

引用本文:秦士洪,郑鸿翔,张京街,等. ALC 墙板钩头螺栓连接节点平面外抗冲切试验研究[J]. 建筑科学与工程学报,2022,39(5):142-149.  
QIN Shi-hong,ZHENG Hong-xiang,ZHANG Jing-jie, et al. Experimental Study on Out-of-plane Punching Shear Resistance of ALC Wall Panel with Hook Head Bolt Connection[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2022,39(5):142-149.

DOI:10.19815/j.jace.2021.10045

# ALC 墙板钩头螺栓连接节点平面外抗冲切试验研究

秦士洪<sup>1</sup>,郑鸿翔<sup>1</sup>,张京街<sup>2</sup>,范世杰<sup>1</sup>,宋开伟<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室,重庆 400045; 2. 重庆大学 土木工程学院,重庆 400045; 3. 重庆市建筑科学研究院有限公司,重庆 400042)

**摘要:**为了解节点的受力性能,对 13 块钩头螺栓连接的 ALC 墙板节点试件进行了平面外荷载试验和有限元模拟。结果表明:对于使用钩头螺栓连接的蒸压加气混凝土墙板,在风荷载平面外吸力或向墙板外侧的水平地震作用下,通过垫片传递荷载,最终形成冲切破坏,整个破坏过程大致可分为开裂前的线性阶段、开裂阶段以及最后的破坏阶段;抗冲切承载力将随着节点区域横向钢筋数量增加或钢筋间距减小而加大;墙板厚度可明显影响抗冲切承载力;配置抗冲切短钢筋是提高抗冲切承载力的有效方式;节点破坏是沿着垫片四周按一定角度发生的冲切破坏,板长度方向的冲切破坏角在  $67.23^{\circ}\sim 71.07^{\circ}$  之间变化,平均值为  $69.35^{\circ}$ ;板宽度方向的冲切角在  $61.67^{\circ}\sim 68.42^{\circ}$  之间变化,平均值为  $64.89^{\circ}$ ;长度方向的冲切角略大于板宽方向,总体较为对称;设计的试验方法符合钩头螺栓连接的受力特点,通过跨中节点试验与有限元模拟相结合,得到端部节点的抗冲切承载力约为跨中节点抗冲切承载力的 73%,可以认为随着节点位置与板端距离的增加,冲切锥体体积及周长将会增大,从而提升冲切峰值荷载。

**关键词:**围护结构;平面外受力性能;拉拔试验;ALC 墙板节点;钩头螺栓连接;冲切破坏

中图分类号:TU973.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2049(2022)05-0142-08

## Experimental Study on Out-of-plane Punching Shear Resistance of ALC Wall Panel with Hook Head Bolt Connection

QIN Shi-hong<sup>1</sup>, ZHENG Hong-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Jing-jie<sup>2</sup>, FAN Shi-jie<sup>1</sup>, SONG Kai-wei<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 3. Chongqing Construction Science Research Institute Co., Ltd., Chongqing 400042, China)

**Abstract:** In order to understand the mechanical properties of the joints, the out-of-plane load test and finite element simulation of 13 ALC wall panel joints with hook head bolts were carried out. The results show that for autoclaved aerated concrete wall panels connected with hook head bolts, under the action of wind load out-of-plane suction or horizontal earthquake to the outside of the wall board, the load is transferred through the gasket, and the punching failure is finally formed. The whole failure process can be divided into linear stage, cracking stage and final failure

收稿日期:2021-10-21

基金项目:重庆市建设科技计划项目(城科字 2017 第 1-3-3 号);

中国工程建设标准化协会标准制定、修订计划项目(建标协字[2017]014 号)

作者简介:秦士洪(1954-),男,重庆丰都人,教授,博士研究生导师,E-mail:qinshihong\_1@163.com。

stage. The punching shear bearing capacity will increase with the increase of transverse reinforcement quantity or the decrease of reinforcement spacing in the joint area. The thickness of wallboard can obviously affect the punching shear bearing capacity. The configuration of punching short reinforcement is an effective way to improve the punching shear resistance capacity. Node failure occurs at a certain angle around the gasket. The punching failure angle in the length direction of the plate varies between  $67.23^{\circ}$ - $71.07^{\circ}$ , with an average value of  $69.35^{\circ}$ . The punching angle in the width direction of the plate varies between  $61.67^{\circ}$ - $68.42^{\circ}$ , with an average value of  $64.89^{\circ}$ . The punching angle in the length direction is slightly larger than the plate width direction, and the total is more symmetrical. The test method designed accords with the force characteristics of hook bolt connection. By combining the cross-middle node test with finite element simulation, the punching shear capacity of the end joint is about 73% of the punching shear capacity of the middle-span joint. It can be considered that the punching cone volume and circumference will increase with the increase of the distance between the joint position and the plate end.

**Key words:** enclosure structure; out-of-plane mechanical performance; drawing test; ALC wall pannel joint; hook bolt connection; punching failure

## 0 引言

蒸压加气混凝土墙板(简称 ALC 墙板)具有轻质、保温隔热、耐火、隔音、可工厂化生产、可装配式安装等特点,十分适合建筑工业化的需求,是围护结构转型升级的较好选择之一。ALC 墙板通过连接件与主体结构连接,当墙板受到平面外的风荷载或水平地震作用时,依靠连接节点向主体结构进行荷载传递。因此,连接节点的受力性能关系到围护结构的安全可靠,一旦连接失效,将引起墙板的倒塌与破坏,甚至进一步引起次生灾害,因而一直受到国内外学者的关注。

Okazaki 等<sup>[1-5]</sup>对钢框架进行了低周反复荷载试验。试验结果表明:ALC 外挂墙板对于结构强度和刚度的贡献可以忽略不计;墙板与结构连接可靠安全,连接件未发生破坏。Kohiyama 等<sup>[6]</sup>对带 ALC 外墙的钢框架进行了有限元分析,结果表明能量的耗散主要依靠墙板的塑性变形及墙板与角钢之间的摩擦。Getz 等<sup>[7]</sup>对 ALC 墙板进行了静态单调加载和低周反复荷载试验,研究发现构件能承受的层间位移较建筑抗震规范的最大层间位移小 2/3。Matsuoka 等<sup>[8-12]</sup>对足尺钢结构建筑物进行了振动台试验,研究发现:ALC 外挂墙几乎不影响结构强度和刚度。在多遇地震情况下,墙板基本完好;在罕遇地震情况下,ALC 墙板只是出现开裂,墙板与框架的脱离只出现在框架的第一层。试验结束后 ALC 墙板与框架之间的连接件完好无损。李国强等<sup>[13-14]</sup>对

带 ALC 墙板的钢框架进行了低周反复试验和足尺模型振动台试验,研究表明:墙板 ADR 连接件性能良好,基本没有发生破坏;使用 ALC 墙板可在一定程度上增大钢框架承载力和刚度;内嵌式安装相对于外挂式在承载力及刚度上的贡献更多。田海等<sup>[15]</sup>对 ALC 拼合墙板进行了受剪性能试验研究,结果发现:在侧向位移未超过 1/300 时,钩头螺栓连接无松动,传力可靠;在大变形情况下,该连接仍能协同变形且未出现破坏,并没有导致墙体的倒塌失效。隋伟宁等<sup>[16]</sup>对 12 个新型连接节点的带 ALC 外墙板的钢框架进行了非线性有限元分析,研究发现该连接节点抗震性能良好,随着孔径比的增大,节点承载力略有减小。金勇等<sup>[17]</sup>对 ALC 墙板钩头螺栓连接件、直角钢件连接件、钢管锚连接件、斜柄连接件进行了四分点加载试验,发现随着板厚增加,节点承载力将会增大。同时还发现良好的钢筋网焊接质量及合适的保护层厚度有利于节点承载力的提升。肖伟<sup>[18]</sup>对 4 个 ALC 墙板框架进行了振动台试验,ALC 墙板与结构之间采用新型的预埋件节点连接,结果表明在罕遇地震作用下,ALC 墙板并未发生明显破坏,在大震发生时,节点与结构可形成一个摇摆体系,减小节点处受力,从而降低 ALC 墙板的破坏。

综上所述,以往的试验研究主要是针对带 ALC 墙板的整体结构,除振动台试验外,在这些试验中墙板基本上不承受平面外的荷载作用。即使是振动台试验,由于受主体结构的试验条件或试验终止条件

的限制,墙板的连接节点区域一般尚未进入平面外极限状态,所以无法得知墙板连接节点部位的完整受力性能。因此有必要开展避开主体结构影响的专项试验研究。本文设计了一种试验方法,并对采用钩头螺栓连接的 13 块 ALC 墙板试件进行了平面外的荷载试验,针对墙板节点连接区域研究其平面外的受力性能。

1 试验概况

1.1 试验装置

钩头螺栓连接是 ALC 墙板与主体结构连接的主要方式之一,其大样如图 1 所示。在风荷载压力或向墙板内侧的水平地震作用下,外墙板支撑在主体结构 的 2 个角钢上,此时墙板受力类似受弯板,墙板连接节点受力很小,不属于本文研究对象。在风荷载吸力或水平地震作用下,墙板将通过钩头螺栓受拉将墙面荷载传递给主体结构,其传递方式是由钩头螺栓通过其上的锁紧螺帽及垫片对墙板产生一个局部压力,类似于冲切作用。在此冲切荷载作用下墙板连接区域(以下简称“节点”)受力较为复杂,为本文研究的对象。

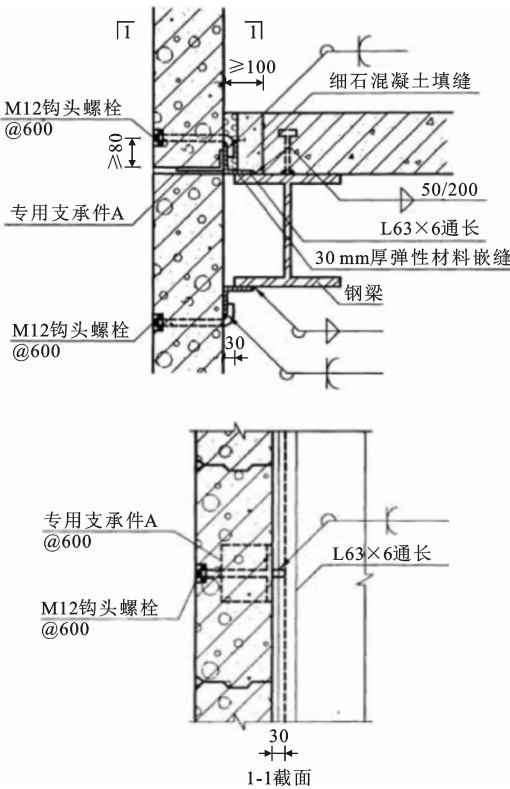


图 1 钩头螺栓连接大样(单位:mm)

Fig. 1 Hook Bolt Connection Sample (Unit:mm)

钩头螺栓对墙板节点的冲切作用可简化为通过对直螺杆拉拔来模拟,加载装置如图 2 所示。为避

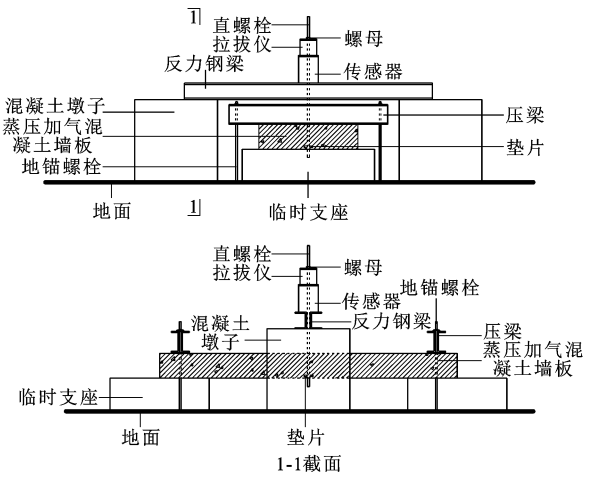


图 2 加载装置

Fig. 2 Test Setup

免试验中墙板先发生受弯破坏或剪切破坏,缩短墙板试件的试验跨度(保持原板厚度不变),并将节点位置设在试件的中央;为防止螺杆垫片在局部荷载作用下产生大的平面外变形,采用多个垫片重叠,以增加垫片的刚度;为防止螺母与螺杆之间的受力滑丝,在直螺杆的上部和底部分别用 2 个螺母重叠紧固。

1.2 测量方案

通过图 3 中百分表 1 和百分表 2 测量节点处、垫片处的下陷位移,采用压力传感器测量破坏荷载。

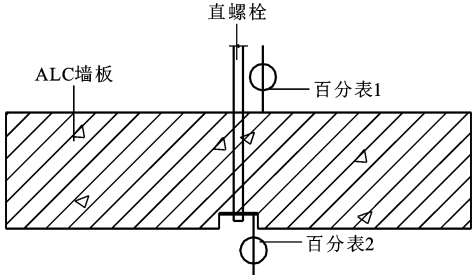


图 3 测量示意图

Fig. 3 Measurement Schematic Diagram

1.3 试件设计

1.3.1 试件设计制作

墙板试件及配筋如图 4、5 所示,试件 A~F 除了节点附近横向钢筋数量和间距不同外,其余相同。墙板的纵筋对称配置,单面为 4 $\phi$ 8;为增强墙板的抗剪承载力,防止先行发生剪切破坏,在上下钢筋网两侧(板侧)布置沿板厚方向的抗剪短筋  $\phi$ 5@200,起到类似箍筋的作用;板的端部及跨中布置横向构造钢筋,其中节点四周布置上下各 2 根或 3 根;另在节点四周布置 4 根沿板厚方向的抗冲切短筋。所有钢筋的交叉点均点焊。试件分组情况见表 1,除 D 组

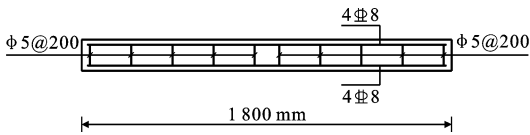


图 4 抗剪短钢筋

Fig. 4 Shear Resistance Short Reinforcement

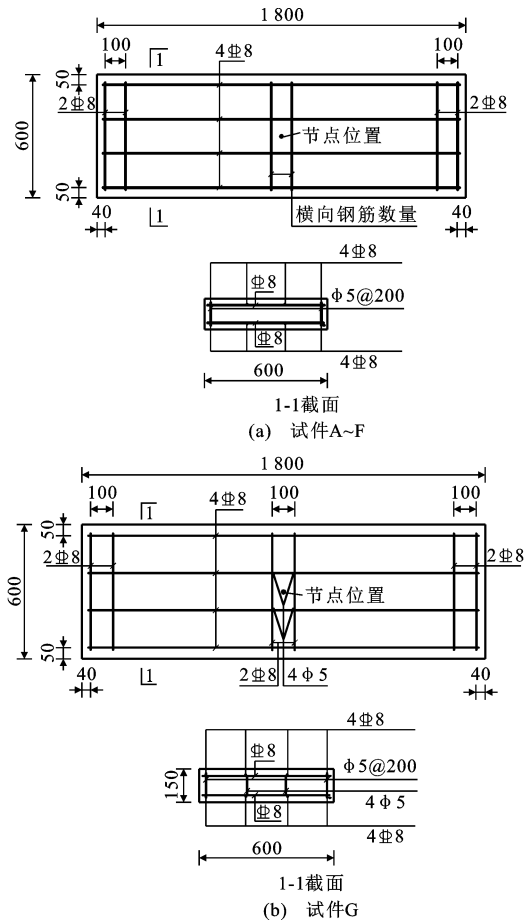


图 5 试件配筋 (单位: mm)

Fig. 5 Reinforcement of Specimen (Unit: mm)

表 1 试件分组

Table 1 Grouping of Specimens

试件编号	板厚/mm	节点横筋	横筋间距/mm	抗冲切短筋
A	150			
B	150	2Φ8	100	
C	150	3Φ8	100	
D	200	2Φ8	100	
E	150	2Φ8	200	
F	150	2Φ8	300	
G	150	2Φ8	100	4Φ5

外,其他每组均有 2 个参数相同的试件。

1.3.2 材料强度

试件的实测抗压强度为 3.02 MPa,密度为 579 kg·m<sup>-3</sup>;纵筋及横向钢筋的实测抗拉屈服强度为

486 MPa,极限强度为 638 MPa。

2 试验结果及分析

2.1 试验现象

各试件的试验现象相似。当加载到开裂荷载时,试件板顶(图 2 加载位置)沿着节点周围一圈开裂,在继续加载的过程中,对于节点处横向钢筋较为稀疏的试件,可以明显看到一个冲切破坏锥体从板内逐渐向上提升,见图 6(a);此后继续向上提升的过程中,整个破坏锥体沿着节点断裂成几个部分,见图 6(b);对于节点处横向钢筋较为密集的试件,冲切锥体受到密集钢筋网的阻挡,在该区域内破裂成多个块体,见图 6(c);C 组试件的节点区设置了上下各 3 根横向钢筋,垫片在随螺杆向拉力方向刮犁式移动的过程中,垫片移动路线逐渐偏移,见图 6(d),可看到垫片刮行的痕迹并非竖直,受到下部横向钢筋阻挡的一侧蒸压加气混凝土并未发生明显破坏。

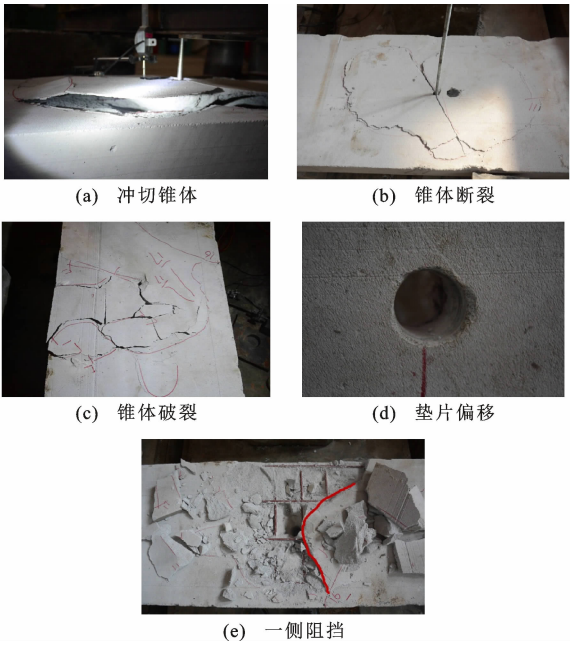


图 6 试验现象

Fig. 6 Test Phenomenon

2.2 荷载-位移曲线

各试件荷载-位移曲线如图 7 所示。可以看出,在开始阶段,荷载与节点下陷位移基本呈现线性关系,开裂后刚度下降,曲线出现明显转折,下陷位移增长速度加快。

2.3 抗冲切承载力

表 2 为各试件的实测抗冲切承载力。将试件 A、B、C 进行对比,可以发现随着横向钢筋数量的增

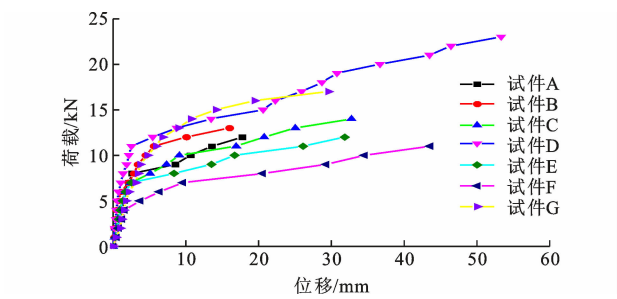


图 7 荷载-位移曲线

Fig. 7 Load-displacement Curves

表 2 抗冲切承载力实测值

试件编号	承载力/kN
A	12.5
B	12.5
C	15.5
D	23.0
E	12.0
F	11.0
G	14.5

加,节点承载力将得到提升。将试件 B、D 进行对比,可以看出增加 ALC 墙板的厚度可以明显增强节点的极限冲切承载能力。随着板厚度的增加,整个冲切锥体的体积变大,因而提高了冲切荷载。将试件 B、G 进行对比可知抗冲切短筋能够增加冲切承载力,显然穿过冲切面的抗冲切短钢筋直接参与了抵抗冲切锥体的形成,从而增大了抗冲切承载力。

2.4 冲切破坏角

节点破坏是沿着垫片四周按一定角度  $\theta$  发生的冲切破坏,如图 8 所示。测量冲切破坏锥体底面水平长度  $x$  与竖直方向的高度  $y$ ,通过公式(1)可以求得冲切破坏角度。表 3 列出了沿板长方向(图 8 中 1、3 方向)和板宽方向(2、4 方向)的冲切破坏角度。板长度方向的冲切破坏角在  $67.23^{\circ}\sim71.07^{\circ}$  之间变化,平均值为  $69.35^{\circ}$ ;板宽度方向的冲切角在  $61.67^{\circ}\sim68.42^{\circ}$  之间变化,平均值为  $64.89^{\circ}$ ;长度方向的冲切角略大于板宽方向,总体较为对称。

$$\theta=\arctan(\frac{x}{y}) \tag{1}$$

2.5 与相关试验结果对比

顾乐乐在文献[19]中对钩头螺栓连接节点进行了类似试验。ALC 墙板试件通过两端连接件与支座悬吊连接,采用四分点加载。如图 9(a)所示,150 mm 厚墙板试件破坏时,连接垫片处 ALC 受到挤压,最后整个节点沿着近似圆锥曲面被拔出,整个节

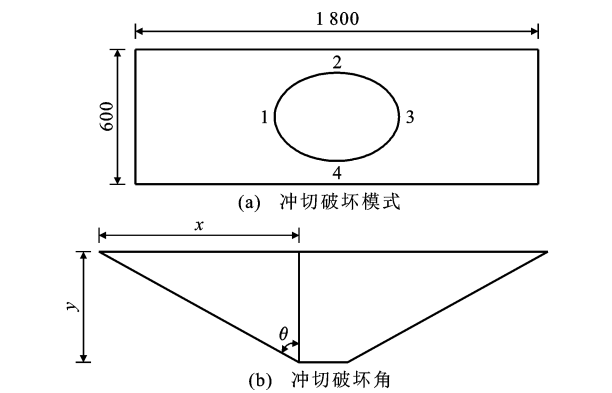


图 8 冲切角测量示意图(单位:mm)

Fig. 8 Schematic Diagram of Punching Angle Measurement (Unit:mm)

表 3 实测冲切破坏角

试件编号	冲切破坏角/( $^{\circ}$ )	
	板长方向	板宽方向
A	71.07	61.67
B	69.96	63.85
C	68.86	66.20
D	67.23	64.68
E	69.51	68.42
F	68.64	64.80
G	70.28	64.63

点处上层钢筋网变形严重,呈现拱起的状态,与本文试验现象相似,但本文试件破坏时钢筋网的变形并不明显,这是因为本文试件的上下层钢筋网通过抗剪短钢筋进行了连接,钢筋网的整体性得到增强,且本文纵筋直径为 8 mm,较文献[17]的 5.5 mm 钢筋的抗弯刚度大。

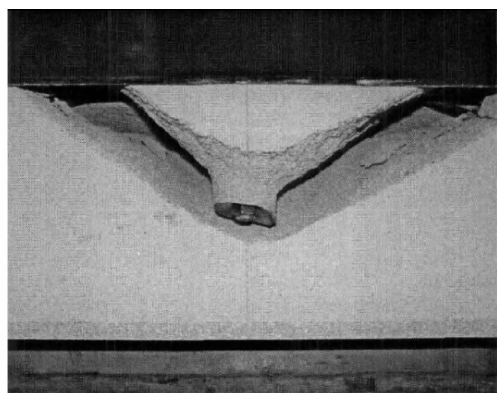
如图 9(b)所示,200 mm 厚墙板试件发生钩头螺栓弯角处拉断,表明节点的抗冲切承载力大于钩头螺栓的承载力。由于本文试验使用了直杆螺栓代替钩头螺栓,避免了此种破坏。

3 有限元模拟

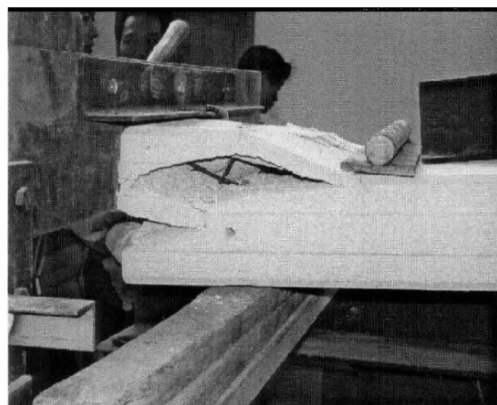
3.1 单元选取与参数设置

ALC 的受压本构关系参考文献[20],具体见图 10(a),其中  $\sigma_c$  为 ALC 的压应变  $\epsilon_c$  时的压应力,  $f_c$  为 ALC 的轴心抗压强度,  $\epsilon_0$  为 ALC 的压应力达到  $f_c$  时的压、应变。ALC 受拉本构关系根据《混凝土结构设计规范》选取,见图 10(b),其中  $\sigma_t$  为拉应变  $\epsilon_t$  时对应的 ALC 的拉应力,  $f_t$  为 ALC 受拉时对应的峰值应力,  $\epsilon_{t,r}$  为拉应力达到  $f_t$  时对应 ALC 的拉应变。ALC 采用三维实体 C3D8R 线性减缩积分单





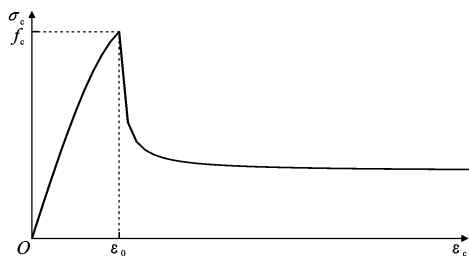
(a) 节点冲切破坏



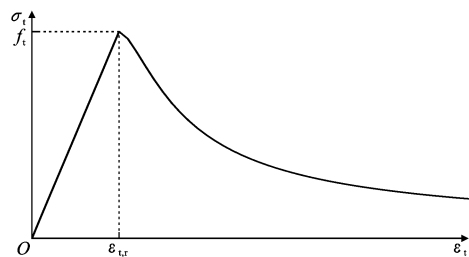
(b) 钢筋变形

图 9 文献[19]试验现象

Fig. 9 Experiment Phenomenon of Literature [19]



(a) ALC受压本构关系



(b) ALC受拉本构关系

图 10 ALC 本构关系

Fig. 10 Constitutive Relation of ALC

元,钢筋采用空间二节点直线桁架单元 T3D2。

### 3.2 模拟分析

以试件 B、G 为例进行模拟。图 11 为试件 B 的荷载-位移曲线对比。由图 11 可以发现:在荷载 6 kN 之前试验曲线与模拟曲线基本重合,之后两者

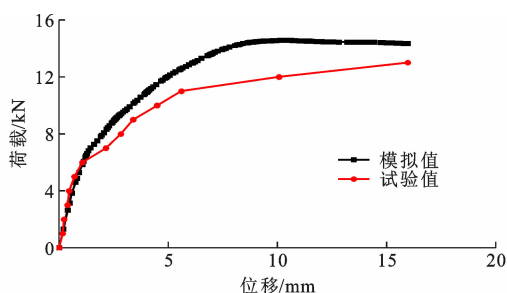


图 11 试件 B 荷载-位移曲线对比

Fig. 11 Comparison of Load-displacement Curves of

### Specimen B

差距逐渐加大,由于破坏的脆性,试验未测试到曲线下降段,而模拟曲线可部分反映;试验峰值荷载为 13 kN,模拟峰值荷载为 14.5 kN,两者相差 1.5 kN。图 12 为试件 G 的荷载-位移曲线对比。由图 12 可知,在荷载 9 kN 前,试验值和模拟值相近,其后两者差距逐渐加大,试验峰值荷载为 17 kN,而模拟的峰值荷载为 16.7 kN,两者仅相差 0.3 kN。试件 B、G 的模拟峰值荷载都较试验值提前,表明模拟所选取的 ALC 本构关系还需改进。

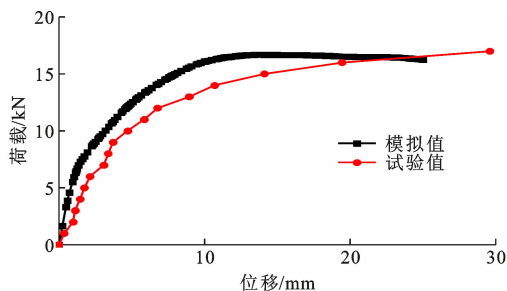


图 12 试件 G 荷载-位移曲线对比

Fig. 12 Comparison of Load-displacement Curves of

### Specimen G

本试验为了获得完整的冲切破坏锥体,试验节点部位设置在墙板试件的正中间。而实际工程中连接节点一般设置在板端,在此情况下可能无法形成完整的冲切破坏锥体,但本节建立的模型仍可以进行类似模拟分析。

模拟的板端节点位置距离板端 100 mm,图 13 为板端节点与跨中节点的荷载-位移曲线对比。由图 13 可见:板端节点相对于跨中节点较早地进入了下降段;板端节点的峰值荷载为 10.6 kN,跨中节点为 14.5 kN,前者大约为后者的 73%。可以认为随着节点位置与板端距离的增加,冲切锥体体积及周长将会增大,从而提升冲切峰值荷载。

### 3.3 节点平面外承载力评价

根据工程实际情况,以下节点承载力评价

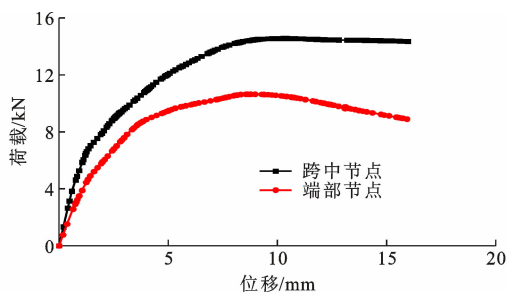


图 13 不同节点位置荷载-位移曲线对比

Fig. 13 Comparison of Load-displacement Curves at Different Joints

以板端节点为对象。

节点承载力评价以实际承载力与承载力设计值的比值作为指标。《蒸压轻质加气混凝土板(NALC)构造详图》第 4.2.2.2 条规定:外墙板在风荷载作用下节点强度应满足节点设计承载力指标 $K\geqslant 2$ ,本文取 $K=2.1$ 。由第 3.2 节的有限元模拟分析可知,板端节点承载力大约为跨中节点的 73%。根据跨中节点的试验结果可换算得到板端节点承载力,再求得其设计承载力。求得的各对应试验类型的板端节点设计承载力如表 4 所示。

表 4 板端节点承载力

Table 4 Bearing Capacity of Plate End Joints

试件编号	板端承载力/kN	设计承载力/kN
A	8.40	4.00
B	9.13	4.35
C	11.32	5.39
D	16.79	8.00
E	8.76	4.17
F	8.03	3.82
G	10.59	5.04

4 结 语

(1)钩头螺栓连接的 ALC 墙板,在其平面外的风荷载或地震作用下,通过螺栓垫片向墙板连接区域传递冲切荷载,最终形成墙板的冲切破坏。

(2)墙板节点的抗冲切承载力随着节点区域横向钢筋数量的增加而增大;横向钢筋间距在 100~300 mm 之间时,间距增大将减小抗冲切承载力;墙板厚度增加可明显提高抗冲切承载力;配置抗冲切短钢筋是提高抗冲切承载力的有效方式。

(3)本文设计的试验方法符合钩头螺栓连接的受力特点,通过跨中节点试验与有限元模拟相结合,得到端部节点的抗冲切承载力。

参考文献:

References:

[ 1 ] OKAZAKI T, NAKASHIMA M, SUITA K, et al. Interaction Between Cladding and Structural Frame Observed in a Full-scale Steel Building Test[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2007, 36(1):35-53.

[ 2 ] MATSUMIYA T, NAKASHIMA M, SUITA K, et al. Full-scale Test of Three-story Steel Moment Frames for Examination of Extremely Large Deformation and Collapse Behavior[C]//WCEE. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver: WCEE, 2004: 1-10.

[ 3 ] NAKASHIMA M, MATSUMIYA T, SUITA K, et al. Test on Full-scale Three-storey Steel Moment Frame and Assessment of Ability of Numerical Simulation to Trace Cyclic Inelastic Behaviour[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2006, 35(1):3-19.

[ 4 ] MATSUMIYA T, NAKASHIMA M, SUITA K, et al. Damage to Beams and Effects of Floor Slab Composite Action: Test on Full-scale Three Story Frame for Evaluation of Seismic Performance[J]. Journal of Structural & Construction Engineering, 2005, 70(593):177-184.

[ 5 ] MATSMIYA T, SUITA K, NAKASHIMA M, et al. Effect of ALC Panel Finishes on Structural Performance — Test on Full-scale Three Story Steel Frame for Evaluation of Seismic Performance[J]. Journal of Structural & Construction Engineering, 2004, 69(581):135-141.

[ 6 ] KOHIYAMA M, OHSAKI M, MIYAMURA T, et al. Finite Element Analysis of Damping Mechanism of Autoclaved Lightweight Aerated Concrete Panels for Exterior Walls of Steel Structures[C]//BAK B, LINDGAARD E, LUND E, et al. Proceedings of the 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), the 5th European Conference on Computational Mechanics (ECCM V), the 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECFD VI). Barcelona: WCCM, 2014: 1-8.

[ 7 ] GETZ D R, MEMARI A M. Static and Cyclic Racking Performance of Autoclaved Aerated Concrete Cladding Panels[J]. Journal of Architectural Engineering, 2006, 12(1):12-23.

[ 8 ] MATSUOKA Y, SUITA K, YAMADA S, et al. Evaluation of Seismic Performance of Exterior Cladding in Full-scale 4 Story Building Shaking Table Test[J].

- Journal of Structural & Construction Engineering, 2009,74(641):1353-1361.
- [9] MATSUOKA Y, SUITA K, YAMADA S, et al. Non-structural Component Performance in 4-Story Frame Tested to Collapse[C]//WCEE. Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing:WCEE, 2008;S17-01-014.
- [10] SUITA K, YAMADA S, TADA M, et al. Results of Recent E-defense Tests on Full-scale Steel Buildings; Part 1 — Collapse Experiments on 4-story Moment Frames[C]//ANDERSON D, VENTURA C, HARVEY D, et al. Structures Congress 2008. Vancouver: ASCE, 2008;1-10.
- [11] SUITA K, YAMADA S, TADA M, et al. Collapse Experiment on 4-story Steel Moment Frame; Part 2: Detail of Collapse Behavior[C]//WCEE. Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing:WCEE, 2008;S17-01-011.
- [12] YAMADA S, TADA M, KASAI K, et al. Collapse Experiment on 4-Story Steel Moment Frame; Part 1 Outline of Test Results[C]//WCEE. Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing:WCEE, 2008;S17-01-004.
- [13] 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.
- [14] 李国强,方明霁,陆 烨. 钢结构建筑轻质砂加气混凝土墙体的抗震性能试验研究[J]. 地震工程与工程振动, 2005,25(2):82-87.
- LI Guo-qiang, FANG Ming-ji, LU Ye. Experimental Research on Seismic Behavior of Steel Frames with ALC External Wall Panels and Masonry Wall[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2005,25(2):82-87.
- [15] 田 海,陈以一. ALC 拼合墙板受剪性能试验研究和有限元分析[J]. 建筑结构学报, 2009,30(2):85-91.
- TIAN Hai, CHEN Yi-yi. Experimental Research and Finite Element Analysis on Lateral Shearing Behavior of ALC Spliced-connection Wallboard[J]. Journal of Building Structures, 2009,30(2):85-91.
- [16] 隋伟宁,白利婷,王占飞,等. ALC 外墙板与钢框架连接节点的抗震性能分析[J]. 钢结构, 2016,31(2):47-52.
- SUI Wei-ning, BAI Li-ting, WANG Zhan-fei, et al. Seismic Performance Analysis of Connections Nodes Between ALC Wall Panels and Steel Frame[J]. Steel Construction, 2016,31(2):47-52.
- [17] 金 勇,程才渊. 蒸压加气混凝土墙板与主框架的连接构件性能试验研究[J]. 建筑砌块与砌块建筑, 2008(4):42-46.
- JIN Yong, CHENG Cai-yuan. Experimental Study on the Performance of the Connecting Components of Autoclaved Aerated Concrete Wallboard and Main Frame[J]. Structures Units & Units Architecture, 2008(4):42-46.
- [18] 肖 伟. 加气混凝土围护墙体抗震性能试验研究[D]. 北京:北京建筑大学, 2016.
- XIAO Wei. Research on Seismic Behavior of Autoclaved Aerated Concrete Wall[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2016.
- [19] 顾乐乐. 伊通墙板节点强度、重复荷载作用及墙体模拟地震振动台试验研究[D]. 上海:同济大学, 2007.
- GU Le-le. Experiment Study on YTONG Panel Joint Intensity and Iterative Load Action and YTONG Wall Simulation Earthquake Shaking Table [D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [20] 颜雪洲. 轻质高性能混凝土力学性能试验研究及新型复合墙体性能分析[D]. 北京:北京交通大学, 2006.
- YAN Xue-zhou. Experimental Study on the Mechanical Behavior of Light-weight & High-performance Concrete and Multi-ribbed Composite Wall [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2006.