

DOI:10.19479/j.2095-719x.2402088

保温层贯通型复合剪力墙偏心受压试验

王玉良, 贾 赛, 王森林

(天津城建大学 土木工程学院, 天津 300384)

摘要:在国内外复合墙研究的基础上,提出一种保温层贯通型复合剪力墙结构,为研究竖向偏心荷载对复合剪力墙受力性能的影响,对3个1/2比例缩尺复合剪力墙试件进行偏心受压试验,包括2个在偏心受压作用下的试件和1个在轴心受压作用下的试件,对比分析其破坏形态、受力性能、边缘纵筋、网架筋以及协同工作性能。试验结果表明:偏心距是影响复合墙承载力的重要因素,偏心距越大,复合墙的承载力越大;无论是偏心还是轴心受压试件,试件两侧结构层在斜插筋的连接下协同工作性能较好,设置保温层使墙体厚度增大,提高了复合墙的稳定性的。

关键词:复合剪力墙; 偏心受压; 协同工作性能

中图分类号: TU755.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-719X(2024)02-0088-07

Experimental Study on Eccentric Compression of Composite Shear Wall Through Insulation Layer

WANG Yuliang, JIA Sai, WANG Senlin

(School of Civil Engineering, TCU, Tianjin 300384, China)

Abstract: Based on the study of the composite wall at home and abroad, this paper puts forward a kind of composite shear wall structure at through the thermal insulation layer. To study the vertical eccentric loading effect on the properties of the composite shear wall stress, the proportion of 3 1/2 scale composite shear wall specimen eccentric compression experiment was carried out, including two specimens under the action of eccentric compression and 1 under axial compression specimens, the failure modes, mechanical properties, edge longitudinal bars, grid bars and cooperative performance were compared and analyzed. The experimental results show that, whether eccentric or axial compression specimen, the structure layers on both sides of the specimen work well together under the connection of oblique reinforcement, and the insulation layer increases the wall thickness and improves the stability of the composite wall.

Key words: composite shear wall; eccentric compression; cooperative working performance

保温层贯通型复合剪力墙(以下简称复合墙)是一种集保温与承重于一体的新型墙体,该墙体通过斜拉筋焊接两侧钢筋网架、中间夹以保温材料、内外两侧浇筑等厚混凝土板而成,具有抗震性能好、保温层与建筑结构同寿命等优点,同时能够实现建筑材料防火向建筑结构防火的转变,具有良好的推广和应用前景^[1]。

国外开展复合墙的研究较早, SALMON 等^[2]对预制混凝土夹芯板进行全面测试研究。ZHAO 等^[3]从破坏模式、滞回特性、刚度和残余变形 4 个方面分析了 2 种不同约束单元对剪力墙抗震性能和承载力的影响,

并计算其等效侧压力。HASIM^[4]对复合墙桁架连接方式进行比较全面的研究。EHAB 等^[5]对用桁架剪力连接件制成的预制混凝土夹心板的有限元数

值模拟的模型进行物理力学计算分析,并得到较好的数值模拟结果。国内学者通过基础理论研究对国外普通夹芯墙板进行了二次开发,杨洪渭^[6]主要通过试验研究不同的斜插钢筋对 CL(轻质复合)墙板的影响,并提出了垂直插筋的方式可以使两侧混凝土协同变形。张同亿等^[7-8]通过试验对比等厚和不等厚的结构层,试验结果表明在现有的斜插钢丝拉结的作用下,

收稿日期:2022-10-07;修订日期:2022-11-18

基金项目:天津市科技计划项目(19YFZCSN01180)

作者简介:王玉良(1978—),男,山东临沂人,教授,博士

通讯作者:贾 赛(1999—),女,天津城建大学硕士生,研究方向:结构工程。E-mail:2557597074@qq.com.

无论是相同厚度的混凝土层还是不相同厚度的混凝土层,都可以有较好的协同工作能力.李升才等^[9-10]对复合墙板进行了轴心抗压试验研究.试验表明,在轴心荷载的作用下,墙体自始至终的侧向挠度都很小.臧人卓等^[11]研究在轴向压力的作用下,新型的钢筋型复合墙的受力性能,通过钢筋和混凝土的应变、荷载挠度曲线,证明此种结构合理,而且轴向承载力较高.张立志^[12]利用有限元软件 ANSYS,对此种新型结构进行低周往复模拟,通过滞回曲线、骨架曲线等分析其变形、耗能、刚度.王卫永等^[13]对钢框外敷混凝土和石膏板复合墙体进行受压性能试验研究并建立有限元分析模型,对影响墙体受力性能的因素进行分析,得出带混凝土面板的墙体竖向承载力比不带混凝土面板的墙体有较大程度的提升.韩笑东等^[14]对复合加固方形木柱进行偏心受压性能试验,研究其在偏心受压情况下承载力、延性等力学性能的变化.石洋^[15]对预制组合剪力墙进行偏心受压性能试验研究.李璟等^[16]对钢板混凝土组合剪力墙轴心受压有限元模拟与参数分析.叶继红等^[17]对冷成型钢复合剪力墙进行振动台试验研究及耐火性能的研究.

现有的复合墙构造形式已不能满足要求,为此,本文提出将复合墙中间保温层贯通并考虑增大其厚度、用U型筋代替边缘构件箍筋等构造措施,设计了3个1/2比例缩尺剪力墙试件,对其偏心受压性能进行试验,分析其破坏过程及破坏形态、变形性能及协同工作性能等.

1 试验概述

1.1 试件设计与制作

本次试验采用1/2缩尺试件,3个复合剪力墙试件的编号分别为W01、W02、W03.试件由试验墙体、墙顶的加载梁以及墙体的基础梁组成.试件的基本参数如表1所示,试件的设计尺寸及配筋如图1所示.试验墙体为矩形截面,外形尺寸相同:墙体净高为1500 mm,墙体宽度为1000 mm,墙体中间的保温层厚度为50 mm,两侧的混凝土层厚度均为40 mm,在边缘构件处,墙体边缘的保温层厚度为20 mm,两侧混凝土层为55 mm.其中边缘构件纵向钢筋配筋选用4φ12,钢丝网采用直径为3.0 mm冷拔低碳钢丝焊接而成,竖向钢丝和水平钢丝配筋率均为0.35%,斜插钢丝连接两片钢丝网片,在墙体边缘使用φ6@100的U型钢筋代替箍筋;加载梁高300 mm,宽300 mm,长1100 mm,主筋采用4φ12,箍筋为φ8@100;基础梁高

400 mm,宽300 mm,长1500 mm,主筋为4φ16,箍筋φ8@100.试件混凝土等级为C30.

表1 试件几何尺寸和物理参数

试件编号	试件类型	厚度 t/mm	U型筋	边缘构件纵筋	偏心距/mm
W01	复合墙	40+50+40	φ6@100	4φ12	0
W02	复合墙	40+50+40	φ6@100	4φ12	300
W03	复合墙	40+50+40	φ6@100	4φ12	400
W04	实心墙	80	φ6@100	4φ12	0

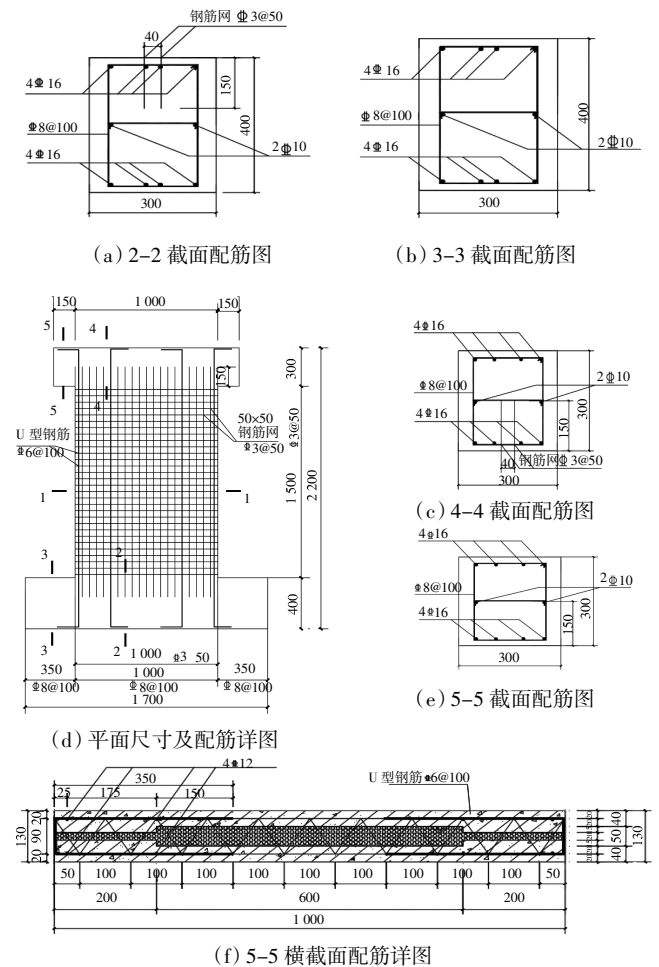


图1 各试件尺寸及配筋

1.2 加载制度与测量内容

本次试验为静力加载,试验加载装置如图2所示.采用1000 t长柱试验加载系统,将偏心试件放置,在顶梁放置与助动器作用头尺寸相同的钢板,在远侧设置压梁,通过锚杆和凹槽将试件固定.正式加载之前对试件进行预加载,混凝土结构经过预加载后可在一定程度上消除初始的非弹性变形,并检查全部测量仪表是否已进入正常状态,包括安装质量、读数和量程等.正式加载时,在分级加载制度中,根据试验目的和试验类型来确定每一级荷载增量的大小和分级的数

量.对于混凝土结构,试验荷载应按规定分级加载和卸载:每级加载值为理论受压极限承载力的10%.分级卸载可按加载级距进行.



图2 试验加载装置

试验试件在偏心压力作用下墙体的偏转位移采用量程为50mm的电阻位移计测量,各试件的位移计布置相同,共5个位移计,在试件的两侧结构中部位位置布置了1个位移计,地梁上布置了2个位移计,加载梁上布置了2个位移计.位移计布置图如图3所示.

钢筋的应变通过用电阻应变片来测定.为了判断试件的受力情况,分别在试件的边缘构件纵向钢筋和钢丝网架分别粘贴电阻应变片,来测试钢筋的内力分布.图4为偏压试件网架筋和边缘加强构件纵向钢筋的应变片布置.由于两侧钢筋网架为双层网架,中间夹以保温板,结构对称,所以为试验后进行数据分析两侧结构层的协同工作性能,应变片对称布置.

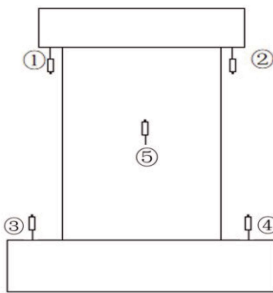


图3 试验加载装置及位移计布置

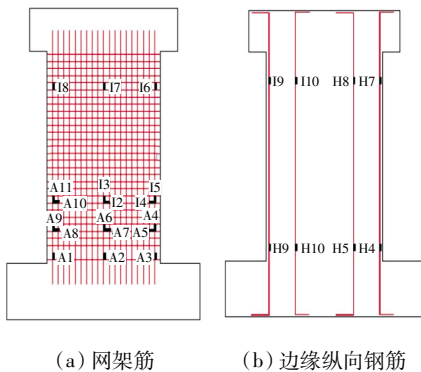


图4 应变片布置

2 试验结果与分析

2.1 破坏过程与破坏形态

3片剪力墙的主要破坏形态如图5所示.分析试件破坏过程及破坏形态可知:在受力过程中,试件的受力特性基本可以分为3个阶段:

(1)弹性阶段:3个试件均为当竖向荷载达到开裂荷载之前,墙体无明显破坏现象.在达到开裂荷载之后,其中W01墙体的开裂荷载为1900kN,W01沿墙高在墙体的侧面宽度范围内出现很多竖向裂缝,这些裂缝主要集中在保温层宽度范围,继续加载,保温层区域的竖向裂缝沿墙高方向几乎布满,保温层区域裂缝宽度达到0.1mm.W02、W03墙体的开裂荷载分别为350kN、500kN,W02、W03墙体在加载过程中能明显发现偏心荷载加载的另一侧发生弯曲,裂缝主要为横向裂缝.随着偏心荷载的不断增大,横向裂缝不断向近偏心一侧延伸.W04墙体一侧墙顶角处均出现长度约为8cm的竖向裂缝,随着荷载增大,墙体两面微裂缝增多,裂缝宽度也有开展,约0.1~0.15mm.

(2)发展阶段:随着轴向荷载的增加,W01墙体的两侧结构层裂缝增多并向墙底延伸,裂缝宽度继续开展;W02、W03墙体裂缝向内延伸,裂缝宽度不断开展.W04墙体侧面裂缝增多并伴有延伸,宽度不发生明显变化.

(3)破坏阶段:各墙体达到极限承载力W01被破坏时,加载梁与墙连接处混凝土被压碎,并出现保护层剥离现象,墙体发出巨大的崩裂声音,并伴随保护

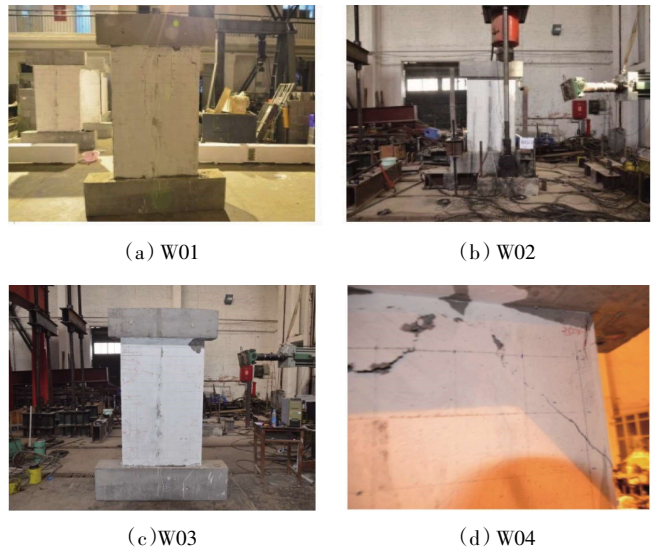


图5 各试件破坏形态

层的脱落,墙体最终破坏. W02、W03 最终破坏形态为受压区墙角出现劈裂状裂缝,横向裂缝沿墙的高度方向布满. 偏心荷载作用于墙体的正下方混凝土保护层被压酥,但墙体中并无明显的破坏形态,复合墙在偏心荷载作用下两侧结构层之间有较好的协同工作能

力. W04 的最终破坏形态均为保护层的混凝土剥离,并有部分脱落,下部无破坏现象,墙体破坏呈现明显的脆性性质.

试验得到各对比试件的特征点数据汇总如表 2 所示.

表 2 对比试件特征点数据

试件编号	开裂荷载及相应应变值			破坏荷载及最大应变值		
	开裂荷载/kN	钢丝应变/ 10^{-6}	混凝土应变/ 10^{-6}	破坏荷载/kN	钢丝应变/ 10^{-6}	混凝土应变/ 10^{-6}
W01	1 900	-472	-413	3 200	-1 634	-1 217
W02	350	-657	-645	750	-1 100	-1 103
W03	500	-700	-413	1 000	-1 682	-1 382
W04	1 800	-723	-500	2 418	-2 482	-1 582

通过 W01 和 W04 对比可知,复合剪力墙的轴心受压承载力并未因实心墙拆为两片等厚复合墙而降低,究其原因:保温层放置在两侧墙片之间.增加了墙整体厚度,减小了墙体长细比,从而提高了稳定性.

2.2 试验结果分析

2.2.1 竖向位移分析

3 个试件分别在轴向均布荷载和偏心荷载作用下

的竖向压缩位移变化曲线如图 6 所示. 对于轴心受压试件 W01, 从图 6 中可以看出, 在轴向压力加载到 600 kN 之前, 轴向压缩位移变化不明显, 随着轴向压力的继续增加, 位移和荷载的关系几乎呈线性一直变化直至墙体破坏. 曲线并没有出现塑性水平段及下降段, 在弹性阶段的终点处即发生破坏, 抗压刚度比较大.

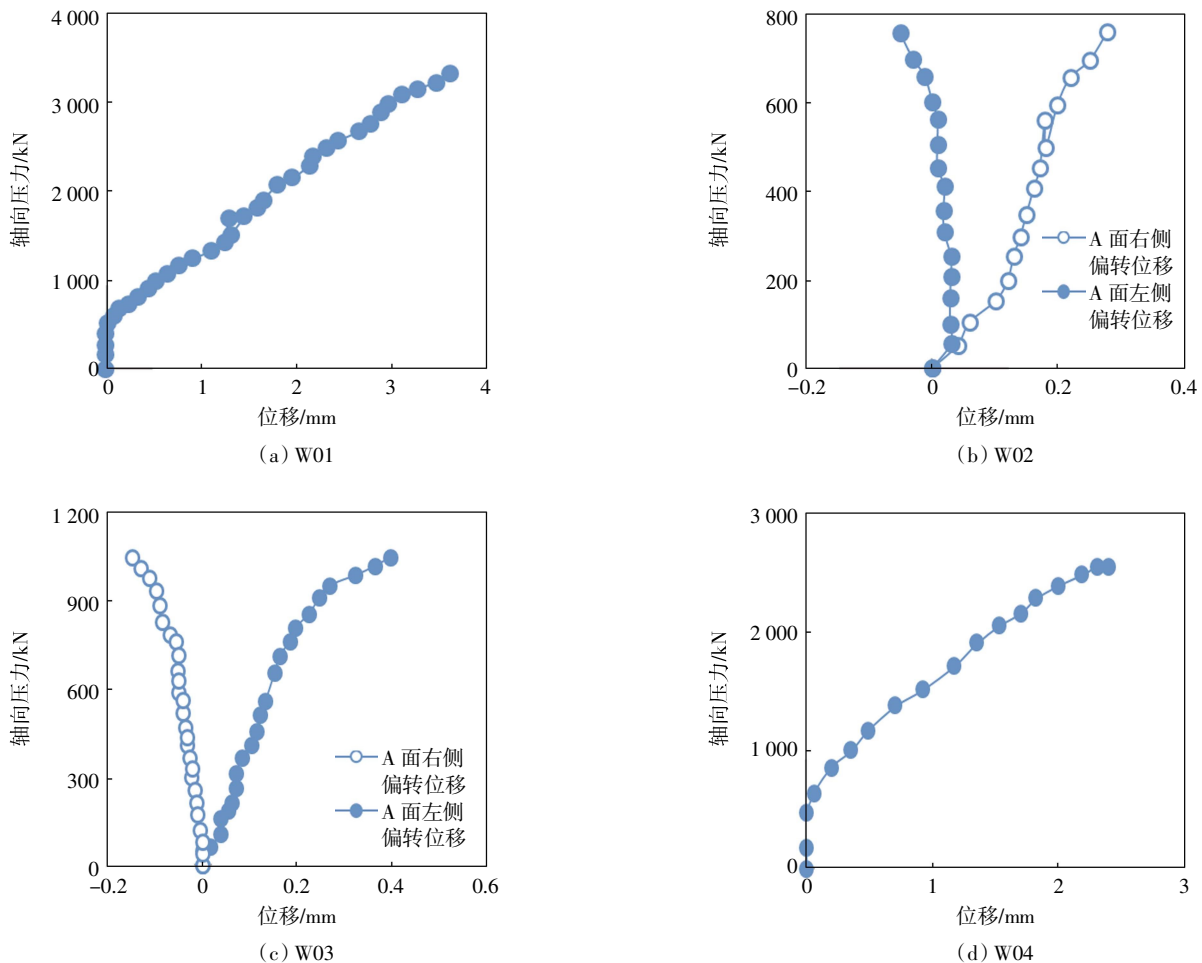


图 6 竖向压缩位移图

对于偏心受压试件 W02、W03，竖向压缩位移曲线规律较为一致，都是平面内偏转位移曲线，基本成线性变化保持增长直至破坏，继续加载，曲线斜率明显减小，竖向位移增大。图中显示受压侧墙体的竖向压缩位移明显大于受拉侧墙体的竖向位移，受压侧墙体竖向位移的发展和理论上一致。偏心距比较大，受弯的影响比较大，所以受压区的高度是比较小的。从 W02 竖向位移曲线可以看出，偏心荷载较小时，两侧的竖向位移均为正值，表明两侧墙体均处于受压状态，随着偏心荷载的增大，远侧偏转位移由正值变为负值。因此由小偏心受压的破坏形态和偏转位移可以推测出 W02 墙体的整个破坏过程与小偏心破坏过程

相似，可以在理论上把墙体的破坏成小偏心受压破坏。从 W03 荷载位移曲线中可以看出受压侧的偏转位移为正，受拉侧的偏转位移为负，这与理论上是一致的，而受压侧偏转位移比受拉侧偏转位移大，究其原因受拉侧钢筋受拉，充分的钢筋抗拉强度造成此现象。

2.2.2 复合墙纵向钢筋应变分析

图 7 为同一结构层沿同一截面各处边缘构件纵向钢筋的应变变化趋势。对于轴心受压试件 W01，随着轴向均布荷载的增加，同一高度截面处边缘纵筋的应变趋势高度一致。各级荷载下的边缘纵筋应变增量差别不大，在接近破坏时，应变增量增大。

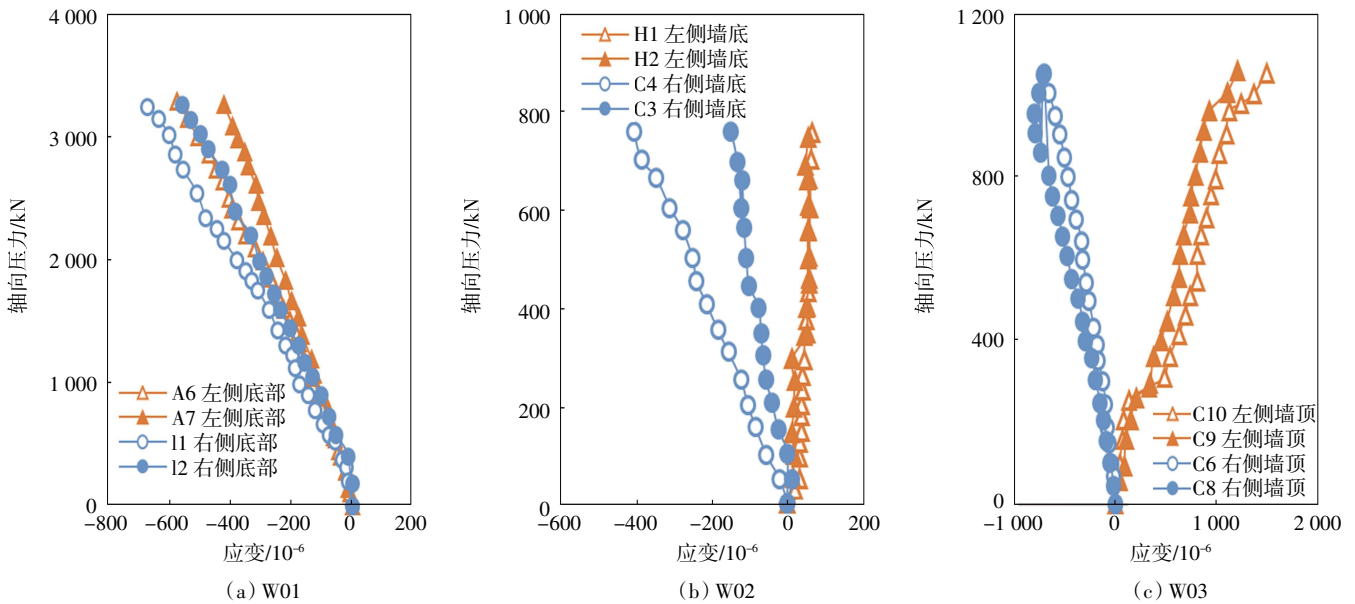


图 7 同侧纵向钢筋应变图

对于偏心受压试件 W02、W03，设计构件时，边缘构件在复合墙剪力墙结构中设置在剪力墙竖向边缘，旨在加强复合墙边缘的抗拉、抗弯和抗剪性能。在偏心荷载作用下，从左向右按照逐渐远离偏心荷载作用点的规律发生变化。由于边缘构建设置的位置，近侧受压和远侧受拉的表现清晰，远侧受到由偏心荷载产生的弯矩作用，墙体正截面受拉。完全符合偏心受压的特点。

近，说明两侧的网架的钢丝能够较好的协同变形。中部受到挠曲影响稍有突出，是因为试件制作的缺陷导致结构层并不能完全保持一致，从而引起截面应力的不同。

综上，复合剪力墙正截面受到偏心荷载作用时表现出来的应力特性和我们已知的实心钢筋混凝土截面的受力特点基本一致。

对于偏心受压试件 W02、W03，考虑到偏压试件受到偏心压力引起的弯矩的影响，偏压试件的应变片既贴在网架筋的竖向筋，也贴在网架筋的横向筋上。钢筋网架是通过横纵筋交错焊接而成，在近偏心（受压侧）两侧混凝土层对应位置的网片筋的纵向筋和横向筋表现出不同的受力情况，纵向筋受压，并且由斜插丝焊接的两侧网架筋对应位置的纵向筋应变变化趋势相同；由于钢筋网架由竖向筋和横向筋焊接而成，当纵向筋承受压力，横向筋就会受拉，但是从图中也可以看出拉应变并不大。在远偏心（受拉侧）两侧混凝土层对应位置的网片筋的纵向筋和横向筋都受拉，

2.2.3 复合墙钢筋网架应变分析

图 8 为复合墙板两侧混凝土层对应位置的网架筋的应变变化。对于轴心受压试件 W01，由图 8 可见，随着轴向压力的增加，两侧网架筋的应变变化相当接

而且拉应变也并不大. 再结合 W02 墙体的应变变化规律, 在应变比较大的情况下两侧竖向筋表现出了拉压一致, 这进一步说明斜拉筋对连接两侧结构层的重要性.

图 9 为复合墙板两侧混凝土层对应位置网架筋和纵向钢筋的应变变化. 对于轴心试件 W01 从图 9 中可以看出, 在轴向荷载的增加, 两者的应变趋势高度一致, 说明了边缘纵筋和网架筋一同抵抗轴向压力, 能够很好地协同工作. 在底部两者的应变基本重合, 在中部网片筋的应变一直略大于边缘纵筋的应变, 初步判断是受到荷载不断增加墙中位置受到挠曲的影响.

对于偏心试件 W02、W03, 从图 9 中可以看出, 随着偏心荷载的增长, 无论是近偏心一侧还是远偏心一侧, 对应位置的网架筋和边缘纵筋的应变变化是一致的. 说明在近偏心一侧(受压侧), 随着偏心荷载的增加, 边缘纵筋和网架筋的竖向筋共同承受竖向压力; 在远偏心一侧(受拉侧), 网架筋的纵向筋和边缘纵筋表现出同时受拉的情况, 相同偏心荷载作用下, 墙顶的应变要比墙底的应变要大. 对于偏心试件 W02, 在偏心荷载加载的初期, 远偏心一侧的网架筋和纵向钢筋都处于受压的状态, 随着偏心荷载的继续增加, 由受压的状态转为受拉的状态, 这也与两侧的偏

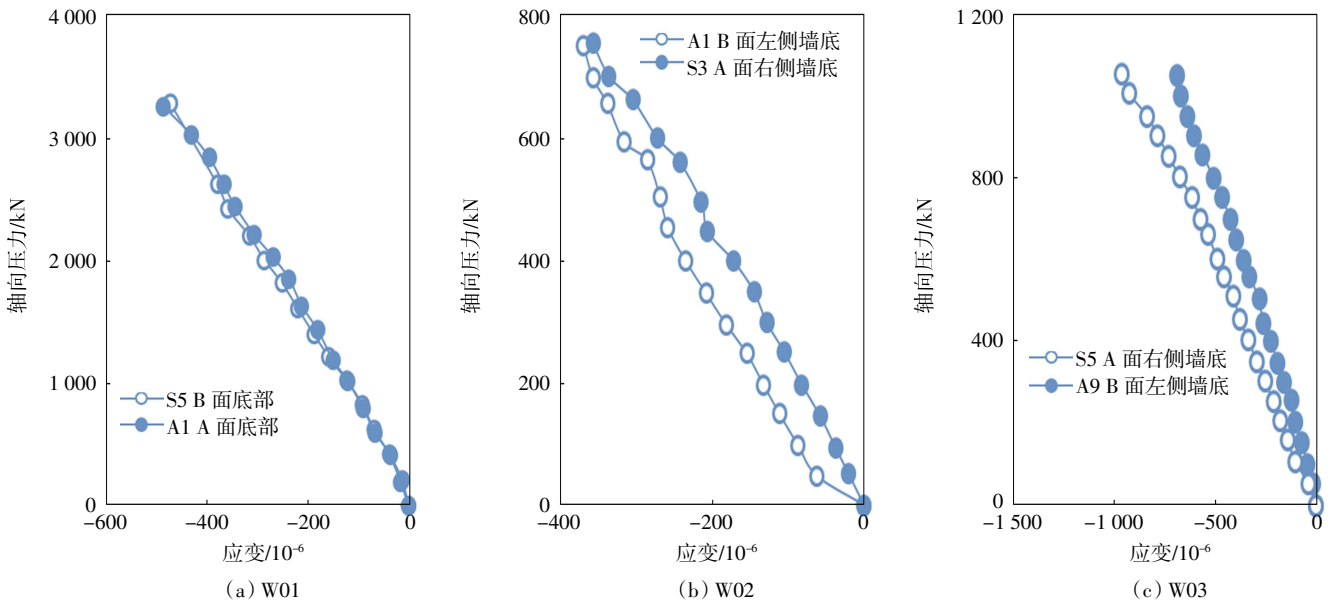


图 8 两侧结构层对应位置网架筋应变图

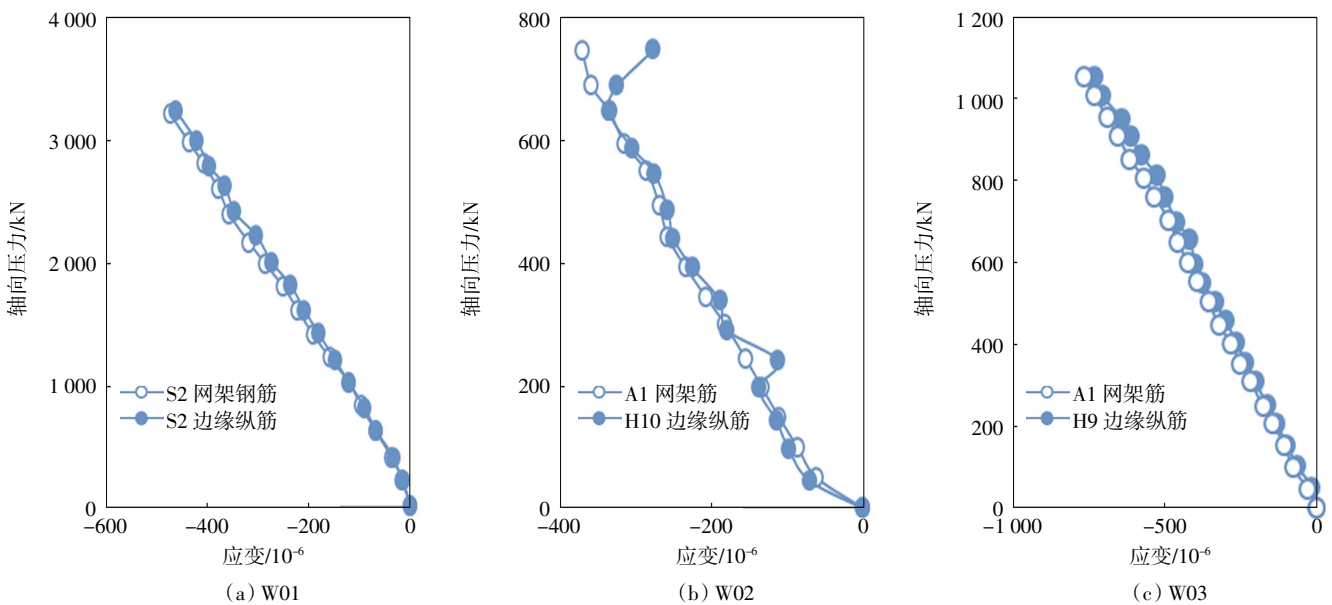


图 9 对应位置网架筋和边缘纵筋的应变图

转位移表明情况是一致的,网架筋的纵向筋与边缘纵筋共同抵抗偏心荷载的作用,而偏心荷载对网架筋的横向筋影响不大,说明边缘纵筋和网架筋能够较好地协同工作。

3 结 论

(1)设置保温层使墙整体厚度增大,提高了复合墙稳定性,使复合墙轴心受压承载力相比实心墙没有明显降低。

(2)轴心受压试件裂缝主要为竖向裂缝,且主要集中在墙宽截面的中部,两侧存在边缘构件的范围,竖向裂缝并不多,说明边缘构件起到一定的作用。偏心受压试件的裂缝主要为横向裂缝,主要集中在远偏心一侧,由于混凝土的抗拉强度不高,导致混凝土开裂。

(3)无论是偏心还是轴心受压构件,从破坏过程以及钢筋的应变变化趋势可知,试件两侧结构层在斜插筋的连接下,协同工作性能较好。

(4)偏心距是影响复合剪力墙承载力的重要因素,偏心距是影响复合剪力墙承载力的重要因素。根据偏心受压试件 W02,偏心距较小时,截面大部分处于受压状态,远偏心一侧(受拉区)的应变也不大;随着偏心距的增大,墙体受到弯矩的作用越大,远偏心一侧钢筋受拉现象更加明显。

(5)通过比较分析钢筋的应变,通过钢筋应变变化情况可以看出,网架筋的纵向筋与边缘纵筋共同抵抗偏心荷载的作用,而偏心荷载对网架筋的横向筋影响不大。

参考文献:

- [1] 郝贞洪,徐惠子,李佳奇,等. 中间设置保温层复合墙体轴压性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2015,36(增刊2): 244-249.
- [2] SALMON D C, EINEA A, TADORS M K. Full-scale testing of

precast concrete sandwich panels[J]. ACI Structural Journal, 1997, 94(4): 354-362.

- [3] ZHAO N N, WANG Y H, HAN Q, et al. Bearing capacity of composite shear wall incorporating a concrete-filled steel tube boundary and column-type reinforced wall [J]. Advances in Structural Engineering, 2020, 23(10): 2188-2203.
- [4] HASIM K M, BAHADIR Y S, NACI C. Experimental study on hysteric behavior of composite shear walls with steel sheets [J]. Journal of Building Engineering, 2021, 33: 101570.
- [5] EHAB H. Modeling, analysis, and behavior of load-carrying precast concrete sandwich panels[J]. American Society of Civil Engineers, 2016, 142(7): 478-489.
- [6] 杨洪渭. 斜插钢筋对 CL 墙板受力性能影响试验研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2008.
- [7] 张同亿, 吴敏哲, 于庆荣. 轴向压力对复合墙板抗震性能的影响[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2001(2): 128-130.
- [8] 张同亿, 于庆荣, 吴敏哲, 等. 复合墙板承载力的试验研究[J]. 建筑结构, 2001(9): 28-31.
- [9] 李升才, 江见鲸. 轻型复合结构抗震性能分析[J]. 北京工业大学学报, 2008, 34(9): 944-949.
- [10] 李升才. 复合墙板轴心受压试验研究[J], 华侨大学学报(自然科学版), 2006, 27(4): 384-387.
- [11] 臧人卓, 时旭东, 赵论语. 钢筋混凝土复合墙板轴向受力性能试验研究[J]. 工业建筑, 2005(2): 73-76.
- [12] 张立志. 新型高效夹心保温复合墙体的构造与性能研究 [D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2009: 18-26
- [13] 王卫永, 马 杰. 钢框外敷混凝土和石膏板复合墙体受压性能试验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2022, 54(4): 43-54.
- [14] 韩笑东, 赵 越, 杨燕泽, 等. 复合加固方形木柱偏心受压性能试验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2021, 53(4): 195-200.
- [15] 石 洋. 预制组合剪力墙偏心受压性能试验研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2018.
- [16] 李 璟, 卢武才. 钢板混凝土组合剪力墙轴心受压有限元模拟与参数分析[J]. 钢结构(中英文), 2021, 36(9): 10-18.
- [17] 叶继红, 江力强. 装配式多层冷成型钢复合剪力墙结构分层次振动台试验研究[J]. 建筑结构学报, 2020, 41(7): 63-73.