载对应的割线刚度; η_1 为带 CCA 板填充墙钢框架的初始刚度与纯钢框架初始刚度的比值。

束时,试件 KJ-1 的刚度下降了约 57%。

由图 7 中 KJ-2 刚度退化曲线可知:当位移角在 $0 \sim 1/150 \text{ rad}$ 范围内时,试件 KJ-2 的刚度近似为一条直线。当位移角达到 $1/125 \text{ rad}$ 时,试件 KJ-2 的刚度退化曲线出现明显下降段。随着位移角的逐步增加,试件 KJ-2 的刚度逐渐降低。在位移角达到 $1/33.3 \text{ rad}$ 之前,CCA 板填充墙、钢框架共同提供整体结构的刚度。当位移角达到 $1/33.3 \text{ rad}$ 之后,试件 KJ-2 的刚度退化速率逐渐减小,整体结构的刚度主要由钢框架提供。与初始刚度相比,位移角为 $1/33.3 \text{ rad}$ 时,试件 KJ-2 的刚度下降了约 65%;试验加载结束时,试件 KJ-2 的刚度下降了约 76%。

由表 2 和图 7 可知:试件 KJ-2 的初始刚度是 KJ-1 的 1.85 倍,表明 CCA 板填充墙对钢框架结构的初始刚度有提高作用。当位移角达到某一限值时,CCA 板填充墙的损坏会引起试件 KJ-2 的刚度发生突变,并且在同级荷载循环中,试件 KJ-2 的刚度退化速率大于 KJ-1。当位移角达到 $1/33.3 \text{ rad}$ 之后,2 榀试件的刚度退化速率基本一致并且具有相近的刚度。

3.4 耗能能力

参照《建筑抗震试验规程》(JGJ/T 101—2015)^[20],根据试件在各级加载第 1 次循环的滞回曲线计算试件的等效黏滞阻尼系数。采用等效黏滞阻尼系数衡量框架结构耗能能力的高低,等效黏滞

阻尼系数越大,说明结构在侧向荷载作用下耗能能力越强。各级荷载第 1 次循环对应的等效黏滞阻尼系数见表 3。各试件等效黏滞阻尼系数对比如图 8 所示。

表 3 各级荷载第 1 次循环对应的等效黏滞阻尼系数

| 试件编号 | 不同位移 $\delta(\text{mm})$ 下的等效黏滞阻尼系数 | | | | | | | | |
|------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| KJ-1 | 0.21 | 0.44 | 0.64 | 0.95 | 1.31 | 1.46 | 1.56 | 1.61 | 1.72 |
| KJ-2 | 0.57 | 0.99 | 1.28 | 1.41 | 1.48 | 1.57 | 1.62 | 1.71 | 1.82 |

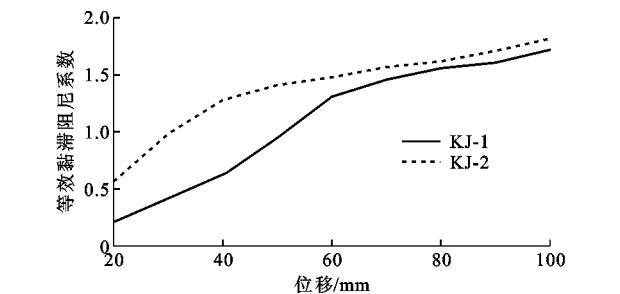


图 8 各试件等效黏滞阻尼系数对比

Fig. 8 Comparison of Equivalent Viscous Damping Coefficients of Specimens

由表 3 和图 8 可知:随着位移角的逐渐增大,各试件的等效黏滞阻尼系数也逐渐增大。当位移角在 $1/100 \sim 1/33.3 \text{ rad}$ 范围内时,与试件 KJ-1 相比,由于 CCA 板填充墙参与了钢框架结构的滞回耗能,试件 KJ-2 等效黏滞阻尼系数增长幅度较大。当位移角为 $1/66.7 \text{ rad}$ 时,试件 KJ-2 的等效黏滞阻尼系数大约是 KJ-1 的 2 倍。随着位移角的增大,由于 CCA 板填充墙的局部破坏,试件 KJ-2 的等效黏滞阻尼系数增长速率逐渐减小。在位移角达到 $1/33.3 \text{ rad}$ 之后,2 榀试件的等效黏滞阻尼系数逐渐接近。试验数据表明,当位移角在 $1/100 \sim 1/33.3 \text{ rad}$ 范围内时,CCA 板填充墙参与钢框架结构的滞回耗能,对钢框架结构的耗能能力具有提高作用。

4 有限元结果与分析

4.1 有限元模型建立

为了深入研究内嵌式 CCA 板填充墙对钢框架结构受力性能的影响,利用有限元软件 ABAQUS 建立了带 CCA 板填充墙钢框架的数值模型。

框架梁、柱、加劲肋、CCA 板均采用 C3D8R 实体单元,龙骨采用 S4R 壳单元。C3D8R 实体单元是细网格划分的线性减缩积分单元,对大应变积分模型计算速度快,分析结果准确。S4R 壳单元是线性

有限薄膜应变四边形单元,属于一般壳单元,在大变形分析中单元局部材料轴随材料各积分点上的平均运动而转动。采用“TIE”模拟框架柱与龙骨、龙骨与 CCA 板的连接,使各连接处 X,Y,Z 方向平动耦合,不限制转动。约束耦合柱翼缘和顶梁所有节点沿 Y 方向的自由度,并在耦合点施加低周往复荷载。有限元模拟采用与试验相同的加载制度。对柱底施加所有方向的自由度约束,为限制墙体的平面外失稳,约束框架 X 向位移。纯框架和带 CCA 板填充墙钢框架的有限元模型如图 9,10 所示。

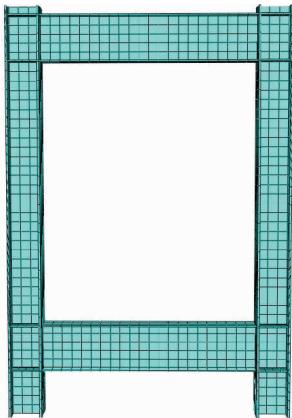


图 9 钢框架的有限元模型

Fig. 9 Finite Element Model of Steel Frame

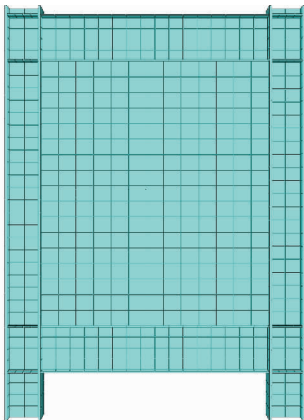


图 10 带 CCA 板填充墙钢框架的有限元模型
Fig. 10 Finite Element Model of Steel Frame
Infilled with CCA Plate

4.2 对比分析结果

4.2.1 骨架曲线

图 11 为 2 榀试件骨架曲线的有限元模拟与试验结果对比。由图 11 可知,2 榀试件骨架曲线的有限元模拟与试验结果基本吻合,但存在微小的差别。有限元模拟结果与试验结果存在微小差别的主要原因是有限元模拟中框架柱脚的约束条件与试验中框

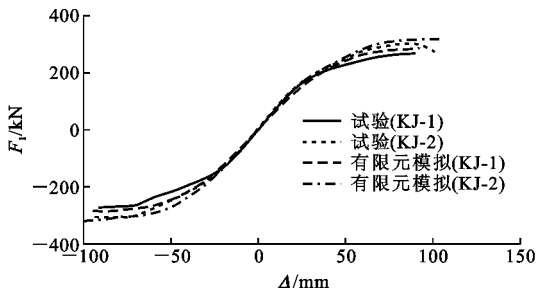


图 11 试验与有限元模拟的骨架曲线对比

Fig. 11 Comparison of Skeleton Curves Between
Experimental and Finite Element Simulation Results

架柱脚的约束条件存在一定的差异,而且有限元模拟中没有考虑钢框架结构的平面外位移。

4.2.2 滞回曲线

图 12,13 分别为 2 榀试件滞回曲线的有限元模拟和试验结果对比。由图 12,13 可知,2 榀试件滞回曲线有限元模拟和试验结果基本吻合。本文所建立的带 CCA 板填充墙钢框架模型能够准确有效地模拟带 CCA 板填充墙钢框架的受力性能。

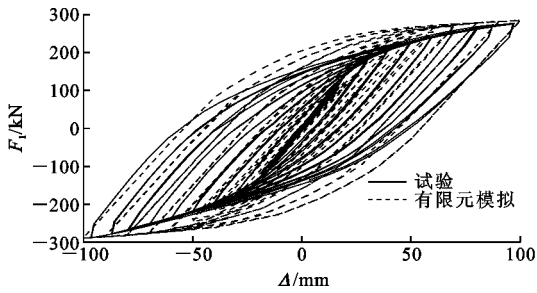


图 12 纯框架的滞回曲线

Fig. 12 Hysteretic Curves of Bare Frames

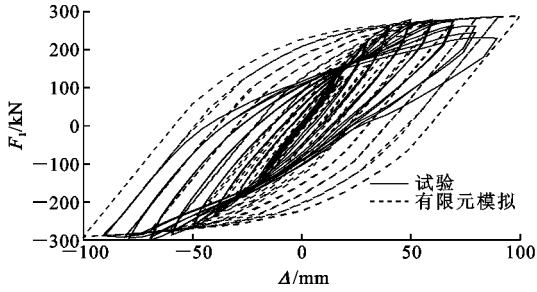


图 13 带 CCA 板填充墙钢框架的滞回曲线
Fig. 13 Hysteretic Curves of Steel Frames
Infilled with CCA Plate

由 2 榀试件滞回曲线有限元模拟和试验结果的对比分析可以得出,带 CCA 板填充墙钢框架在循环荷载作用下的滞回曲线呈梭形,表明带 CCA 板填充墙钢框架的滞回性能较好。与纯框架的滞回曲线相比,带 CCA 板填充墙钢框架的滞回曲线更加饱满,表明 CCA 板填充墙参与了钢框架结构的滞

回耗能,对带 CCA 板填充墙钢框架的耗能能力具有提高作用。在位移角相同的情况下,带 CCA 板填充墙钢框架比纯框架能够承受更大的荷载,表明 CCA 板填充墙对钢框架结构的承载能力具有提高作用。

4.2.3 刚度退化

图 14 为 2 榀试件刚度退化曲线的有限元模拟和试验结果对比。

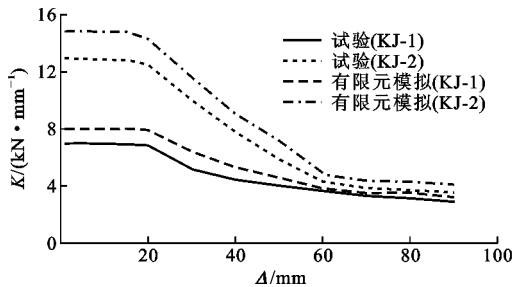


图 14 试验与有限元模拟的刚度退化对比曲线

Fig. 14 Comparison of Stiffness Degradation Curves Between Experimental and Finite Element Simulation Results

由图 14 可知,有限元模拟的试件刚度退化趋势与试验结果基本一致,但是有限元模拟所得的钢框架结构初始刚度较大,这是由于有限元模型的建立未考虑 CCA 板填充墙与钢框架之间存在的初始间隙,假定其为密实连接。这种处理方法在一定程度上提高了带 CCA 板填充墙钢框架的初始刚度。当带 CCA 板填充墙钢框架在侧向荷载作用下的位移角达到一定数值后,CCA 板填充墙与钢框架之间的初始间隙就会闭合,两者成为一个整体共同提供整体结构的刚度,此时有限元模拟的刚度退化曲线和试验结果基本吻合。

由 2 榀试件刚度退化曲线有限元模拟和试验结果的对比分析可以得出,带 CCA 板填充墙钢框架的初始刚度大于纯框架,表明 CCA 板填充墙对钢框架结构的初始刚度具有提高作用。当位移角处于 $1/100 \sim 1/33.3$ rad 时,由于 CCA 板填充墙的开裂及局部破坏,带 CCA 板填充墙钢框架的刚度退化速率大于纯框架。随着位移角的逐渐增加,带 CCA 板填充墙钢框架和纯框架的刚度退化速率基本一致,并且具有相近的刚度。

5 结 语

(1)在低周往复荷载作用下,CCA 板填充墙提高了钢框架结构的承载能力、抗侧刚度。

(2)CCA 板填充墙参与了钢框架结构的滞回耗能,带 CCA 板填充墙钢框架的累积耗能能力明显

优于纯框架。

(3)与纯框架相比,带 CCA 板填充墙钢框架的初始刚度有所提高。当位移角达到某一限值时,CCA 板填充墙的损坏会引起钢框架结构的刚度发生突变,钢框架结构非弹性设计不应考虑 CCA 板填充墙对钢框架结构刚度的提高作用。

参考文献:

References:

- [1] 魏文晖,徐沛韬,高湛,等. 框架-嵌入式墙体结构抗震性能试验研究与有限元分析[J]. 建筑结构学报, 2017, 38(5): 92-99.
WEI Wen-hui, XU Pei-tao, GAO Zhan, et al. Experimental and Analytical Study on Seismic Performance of Frame-embedded Walls [J]. Journal of Building Structures, 2017, 38(5): 92-99.
- [2] 夏军武,徐博,张海威,等. 带填充墙的悬臂梁拼接钢框架抗震性能研究[J]. 建筑结构学报, 2016, 37(11): 113-120.
XIA Jun-wu, XU Bo, ZHANG Hai-wei, et al. Study on Seismic Behavior of Infilled-steel Frame with Cantilever Beam Bolted-splicing [J]. Journal of Building Structures, 2016, 37(11): 113-120.
- [3] 郭兰慧,戎芹,马欣伯,等. 两边连接钢板-混凝土组合剪力墙抗震性能试验研究及有限元分析[J]. 建筑结构学报, 2012, 33(6): 59-68.
GUO Lan-hui, RONG Qin, MA Xin-bo, et al. Experimental and Analytical Study of Composite Steel Plate Shear Walls Connected to Frame Beams Only [J]. Journal of Building Structures, 2012, 33(6): 59-68.
- [4] 周云,童博,陈章彦,等. 阻尼填充墙加固震损框架抗震性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2018, 51(1): 68-75.
ZHOU Yun, TONG Bo, CHEN Zhang-yan, et al. Experimental Study on Seismic Performance of Damaged Frame Reinforced by Damped Infill Wall [J]. China Civil Engineering Journal, 2018, 51(1): 68-75.
- [5] 王锐,伍凯,张贺,等. 填充墙对 SRC-RC 竖向混合框架结构抗震性能的影响[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2016, 32(1): 10-16.
WANG Rui, WU Kai, ZHANG He, et al. Effects of Infill Walls on Seismic Behaviors of the SRC-RC Vertical Hybrid Frame Structure [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2016, 32(1): 10-16.
- [6] 李建辉,薛彦涛,肖从真,等. 足尺蒸压加气混凝土砌块填充墙 RC 框架抗震性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2015, 48(8): 12-18.

- LI Jian-hui, XUE Yan-tao, XIAO Cong-zhen, et al. Experimental Study on Seismic Performance of Full-scale RC Frame Infilled with Autoclaved Aerated Concrete Blocks[J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(8): 12-18.
- [7] RAO D V P, SULOCHANA G. Modelling of an Infill Wall for the Analysis of a Building Frame Subjected to Lateral Force[J]. International Journal of Civil Engineering and Technology, 2016, 7(1): 180-187.
- [8] KANG S M. Cyclic Loading Test for Emulative Precast Concrete Walls with Partially Reduced Rebar Section[J]. Engineering Structures, 2013, 56(7): 1645-1657.
- [9] SMITH B J. Behavior of Precast Concrete Shear Walls for Seismic Regions: Comparison of Hybrid and Emulative Specimens[J]. Journal of Structural Engineering, 2013, 139(11): 1917-1927.
- [10] 吴守君, 潘 鹏. 摇摆填充墙-框架结构抗震性能研究[J]. 建筑结构学报, 2015, 36(10): 81-87.
- WU Shou-jun, PAN Peng. Seismic Performance Evaluation of Rocking Infilled Wall-frame Structure[J]. Journal of Building Structures, 2015, 36(10): 81-87.
- [11] 李元齐, 洪 驰, 秦雅菲. 蒸压纤维水泥板覆面轻钢龙骨式复合墙体抗剪性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2015, 36(9): 151-157.
- LI Yuan-qi, HONG Chi, QIN Ya-fei. Experimental Study on Shear Performance of CCA-sheathed Light-gauge Steel Framing Walls[J]. Journal of Building Structures, 2015, 36(9): 151-157.
- [12] KERNICKY T P, WHELAN M J, WEGGEL D C, et al. Structural Identification and Damage Characterization of a Masonry Infill Wall in a Full-scale Building Subjected to Internal Blast Load[J]. Journal of Structural Engineering, 2015, 141(1): D4014013.
- [13] SRITHARAN S, AALETI S, HENRY R S, et al. Precast Concrete Wall with End Columns (PreWEC) for Earthquake Resistant Design[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2015, 44(12): 2075-2092.
- [14] 曹正罡, 杜 鹏, 房 明, 等. 轻质填充墙装配式钢框架抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2015, 36(8): 9-15.
- CAO Zheng-gang, DU Peng, FANG Ming, et al. Experimental Research on Seismic Performance of Fabricated Frames with Lightweight Infill Walls[J]. Journal of Building Structures, 2015, 36(8): 9-15.
- [15] 李国强, 王 城. 外挂式和内嵌式 ALC 墙板钢框架结构的滞回性能试验研究[J]. 钢结构, 2005, 20(1): 52-56.
- LI Guo-qiang, WANG Cheng. The Hysteretic Behavior of Steel Frames with ALC Out-hung and In-filled Walls[J]. Steel Construction, 2005, 20(1): 52-56.
- [16] 贾连光, 杜 月, 王春刚. 填充墙对轻型钢框架结构抗震性能的影响[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2012, 28(3): 449-459.
- JIA Lian-guang, DU Yue, WANG Chun-gang. Influence of Filled Wall on Seismic Performance of Light Steel Frame Structure[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2012, 28(3): 449-459.
- [17] 赵 欣, 李国强. 轻质砌块填充墙对钢框架地震反应影响分析[J]. 地震工程与工程振动, 2006, 26(3): 159-161.
- ZHAO Xin, LI Guo-qiang. Analysis of Influences of Lightweight Infilled Walls on Seismic Responses of Steel Frames[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2006, 26(3): 159-161.
- [18] 赵晓艳, 田稳苓, 周明杰, 等. EPS 轻集料混凝土配合比及性能试验研究[J]. 混凝土, 2009(2): 59-62.
- ZHAO Xiao-yan, TIAN Wen-ling, ZHOU Ming-jie, et al. Experimental Study on Mixture Ratio and Performance of EPS Lightweight Concrete[J]. Concrete, 2009(2): 59-62.
- [19] JGJ 99—2015, 高层民用建筑钢结构技术规程[S]. JGJ 99—2015, Technical Specification for Steel Structure of Tall Building[S].
- [20] JGJ/T 101—2015, 建筑抗震试验规程[S]. JGJ/T 101—2015, Specification for Seismic Test of Buildings[S].