

内嵌 ALC 墙板-钢框架体系的滞回及抗裂性能研究

钟宜宏¹, 陈杰^{2,3}, 鲁军凯^{1*}, 孙伟^{2,3}, 刘发起^{4,5}, 许航^{2,3}

(1. 东北林业大学 土木与交通学院, 哈尔滨 150040; 2. 中建科工集团有限公司, 广东 深圳 518054;
3. 中建科工集团绿色科技有限公司, 广东 深圳 518132; 4. 哈尔滨工业大学 结构工程灾变与控制
教育部重点实验室, 哈尔滨 150090; 5. 哈尔滨工业大学 土木工程智能防灾减灾工业和
信息化部重点实验室, 哈尔滨 150090)

摘要: ALC 墙板已成为装配式建筑结构中一种常用的墙体形式,但在正常使用中经常出现墙体开裂,对建筑的美观和耐久性产生了不利影响。为研究内嵌 ALC 墙板抗裂性能及其对钢框架受力性能的影响,本文设计两榀足尺单层单跨刚接钢框架-内嵌 ALC 墙板试件并进行拟静力试验,墙体与钢框架分别使用内置锚连接和管卡连接两种方式,同时变化不同墙体饰面做法,经过实测得到试件的滞回曲线、骨架曲线、刚度退化曲线并观察试验现象。试验结果表明,两个试件的滞回曲线都是比较饱满的滞回环,内置锚试件的承载力略高于管卡试件的承载力,两种试件都具有良好的协同工作能力。综合考虑承载力和刚度,内置锚试件的抗侧性能优于管卡试件。采用改性双组分 MS 胶作为 ALC 墙板和钢框架连接材料,比采用聚氨酯发泡作为连接材料墙体开裂更晚,说明 MS 胶具有良好的变形能力,有助于提高墙体的抗裂性能。

关键词: 钢框架-ALC 墙板体系; 刚接钢框架; 拟静力试验; 滞回性能; 抗裂性能

中图分类号: TU391

文献标志码: A

文章编号: 1671-9379(2025)05-0040-08

DOI: 10.13969/j.jzgjgz.20231208001

Study on Hysteretic Performance and Crack Resistance of Embedded ALC Wall Panel-Steel Frame System

ZHONG Yihong¹, CHEN Jie^{2,3}, LU Junkai^{1*}, SUN Wei^{2,3}, LIU Faqi^{4,5}, XU Hang^{2,3}

(1. School of Civil Engineering and Transportation, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. China Construction Science and Industry Corporation Ltd., Shenzhen 518054, China; 3. China Construction Science and Industry Group Green Technology Corporation Ltd., Shenzhen 518132, China; 4. Key Lab of Structures Dynamic Behavior and Control of the Ministry of Education, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 5. Key Lab of Smart Prevention and Mitigation of Disasters in Civil Engineering, Ministry of Industry and Information Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

*Corresponding author: lujunkai@nefu.edu.cn

Abstract: Autoclaved Lightweight Concrete (ALC) walls have become a commonly used wall form in prefabricated building structures, but wall cracking, which often occurs during normal use, adversely affects the aesthetics and durability of the building. In order to study the cracking resistance of embedded ALC wall panels and their effect on the stress

收稿日期: 2023-12-08

基金项目: 国家自然科学基金(51908108)

作者简介:

钟宜宏(1996—),男,硕士研究生,主要从事组合结构方面的研究。E-mail: 17865913480@163.com。

陈杰(1987—),男,博士,高级工程师,主要从事装配式钢结构建筑与智能建造方面的研究。

通信作者:

鲁军凯(1985—),男,博士,副教授,主要从事结构消能减震方面的研究。E-mail: lujunkai@nefu.edu.cn

performance of steel frames, this paper designs and completes the quasi-static full-scale tests of two single-story single-span rigidly-jointed steel frame specimens with embedded ALC walls which are connected to the steel frames with in-built anchors and pipe clips, respectively. Varying different wall finishes, the hysteresis curves, skeleton curves, stiffness degradation curves of the specimens are obtained from the actual measurements and the key experimental phenomena are observed. The test results show that the hysteretic curves of the two specimens are full hysteresis loops, the bearing capacity of the built-in anchor specimen is slightly higher than that of the pipe clip specimen, and the specimens have a good ability to work together. Considering the load capacity and stiffness, the lateral resistance of the built-in anchor specimen is better than that of the pipe clip specimen. The use of modified two-component MS adhesive as the connection material between ALC wall panels and steel frames results in later cracking compared to the use of polyurethane foam connection, which indicates that MS adhesive has a good deformation capacity, which helps to improve the cracking resistance of the wall.

Keywords: steel frame-ALC wall panel system; steel frame with rigid connection; quasi-static test; hysteretic behavior; crack resistance

ALC(Autoclaved Lightweight Concrete)板是以粉煤灰、水泥、石灰等为主原料,经过高压蒸汽养护而成的多气孔混凝土板材,其既可做墙体材料,又可做屋面板,是一种性能优越的新型建材^[1]。因其具有轻质高强度、隔音性、耐火性、耐久性、抗冻性、抗渗性好等优点在装配式建筑中使用广泛。从上世纪开始,国内外对填充墙-框架体系开展了大量的理论与试验研究,而墙板-钢框架体系的研究相对较少。随着装配式钢结构住宅越来越广泛,墙板-钢框架体系的研究显得越来越重要。刘玉姝和李国强^[2]进行了7榀钢框架及带加气混凝土砌块墙的钢框架结构的水平静力及低周反复加载试验。试验发现,填充墙体和钢框架之间的连接性能很好,墙体和框架可以共同工作。霍凯成、谷倩等^[3]完成了一榀钢框架模型和一榀空腔砌块复合墙体钢框架模型在低周往复荷载作用下的抗侧力试验。分析表明,钢框架结构抗侧刚度较低,空腔砌块复合墙体能显著的提高钢框架的抗侧刚度。房明^[4]及陈鸷坤^[5]对钢框架-ALC墙板进行拟静力试验和数值模拟。得出结论:钢框架和内嵌 ALC 墙板钢框架均具有较好的延性且内嵌 ALC 墙板对于钢框架具有更好的抗震性能。王波等^[6]通过试验研究了不同连接件对 ALC 墙板钢管混凝土框架结构抗震性能的影响。试验研究表明,连接件能够有效保证轻质墙体与钢管混凝土框架在地震作用下能协同工作和共同受力。杨翼等^[7]设计了1榀 U 形卡连接的内嵌 ALC 墙板铰接钢框架和3榀管卡连接的内嵌 ALC 墙板铰接钢框架。试验结果表明,在循环荷载作用下,管卡连接的墙板滞回性能优于 U 形卡连接。黄瑞桦等^[8]及邓青等^[9]分别对足尺双层钢框架-内嵌 ALC 板试件及外挂 ALC 板试件进行了低周往复加载试验,结果表明采用滑动螺栓试件的刚度比钩头螺栓试件和内置锚试件的刚度更大。王明清等^[10]对 U 型卡进行柔性改进设计,提出一种新型连接件进行模拟分析,研究表明合理的连接件设计能够提高结构的水平

承载力和刚度。周婷等^[11]对4榀钢框架-ALC墙板进行静力荷载作用下的试验,结果表明钩头螺栓的刚度远大于 U 型钢卡,且对 ALC 板与钢梁钢柱接缝处的裂缝有很好的抑制作用。ZHANG 等^[12]提出了一种新型的 ALC 连接件。对3个带有 ALC 板和连接件的足尺钢框架试件进行水平循环加载。试验结果表明,采用新连接件的试件框架的耗能能力分别增加了 23.0% 和 24.4%,刚度分别增加了 10.6% 和 13.0%。黍野和彦等^[13]对采用摇摆节点连接的 ALC 墙板框架结构进行了循环荷载试验研究,结果表明:结构层间位移角达到正常使用极限状态时,墙板未出现损坏,摇摆连接节点具有良好的变形适应性。FANG 等^[14]及松岡祐一等^[15]对带 ALC 墙板的足尺钢框架模型进行了振动台试验研究。结果表明 ALC 墙板具有良好的抗震耗能能力。CAO 等^[16]对有、无 ALC 板的2个缩尺装配式钢框架试件进行了的低周反复荷载试验。结果表明,与纯框架相比,蒸压加气混凝土板可以延缓结构的破坏,提高结构的初始刚度、峰值荷载和耗能能力。WANG 等^[17]及 LI 等^[18]开展了纯框架试件和带 ALC 板或砌块墙的方钢管混凝土框架及钢框架试件在竖向轴力和水平低周往复荷载作用下的对比试验研究。结果表明 ALC 墙板方钢管混凝土框架表现出良好的延性和滞回耗能能力,内嵌墙板的钢框架比空心框架具有更好的延性和耗能能力。

综上国内外研究发现,通过多年的研究,对于砌体填充墙-框架体系的研究已经有较为成熟的研究成果,砌体填充墙对于框架结构体系的刚度、承载力和滞回耗能能力有一定的提高,这对于钢框架-ALC 墙板体系的研究具有借鉴意义^[19]。目前对于钢框架-ALC 墙板体系的研究相对较少,尤其是水平荷载作用下 ALC 墙体抗裂性能的研究非常少,因此本文主要开展钢框架-内嵌 ALC 墙体抗裂与滞回性能的研究。

1 试验概况

1.1 试验目的

ALC墙板在日常使用中常出现开裂问题,不仅影响建筑的美观、耐久性和使用功能,还将对结构体系的稳定性和承载能力造成不利影响^[20],研究ALC墙板裂缝出现和发展规律可以改善裂缝的影响。设计两榀足尺单层单跨刚接钢框架-内嵌ALC墙体进行低周往复试验,ALC墙板采用内嵌形式,两组试件分别使用内置锚连接和管卡连接方式,以及不同装饰饰面做法,以研究体系在低周往复荷载作用下的滞回性能和抗裂性能。

1.2 试件设计

为研究ALC墙板的滞回性能和抗裂性能,共设计两榀足尺单层单跨钢框架进行低周往复实验,具体的试件模型情况如表1。

表1 内嵌ALC墙板参数

Table 1 Parameters of embedded ALC wall panel

试件编号	连接方式	墙板尺寸/mm	嵌缝材料
试件1	内置锚	2760×600×150	MS密封胶+砂浆
试件2	管卡	2760×600×150	MS密封胶+砂浆

钢框架-内嵌ALC墙板试件钢框架示意图如图1所示,试件剖面如图2所示。两榀钢框架-内嵌ALC墙板采用两种连接方式,分别为内置锚连接和管卡连接,连接构造示意图如图4,管卡连接方式在每块板距板端80 mm设一个管卡连接件,两面点焊,各三点与钢梁连接;内置锚连接件S板与角钢焊在一起,螺栓穿过S板,另一端将内置锚拧在螺栓上。内嵌ALC墙板高度为2760 mm,宽度为600 mm,厚度为150 mm,每个试件布置5块ALC墙板,两种连接方式完成墙板装配、装饰面的钢框架-内嵌ALC墙板试件如图3所示。ALC板与钢柱和顶部钢梁间采用钟华MS密封胶柔性连接,与底部钢梁采用细石

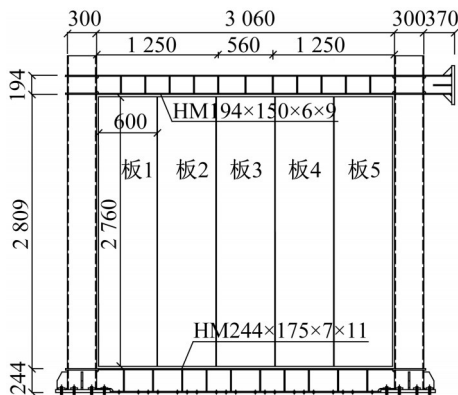


图1 试件示意图(单位:mm)

Fig. 1 Specimen diagram (unit: mm)

混凝土水泥砂浆填充,并通过在底梁上焊接短钢筋加强水泥砂浆与钢梁的粘结。装饰面具体做法:装饰做法一:嵌缝剂勾缝+抗裂纸带+网格布+弹性腻子+倍耐克弹性涂料;装饰做法二:嵌缝剂勾缝+抗裂纸带+网格布+弹性腻子+普通涂料;装饰做法三:嵌缝剂勾缝+抗裂纸带+网格布+普通腻子+倍耐克弹性涂料;装饰做法四:嵌缝剂勾缝+抗裂纸带+网格布+普通腻子+普通涂料。具体饰面面层分布如图3所示。

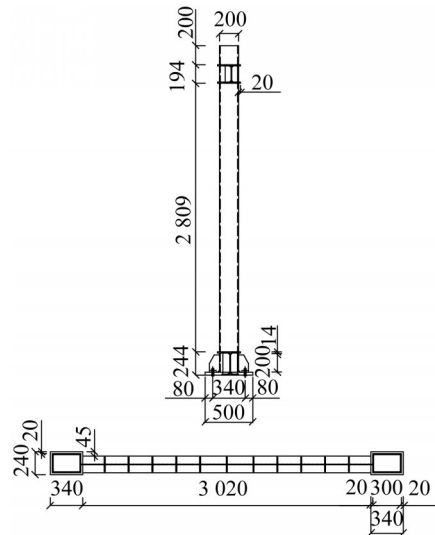


图2 试件剖面图(单位:mm)

Fig. 2 Specimen section (unit: mm)

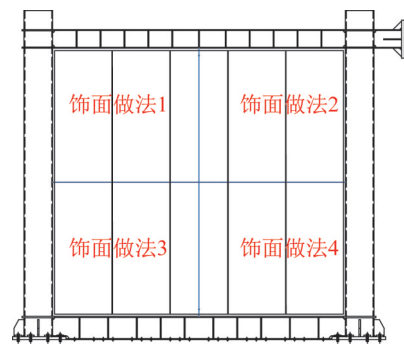


图3 墙板布置示意图(单位:mm)

Fig. 3 Schematic diagram of wall panel layout (unit: mm)

1.3 加载方式

本试验在哈尔滨工业大学结构实验室动力厅进行,采用244.51S型号100 t MTS作动器进行低周往复荷载加载,加载方式如图5所示,试件整体如图6所示。由于结构的屈服承载力难以确定,加载通过层间位移角控制,在一层顶端施加水平位移,初始层间位移角为1/3000,随后按照层间位移角1/2000、1/1500、1/1200、1/1000、1/750、1/600、1/500、1/400、1/300、1/250、1/200、1/150、1/100、1/75、1/60、1/50每级往复一次^[8,9,19],以ALC墙

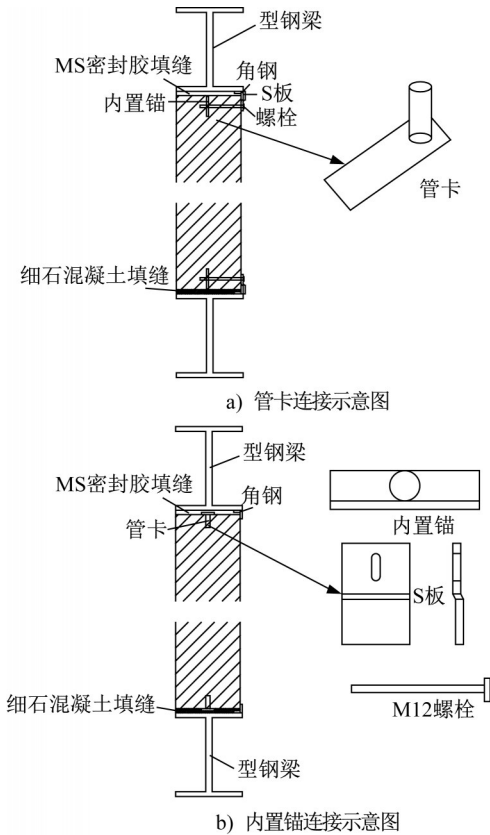


图4 墙板连接构造详图

Fig. 4 Detailed drawing of wall panel connection

板连接处破坏或有脱落风险为结束标准,停止加载。在加载前期加载层间位移角间隔较密,以更好地观察饰面开裂时对应层间位移角,每级荷载往复一次。加载制度如图7所示。

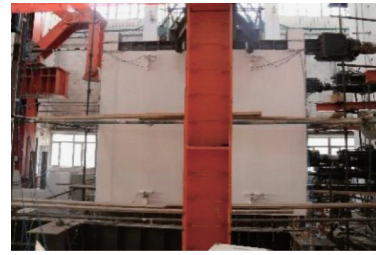


图6 试件整体

Fig. 6 Overall specimen

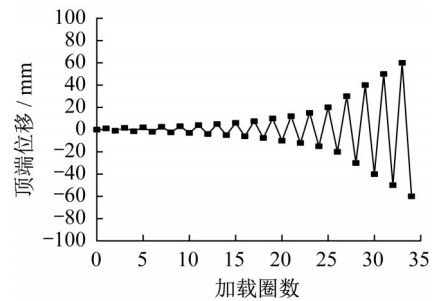


图7 加载制度

Fig. 7 Loading system

板5中上部与柱连接处密封胶分离,如图8c);在层间位移角达到1/300时,背面板1底部连接件处出现横向裂缝且板角处出现裂缝,如图8d);在达到弹性层间位移角限值1/250前,裂缝主要出现在墙板与框架接缝位置,并不断发展,部分位置饰面层脱落,墙板连接件处出现裂缝并不断发展,连接件孔洞扩大,墙板间拼缝处未出现裂缝;在层间位移角达到1/150时,板5底部裂缝前后贯通,如图8e)。

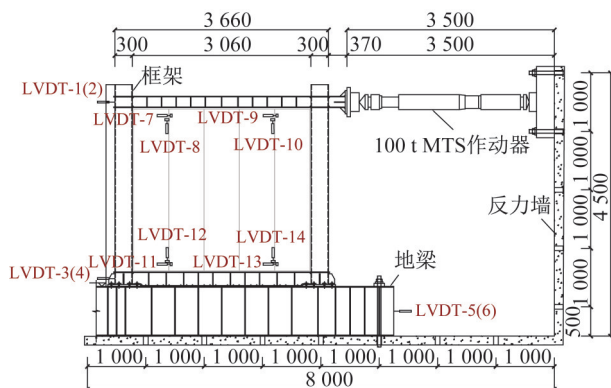


图5 试件加载示意图(单位:mm)

Fig. 5 Schematic diagram of specimen loading (unit:mm)

2 试验现象

2.1 内置锚连接方式试件试验现象

在层间位移角达到1/2 000时,板3到板5底部饰面层出现裂缝,如图8b);在层间位移角达到1/750时,背面

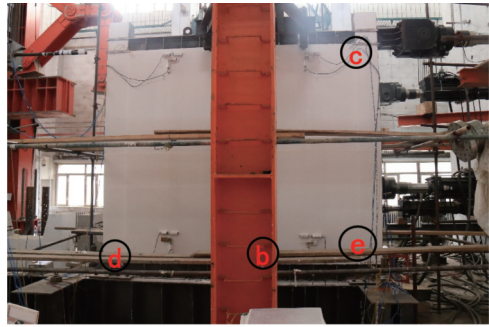
2.2 管卡连接方式试件试验现象

在层间位移角达到1/1 500时,板1左上角饰面出现裂缝(2条),如图9b);在层间位移角达到1/500时,背面板5顶部板与密封胶分离,如图9c);在层间位移角达到1/400时,背面板1右上角板角开裂,如图9d);在层间位移角为1/300时,板1底部裂缝与背面前后贯通,如图9e)。在达到弹性层间位移角限值1/250前,裂缝主要出现在墙板与框架接缝处,并不断发展,部分位置饰面层脱落,墙板间拼缝未出现裂缝。

3 试验结果分析

3.1 滞回曲线

两榀内嵌 ALC 墙板-钢框架体系试验全过程的滞回曲线如图10所示,可以看出试件的滞回曲线中间捏拢,呈“弓形”,是比较饱满的滞回环。管卡连接的试件在层间位移角1/75以内钢框架主要处于弹性阶段,顶端水平位移在40 mm前,荷载和位移基本成线性关系,



a) 内置锚试件整体



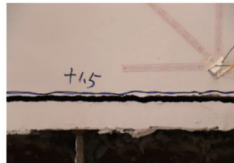
b) 板3到板5底部饰面层出现裂缝



c) 背面板5中上部与柱连接处密封胶分离



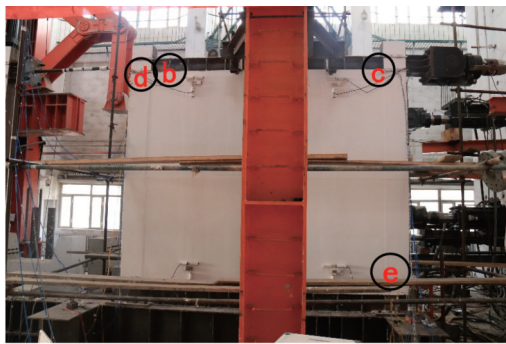
d) 背面板1底部连接件处出现裂缝且板角出现裂缝



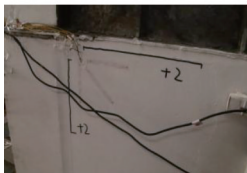
e) 板5底部裂缝前后贯通露出网络布

图8 内置锚试件试验现象

Fig. 8 Test phenomenon of built-in anchor specimen



a) 管卡试件整体



b) 板1左上角饰面出现裂缝(2条)



c) 背面板5顶部板与密封胶分离



d) 背面板1右上角板角开裂



e) 板1底部裂缝与背面前后贯通露出网络布

图9 管卡试件试验现象

Fig. 9 Test phenomenon of pipe clip specimen

钢框架主要处于弹性阶段,在40 mm荷载级后,刚度有明显的减小。内置锚连接的试件在顶端水平位移30 mm前,荷载和位移基本成线性关系,在40 mm荷载级后,刚度有明显减小。这是由于钢框架抗侧刚度较大,ALC墙板主要通过连接件与钢框架相互作用,该处受力较大,且ALC墙板作为隔墙其本身强度较低,在位移达到一定程度墙板连接处即发生破坏,墙板有脱落的风险,立即停止加载。由于钢框架参与受力,滞回曲线更饱满,刚度更大。

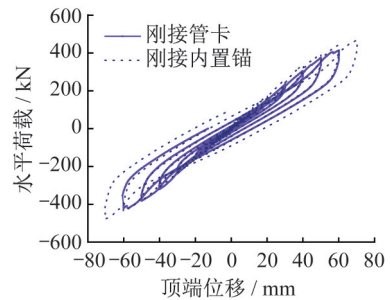


图10 试件滞回曲线

Fig. 10 Hysteretic curves of specimens

3.2 骨架曲线

两幅试件的骨架曲线对比如图11所示。试件的承载力在加载初期均随位移幅值增大而线性增加,随着位移幅值增加,骨架曲线的斜率开始逐渐减小。相比于管卡试件,内置锚试件在相同位移幅值下的承载力略高。

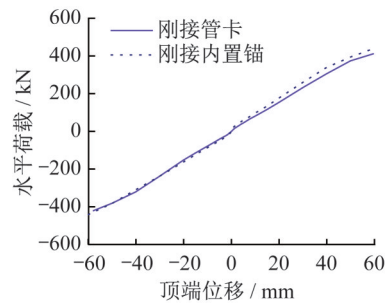


图11 试件骨架曲线

Fig. 11 Skeleton curves of specimens

3.3 刚度退化曲线

两幅试件的刚度退化曲线对比如图12所示,内置锚试件的初始刚度较高,比管卡试件的初始刚度高78.94%,随着水平位移增大,内置锚试件刚度先快速下降,在层间位移角1/75后,内置锚试件的刚度与管卡试件的刚度近似重合,随后两个试件刚度趋于平稳;在刚度平稳阶段,内置锚试件的刚度略大于管卡试件。

综合刚度和承载力,两种不同连接方式试件的滞回性能对比结果为:内置锚试件优于管卡试件。

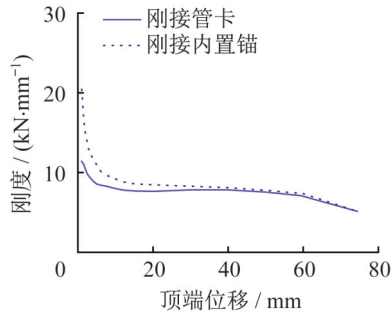


图 12 试件刚度退化曲线

Fig. 12 Stiffness degradation curves of specimens

3.4 抗裂性能对比

根据课题组开展的《水平荷载作用下钢框架中内嵌 ALC 墙板抗裂性能试验研究》^[8],将铰接管卡试件与刚接管卡试件抗裂性能进行对比,包括试验过程中发生的墙

体饰面开裂、ALC 墙板开裂、墙体与框架连接处密封胶开裂、墙板拼缝开裂、墙板裂缝沿板厚方向贯穿等这些关键现象,结果如表 2 所示。

由表 2 可知,墙体饰面开裂、ALC 墙板开裂、墙体与框架连接处嵌缝材料开裂现象刚接管卡试件皆晚于铰接管卡试件。三组试件中墙板开裂现象都是最先出现在墙板的下部连接件处,这是因为在侧向荷载作用下,试件下部受力最大。且管卡试件墙板的开裂早于内置锚试件。铰接管卡试件在层间位移角 1/100 时出现了墙板拼缝材料开裂现象,刚接管卡试件和内置锚试件直至加载结束在墙板拼缝处均未开裂,破坏主要分布在墙板上、下部与钢框架接触的位置以及板角。由此可见,采用双组分 MS 密封胶能够很好的改善 ALC 墙体的抗裂性能。

综合关键的开裂现象分析,采用内置锚连接形式的试件抗裂性能优于采用管卡连接形式的试件抗裂性能。

表 2 关键试验现象对应的层间位移角

Table 2 Key test phenomena and corresponding inter-story drift

关键现象	刚接管卡试件(MS 密封胶)	铰接管卡试件(聚氨酯发泡)	内置锚试件(MS 密封胶)
墙体饰面开裂	1/1 500	1/2 000	1/2 000
ALC 墙板开裂	1/400	1/1 000	1/300
墙体与框架连接处嵌缝材料开裂	1/500	1/1 000	1/750
墙板拼缝材料开裂	/	1/100	/
墙板裂缝沿板厚方向贯穿	1/300	1/150	1/150

3.5 板缝位移对比

由图 13a)、b)可知,内置锚试件下部板间水平和竖向错动较小,水平错动在 -0.5 mm 至 0.1 mm 范围内,竖向错动在 -0.2 mm 至 0.1 mm 范围内,且下部板竖向错动在

层间位移角 1/75 荷载级(对应顶端位移 40 mm)有明显增大,其余位置也有一定幅度的增加,对应试验现象可知板顶部连接件处出现大幅度滑移,随着水平位移增大,裂缝不断发展。

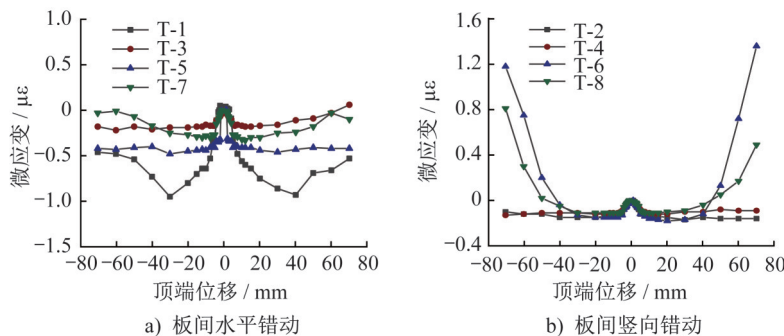


图 13 内置锚试件板间错动

Fig. 13 Inter-plate misalignment displacements of built-in anchor specimen

由图 14a)、b)可知,管卡试件下部板间水平和竖向错动较小,水平错动在 -0.4 mm 至 0.1 mm 范围内,竖向错动在 -0.2 mm 至 0.1 mm 范围内,靠近加载端上部板间错

动最大,因为该处最先与框架接触,向内传递板间错动逐渐减弱,且上部板间错动在层间位移角 1/60 荷载级(对应顶端位移 50 mm)有明显增大,且之后一直保持在较高

水平,其余位置也有一定幅度的增加,对应试验现象可知板5上部连接件处墙体出现裂缝,随着水平位移增大,裂

缝不断发展。

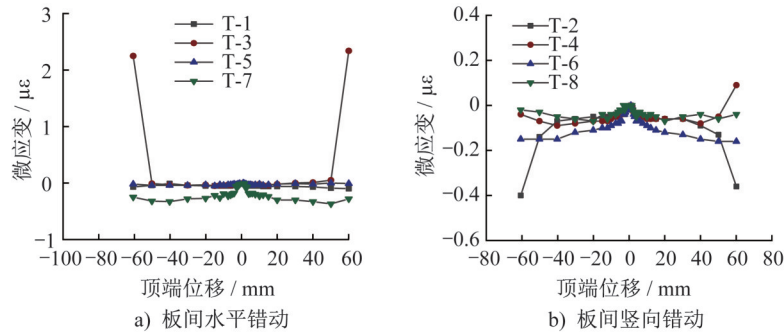


图14 管卡试件板间错动

Fig. 14 Inter-plate misalignment displacements of pipe clip specimen

4 结论

本文开展了两榀足尺单层单跨内嵌ALC板-钢框架试件在低周往复荷载作用下的拟静力试验,ALC板分别采用了管卡和内置锚与钢框架连接的方式,分析了不同连接方式下钢框架体系的滞回性能和不同饰面做法的墙体抗裂性能,得到以下结论:

(1) 两榀内嵌ALC板的钢框架试件的滞回曲线比较饱满,顶端水平位移在40 mm前,荷载和位移基本成线性关系,钢框架主要处于弹性阶段,内嵌ALC板-钢框架结构体系整体的耗能能力还未体现,在40 mm荷载级后,刚度有明显的减小。综合承载力和刚度,两榀试件的抗侧性能对比结果为内置锚试件优于刚接管卡试件。

(2) ALC墙体与钢框架接缝采用改性双组分MS胶,墙体的开裂主要分布在墙体上、下部与钢框架相邻位置以及板角,墙体中部区域未出现接缝处的饰面开裂现象。采用改性双组分MS胶作为ALC墙板和钢框架连接材料,比采用聚氨酯发泡柔性连接,嵌缝材料开裂更晚,说明MS胶良好的变形能力有助于提高墙体的抗裂性能。

综上所述,ALC墙体的整体抗裂性能良好。综合试验现象分析,可知采用内置锚连接形式的试件抗裂性能优于刚接管卡连接试件。根据此次试验研究,建议在工程设计时,ALC板宜采用内置锚形式与钢框架连接。

参考文献:

- [1] 佚名. 蒸压轻质加气混凝土(ALC板块)[J]. 墙材革新与建筑节能, 2001(4): 58.
Anonym. Autoclaved lightweight aerated concrete (ALC plate) [J]. Wall Material Innovation & Energy Saving in Building, 2001(4): 58. (in Chinese)
- [2] 刘玉妹, 李国强. 带填充墙钢框架结构抗侧力性能试验及理论研究[J]. 建筑结构学报, 2005, 26(3): 78-84. DOI: 10.14006/j.jzjgxb.2005.03.011.

- LIU Yushu, LI Guoqiang. Experimental and theoretical research on lateral load resistance of steel frames with infilled walls [J]. Journal of Building Structures, 2005, 26(3): 78-84. DOI: 10.14006/j.jzjgxb.2005.03.011. (in Chinese)
- [3] 刘肖凡, 霍凯成, 谷倩, 等. 新型砌体复合填充墙钢框架体系试验研究及有限元分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2006, 38(5): 634-638. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7930.2006.05.008.
LIU Xiaofan, HUO Kaicheng, GU Qian, et al. Research and finite element analysis on the steel frame structure with new infilling cavity wall [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2006, 38(5): 634-638. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7930.2006.05.008. (in Chinese)
- [4] 房明. 墙板-钢框架协同体系拟静力试验及有限元分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
FANG Ming. Wallboard-steel frame collaborative system quasi-static test and finite element analysis [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013. (in Chinese)
- [5] 陈鸷坤. 钢框架-外挂ALC墙板在地震作用下的变形性能研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
CHEN Zhikun. Study on deformation performance of steel frame external ALC wall panel under earthquake [D]. Chongqing: Chongqing University, 2017. (in Chinese)
- [6] 王波, 王静峰, 完海鹰, 等. 循环荷载作用下高层钢结构建筑填充墙体性能与连接构造研究[J]. 建筑钢结构进展, 2015, 17(6): 44-50. DOI: 10.13969/j.cnki.cn31-1893.2015.06.006.
WANG Bo, WANG Jingfeng, WAN Haiying, et al. Study on performance and connection detail of filled walls in high-rise steel structures under cyclic loadings [J]. Progress in Steel Building Structures, 2015, 17(6): 44-50. DOI: 10.13969/j.cnki.cn31-1893.2015.06.006. (in Chinese)
- [7] 杨翼, 张东升, 陈潘, 等. 内嵌ALC墙板的铰接钢框架滞回性

- 能试验[J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(5): 118-124. DOI:10.13579/j.cnki.2095-0985.2021.05.018.
- YANG Yi, ZHANG Dongsheng, CHEN Pan, et al. Hysteretic performance test of hinged steel frame with embedded ALC wallboard [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2021, 38(5): 118-124. DOI: 10.13579/j.cnki.2095-0985.2021.05.018. (in Chinese)
- [8] 黄瑞桦, 陈杰, 刘发起, 等. 水平荷载作用下钢框架中内嵌 ALC 墙板抗裂性能试验研究[C]//第二十二届全国现代结构工程学术研讨会论文集. 徐州, 2022: 82-87. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.015556.
- HUANG Ruihua, CHEN Jie, LIU Faqi, et al. Experimental study on crack resistance of ALC plate embedded in steel frame under horizontal load [C]//Proceedings of the 22nd National Symposium on Modern Structural Engineering. Xuzhou, 2022: 82-87. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.015556. (in Chinese)
- [9] 陈杰, 李莹, 孙伟, 等. 水平荷载作用下外挂 ALC 板-钢框架体系抗裂与滞回性能试验研究[J]. 建筑钢结构进展, 2023, 25(9): 44-52. DOI:10.13969/j.cnki.cn31-1893.2023.09.005.
- CHEN Jie, LI Ying, SUN Wei, et al. Experimental study on the crack resistance and hysteretic performance of steel frame with external ALC panels under horizontal loading [J]. Progress in Steel Building Structures, 2023, 25(9): 44-52. DOI:10.13969/j.cnki.cn31-1893.2023.09.005. (in Chinese)
- [10] 王明清, 张志, 陈振海, 等. 内嵌墙板-钢框架新型连接节点抗震性能分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(18): 7868-7877. DOI:10.3969/j.issn.1671-1815.2023.18.033.
- WANG Mingqing, ZHANG Zhi, CHEN Zhenhai, et al. Seismic performance analysis of new connection nodes between embedded wall panels and steel frames [J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(18): 7868-7877. DOI: 10.3969/j.issn.1671-1815.2023.18.033. (in Chinese)
- [11] 周婷, 王子轩, 王双, 等. 内嵌式 ALC 墙板钢框架结构的抗裂性能试验研究[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2023, 56(3): 289-300.
- ZHOU Ting, WANG Zixuan, WANG Shuang, et al. Experimental study on crack resistance of steel frames with ALC in-filled walls [J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2023, 56(3): 289-300. (in Chinese)
- [12] ZHANG C K, DING K W, HE S L. Seismic performance of panel connectors with steel frame based on autoclaved lightweight concrete (ALC) [J]. Buildings, 2022, 12(3): 372. DOI:10.3390/buildings12030372.
- [13] 黍野和彦, 幅祐司, 高橋大祐. 大型 ALC 外壁パネルのロッキング工法に関する実験的研究: 工法概要と層間変位追随性能試験結果 [J]. 学術講演梗概集 .A-1, 材料施工, 1997, 1997: 429-430.
- [14] FANG M J, WANG J F, LI G Q. Shaking table test of steel frame with ALC external wall panels [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2013, 80: 278-286. DOI: 10.1016/j.jcsr.2012.07.009.
- [15] 松岡祐一, 吹田啓一郎, 山田哲, 等. 実大 4 層鉄骨造建物の震動台実験における外装材の耐震性能評価 [J]. 日本建築学会構造系論文集, 2009, 74(641): 1353-1361. DOI: 10.3130/aajs.74.1353.
- [16] CAO Z G, DU P, FAN F, et al. Cyclic testing and parametric analyses of the fabricated steel frames infilled with autoclaved aerated concrete panels [J]. Advances in Structural Engineering, 2017, 20(4): 629-640. DOI: 10.1177/1369433216659288.
- [17] WANG J F, LI B B. Cyclic testing of square CFST frames with ALC panel or block walls [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2017, 130: 264-279. DOI: 10.1016/j.jcsr.2016.12.006.
- [18] LI Y, GAO C M, LI X R, et al. Experimental study on the seismic performance of steel frames with infill ALC wall panels [J]. Journal of Building Engineering, 2023, 65: 105739. DOI: 10.1016/j.jobee.2022.105739.
- [19] 邓青. 外挂 ALC 板-钢框架体系的滞回与抗裂性能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.
- DENG Qing. Research on hysteretic performance and crack resistance of external ALC panel-steel frame system [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2022. (in Chinese)
- [20] 邸芑, 赵旭. ALC 节能墙板裂缝成因及控制 [J]. 施工技术, 2015, 44(16): 64-67. DOI: 10.7672/sqjs2015160064.
- DI Peng, ZHAO Xu. The cause and control of ALC energy conservation wall cracks [J]. Construction Technology, 2015, 44(16): 64-67. DOI: 10.7672/sqjs2015160064. (in Chinese)