

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.08.024

框支密肋复合墙体拟静力试验研究

贾穗子¹,曹万林¹,袁 泉²

(1.北京工业大学 建筑工程学院,100124 北京;2.北京交通大学 土木建筑工程学院,100044 北京)

摘 要:为研究底部大空间框支密肋复合墙结构的抗震性能,结合新型斜交肋格密肋复合墙板结构,进行2榀底部框架-剪力墙上部密肋复合墙体结构1/2比例模型拟静力试验.分析正交肋格和斜交肋格框支密肋复合墙体在低周反复荷载作用下的破坏过程、传力机理,探讨结构层间位移滞回特性,各构件钢筋的荷载-应变曲线,墙体的残余变形率.试验结果表明:框支密肋复合墙结构抗震性能优越,墙板独特的斜交式肋格构造形式有效提高结构的延性、变形性能,抗倒塌能力和可修复性.

关键词:底部框剪结构;密肋复合墙体;拟静力试验;斜交肋格;抗震性能

中图分类号: TU352.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2015)08-0120-05

Pseudo-static experiment of multi-ribbed composite wall supported on frame shear-wall structure

JIA Suizi¹, CAO Wanlin¹, YUAN Quan²

(1.College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, 100124 Beijing, China;
2.School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, 100044 Beijing, China)

Abstract: Seismic performance of the multi-ribbed composite wall structure with large space at the bottom, combined with the new oblique frame-grid used in multi-ribbed structure was studied in this paper. The pseudo-static experiment of two 1/2-scale multi-ribbed composite wall supported on frame shear-wall structure was conducted. Under the low reversed cyclic loading, the failure process and force transfer mechanism of the oblique and orthogonal frame-gird specimens was analyzed. The hysteretic characteristic of inter-story displacement, steel load-strain curves of the members, residual deformation ratio of the specimen was discussed. The results show that the structure have good seismic performance. The unique oblique frame-grid design can improve the overall ductility, deformation, collapse-resistant capacity and reparability.

Keywords: frame-supported shear-wall structure; multi-ribbed composite wall; pseudo-static experiment; oblique frame-grid; seismic performance

近年来,随着人们对生活环境和条件要求的提高,现代建筑向着多功能、多用途方向发展.为满足建筑使用功能的需要,底部框架-抗震墙砌体结构、框支剪力墙结构得到较广泛应用.然而,历次地震震害显示,底层框架-抗震墙砌体房屋发生严重破坏,承重墙体材料在已有的大开间住宅中没有得到充分的利用,关键部位受力不合理,刚度分布不灵活^[1-3].框支剪力墙结构虽然突破了框支砌体结构房屋对高度和层数的限制,且抗震性能优于框支砌体结构房屋,适用于底部大空间的高层建筑,但其造价高、自重大、施

工较复杂,且底部易成为薄弱层,产生变形集中^[4-6].

本文将新型抗震结构体系密肋复合墙结构引入底部大空间,形成框支密肋复合墙结构.由于密肋复合墙体具有可靠的整体性、良好的冗余性、较好的耗能性、灵活的刚度可调性^[7-9]等特点,因此有利于框支密肋复合墙结构薄弱层承载力与刚度的合理匹配.

本文通过对两榀恒定竖向荷载作用下的框支-密肋复合墙体试件拟静力试验,分析墙体破坏过程、传力机理、滞回特性等抗震性能,并对结构总体刚度退化特征、残余变形率进行分析,得到结构在受力性能、破坏形态和抗倒塌能力方面的特点,为工程设计提供参考依据.

1 试验概况

1.1 密肋复合墙结构

密肋复合墙结构(图1(a))采用独特嵌套式结构构

收稿日期:2014-09-01.

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2011BAJ08B02);北京市博士后工作经费资助项目(2015ZZ-29).

作者简介:贾穗子(1984—),女,博士后;

曹万林(1954—),男,教授,博士生导师.

通信作者:贾穗子,suizijia@163.com.

1.3.2 MLB-4

在弹性阶段,水平荷载小于 250 kN 时,剪力墙和框支柱底部出现微裂缝.当水平荷载增加到360 kN 时,墙体中部砌块产生斜裂缝,试件进入弹塑性阶段;在 660 kN 时,框支柱底部水平贯通裂缝宽度达到 5 mm,密肋复合墙与框支梁间坐浆开裂,框支梁柱节

点及框支梁与抗震墙交界处裂缝加大,试件屈服;此后按位移控制加载,当位移达到 48 mm 时,框支柱柱脚出现斜裂缝,砌块出现大量裂缝,并零星剥落;继续增加位移至 54 mm 时,框支柱底部出现较多交叉斜裂缝,水平贯穿裂缝宽度达到5 mm,柱脚混凝土局部压溃.MLB-4 构件在各阶段破坏情况见图 4.

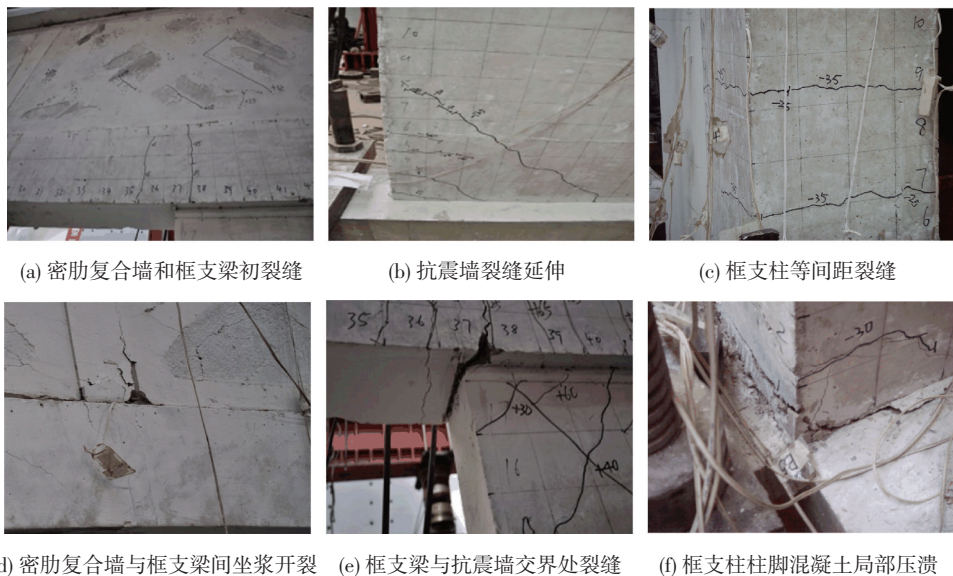


图 4 MLB-4 构件裂缝

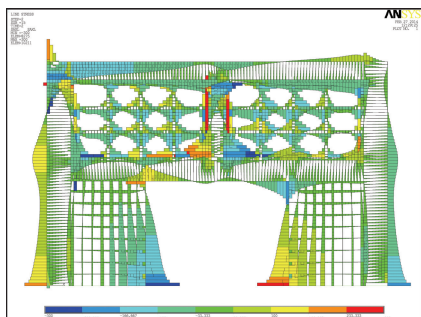
在两榀试件破坏过程中,MLB-3 二层密肋复合墙体比 MLB-4 破坏严重,而底层框剪结构比 MLB-4裂缝及混凝土剥落现象少.密肋复合墙体在整个受力过程中按照 3 道抗震防线,即填充砌块-密肋框格-隐形框架的破坏模式依次耗能.进一步说明试件的设计符合耗能减震的要求.

2 试验结果及分析

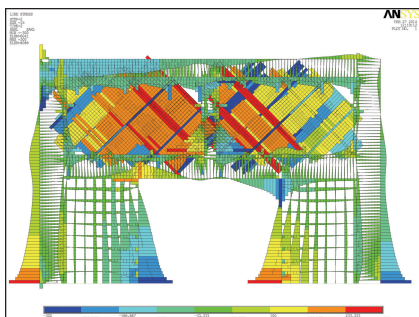
2.1 传力机理

两榀试件密肋复合墙板中砌块和钢筋混凝土用

量,框格横截面及配筋率基本相同,但 MLB-4 的开裂荷载和屈服荷载比 MLB-3 分别增加 45%、22%,主要因为 MLB-4 中斜交的肋格不仅约束砌块,与砌块共同受力,还起到类似桁架的作用,斜向框格受力变形形成明显斜压杆效应,主应力沿斜交肋格方向分别向两侧边框柱和框支梁传递.采用 ANSYS 建立二维平面单元,分析墙体弹塑性阶段钢筋应力云图(图 5),由图可见,主应力沿交叉肋格方向向下传力清晰可见,进一步证明斜交肋格的构造形式,改变传力途径,使得下层结构受力增大,上下层刚度合理分配.



(a) MLB-3



(b) MLB-4

图 5 钢筋应力云图

2.2 滞回曲线

由层间滞回曲线图 6 可知:MLB-4 斜交肋格的构造形式使得墙体上下层刚度比更合理,层间位移变形更充分.此外,由于抗震墙的设置,底部抗侧刚度变大,两片墙体二层层间位移均比一层大,变形集

中于第二层,第二层为薄弱层.

2.3 钢筋应变分析

2.3.1 框支柱钢筋应变

荷载在正负交替加载过程中,钢筋应变始终为正(图 7(a)),说明钢筋受拉应变明显大于受压应

变,这是因为混凝土开裂后受拉区纵筋应变充分发挥,而受压区纵筋受到混凝土压应变限制应力较小.

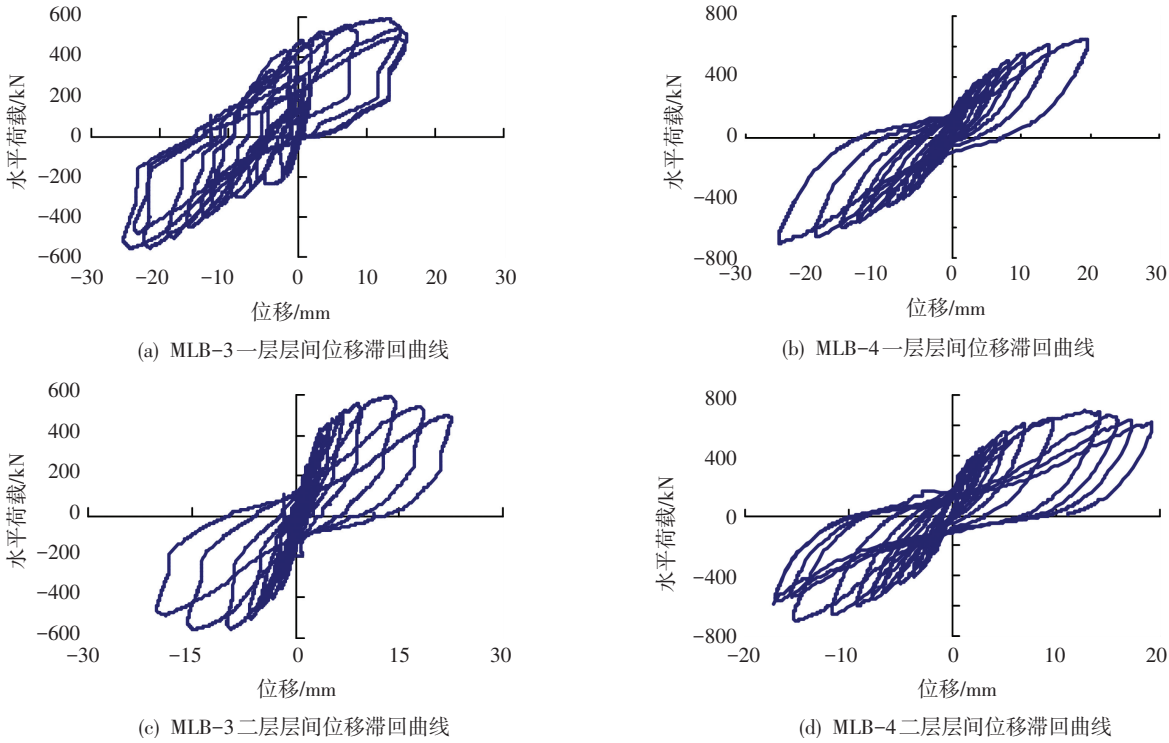


图 6 试件的层间滞回曲线

2.3.2 抗震墙水平分布钢筋应变

由于 MLB-4 上部密肋复合墙体中斜交肋格的构造形式,可使主应力沿斜向肋格交叉方向充分向

抗震墙传力.由图 7(b)可看出,在相同加载机制下,MLB-4 钢筋应变比 MLB-3 大,且钢筋的应变趋势仍以受拉应变为主.

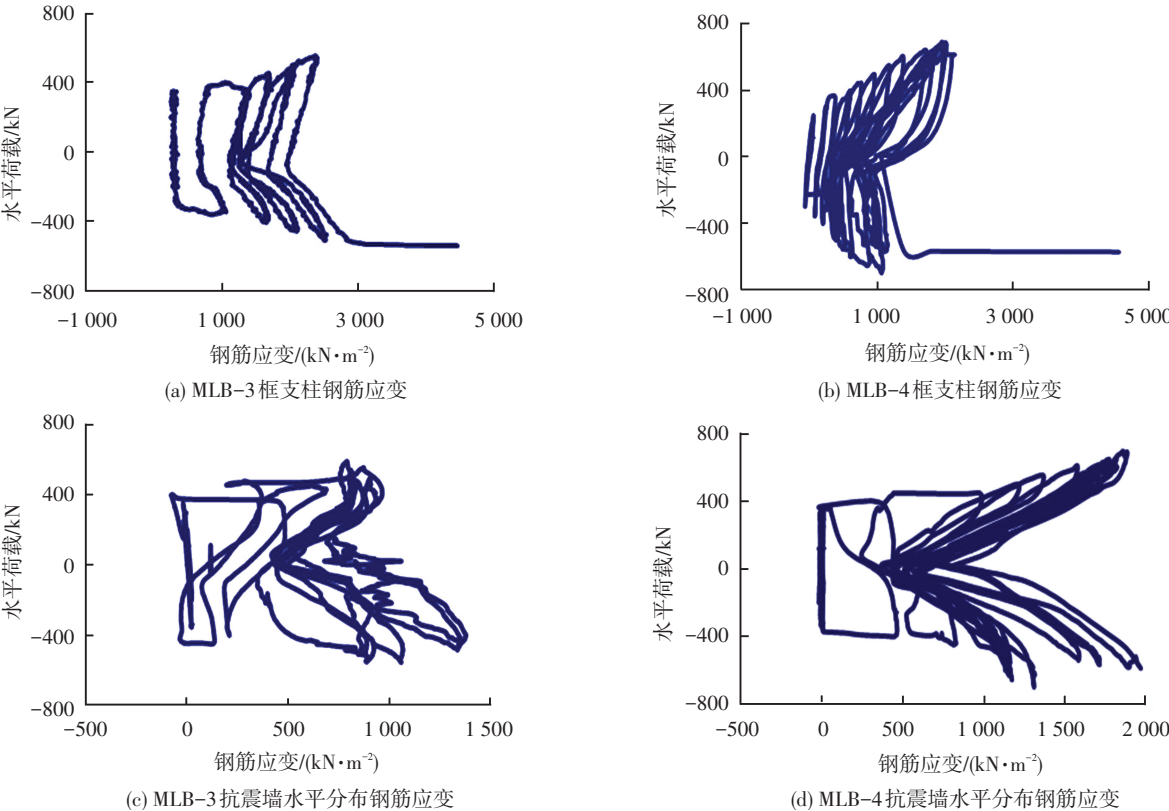


图 7 构件钢筋应变图

2.4 残余变形率分析

结构残余变形反映了结构的损伤程度和变形修

复能力^[13].本文采用平均残余变形率 δ_i ,探讨框支密肋复合墙结构可修复性能,见表 1.从表 1 可得:试件

δ_i 值逐渐增加;在试件达到峰值荷载时,其残余变形增长速率缓慢;当试件最终破坏时,其残余变形率仍然没有达到 0.5.说明底部框剪-密肋复合墙结构具有较强的变形恢复能力,最终破坏后的残余变形较小,结构具有良好的可修复性,且 MLB-4 的后期修复功能更强.

表 1 试件残余变形率

试件 编号	残余 变形率	开裂 状态	屈服 状态	峰值 状态	破坏 状态
MLB-3	δ_1	0.03	0.15	0.34	0.48
MLB-4	δ_2	0.02	0.12	0.26	0.39

2.5 框支密肋复合墙结构抗震设计建议

2.5.1 房屋适用高度和高宽比

框支密肋复合墙结构除应参照 GB50010—2011《建筑抗震设计规范》要求,结合《密肋复合板结构技术规程》中多层和高层密肋复合墙板适用层数、高度和高宽比的设计,建议底部设置剪力墙的框支-密肋复合墙结构,适用层数、高宽比限值见表 2.

表 2 框支密肋复合墙结构适用层数及房屋高宽比限值

抗震设防要求	层 数	高度/m	高宽比限值
8 度	≤10 层	≤33	2.5
抗震设计	7 度	≤15 层	≤45
6 度或非抗震设计	≤20 层	≤60	3.5

2.5.2 地震作用

1)高度不超过 40 m、以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的框支密肋复合墙结构,可采用底部剪力法进行简化计算.对于不适合采用底部剪力法计算的结构可采用振型分解反应谱法进行分析.

2)密肋复合墙体砌块开裂后,砌块内部裂缝界面摩擦过程会形成较高的阻尼,框支密肋复合墙结构体系在弹性动力分析时的阻尼比仍取 0.05.

3 结 论

1) 底部框剪-密肋复合墙体的破坏形式以上部密肋复合墙体和底部抗震墙破坏为主.底层框支柱和抗震墙钢筋应变在低周反复荷载作用下主要为受拉应变.密肋复合墙体按照填充砌块-密肋框格-隐形框架的破坏模式实现分级能量释放,形成结构的多道抗震防线,结构具备较高承载能力和抗倒塌能力.

2)下部抗震墙的存在,对框支柱起到支撑和约束作用,弥补底部大空间所造成的承载力和刚度降低,避免因底层框支柱变形过大而发生破坏.

3)上部密肋复合墙板采用斜交肋格的构造形式,起到类似桁架的作用,改变传力途径,上下层层间位移变形发展更充分且刚度分配更合理.

4) 框支密肋复合墙体具有较强变形恢复能力,在最终破坏后的残余变形较小,结构具有良好的可修复性,斜交肋格构造形式使得结构后期修复功能更强.

参考文献

[1] 梁兴文,王庆霖,梁羽凤.底部框架抗震墙砖房 1/2 比例模型拟动力试验研究[J].土木工程学报,1999,32(2): 14-21.

[2] LI X J, ZHOU Z H., YU H Y, et al. Strong motion observations and recordings from the great Wenchuan Earthquake[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration,2008,7(3):235-246.

[3] 刘锡军,邹银生.底部两层混凝土框剪八层砖房模型抗震试验研究[J].土木工程学报,2004,37(2):19-22.

[4] 叶列平,陆新征.汶川地震建筑震害分析[J]. 建筑结构学报,2008,29(4):1-9.

[5] BARROSO L R, BRENNEMAN S E, SMITH H A. Performance evaluation of controlled steel frames under multi-level seismic loads [J]. Journal of Structure Engineering,2002,128(11):1368-1378.

[6] LEE H S, KO D W. Shaking table tests of a high-rise RC bearing-wall structure with bottom piloti stories[J].Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2002, 1 (1):47-54.

[7] LIU P, YAO Q F. Dynamic reliability of structures: the example of multi-ribbed composite walls [J]. Structural Engineering and Mechanics, 2010,36(4): 463-479.

[8] JIA S Z, CAO W L, YUAN Q. An experimental study of frame-supported multi-ribbed composite walls [J]. Advances in Structural Engineering, 2015,18(4): 497-511.

[9] 贾穗子,袁泉.近断层地震动作用下密肋复合墙结构地震反应分析[J]. 哈尔滨工程大学学报,2012,33(11): 1366-1370.

[10] 袁泉,贾穗子.框支密肋复合板低周反复加载试验[J]. 土木工程学报,2014,47(8): 20-31.

[11] 贾穗子,袁泉.密肋复合墙结构滞回退化参数及耗能减震性能[J]. 华中科技大学学报,2013,41(7):32-35.

[12] 袁泉,何玉阳.框支密肋复合墙结构模型振动台试验研究[J]. 振动与冲击,2014,33(22):72-77.

[13] JGJ 101—1996 建筑抗震试验方法规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.

(编辑 赵丽莹)