

doi: 10.11835/j.issn.2096-6717.2020.095

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



六层足尺冷弯薄壁型钢-钢板剪力墙结构房屋 抗震性能振动台试验研究

周绪红^{1,2}, 姚欣梅², 石宇¹, 邹昱瑄², 谷永¹, 罗泽巧¹

(1. 重庆大学, 土木工程学院, 重庆 400045; 2. 长安大学, 建筑工程学院, 西安 710061)

Shake table tests on seismic performance of six-storey full scale cold-formed steel-steel plate shear wall structure buildings

Zhou Xuhong^{1,2}, Yao Xinmei², Shi Yu¹, Zou Yuxuan², Gu Yong¹, Luo Zeqiao¹

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China;

2. College of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, P. R. China)

冷弯薄壁型钢结构具有结构自重轻、绿色环保、装配化程度高、施工周期短等优点,在 5·12 汶川大地震灾后重建中得到推广应用。目前,冷弯薄壁型钢结构房屋在中国的研究及工程应用主要集中在低层(1~3 层)建筑,且墙体构造均为传统覆轻质墙板组合墙体。多层(4~6 层)冷弯薄壁型钢结构住宅工程实例较少,且缺少相关试验数据及设计理论支撑。目前,仅有 Ye 等^[1]对 5 层 1:2 缩尺强边柱冷弯型钢剪力墙结构房屋进行了单一地震波单向输入振动台试验研究;Wang 等^[2]对 6 层足尺冷弯薄壁型钢剪力墙结构进行了单向输入地震动振动台试验,结构高宽比为 2.6。两个试验难以反映多层房屋在双向地震动作用下的真实情况。《冷弯薄壁型钢多层住宅技术标准》(JGJ/T 421—2018)的发布,使多层冷弯薄壁型钢结构住宅有了科学指南,对于多层冷弯结构住宅在建筑行业的发展和具有重要的指导意义和促进作用。

在水平荷载作用下,定向刨花板、石膏板等墙面

板的拼接处以及自攻螺钉与墙面板的连接处易破坏,从而导致传统组合墙体的承载力偏低,难以满足多层冷弯薄壁型钢结构房屋对抗侧力体系的要求。Zhou^[3]提出了冷弯薄壁型钢帽形截面端柱夹支单层薄钢板剪力墙和钢管端柱-双面蒙皮钢板剪力墙两种新型冷弯薄壁型钢钢板剪力墙,并将其应用于多层冷弯薄壁型钢结构房屋,建立了明确的多层冷弯薄壁型钢-钢板剪力墙结构体系。

通过水平低周往复加载试验对两类钢板剪力墙进行抗剪性能试验研究。如图 1 所示,帽形截面端柱夹支单层薄钢板剪力墙由竖向双肢帽形截面端柱、水平双肢 L 形梁及内嵌 0.8 mm 薄钢板通过 ST5.5 自攻螺钉连接而成。在水平力作用下,钢板依靠端柱提供的锚固作用形成拉力带与端柱共同抵抗水平剪力。钢管端柱-双面蒙皮钢板剪力墙采用 6 mm 厚方钢管作为墙体端柱、其余立柱、导轨及横撑采用 C 形及 U 形冷弯薄壁型钢构件形成钢骨架,0.8 mm 薄钢板通过 ST4.8 自攻螺钉与钢骨架连接,主要依靠钢板与骨

收稿日期:2020-07-01

基金项目:国家自然科学基金(51890902);国家重点研发专项(2016YFC0701201)

作者简介:周绪红(1956-),男,中国工程院院士,教授,博士生导师,主要从事建筑结构研究,E-mail:zhouxuhong@126.com。

石宇(通信作者),女,教授,博士生导师,E-mail:shiyu7811@163.com。

架的螺钉连接产生蒙皮效应来提供抗剪能力。试验结果表明:帽形截面端柱夹支单层薄钢板剪力墙、螺钉间距为 50/300 的钢管端柱-双面蒙皮钢板剪力墙、螺钉间距为 150/300 的钢管端柱-双面蒙皮钢板剪力墙单位长度受剪承载力设计值依次为 44、27、16 kN/m,弹性抗侧刚度依次为 4.76、1.01、0.93 kN/mm。两类新型钢板剪力墙的承载力及刚度均明显高于传统冷弯薄壁型钢组合墙体。



(a) 帽形截面端柱夹支单层薄钢板剪力墙

(b) 钢管端柱-双面蒙皮钢板剪力墙

图 1 新型钢板剪力墙

Fig. 1 New types of steel plate shear walls

基于对两类新型钢板剪力墙抗剪性能试验的研究,对 6 层足尺冷弯薄壁型钢-钢板剪力墙结构房屋进行设计并进行振动台试验,模型的结构平面尺寸为 5.6 m(长)×4.2 m(宽),层高 2.7 m,总高 16.2 m,模型高宽比为 3.7,平面布置图见图 2。

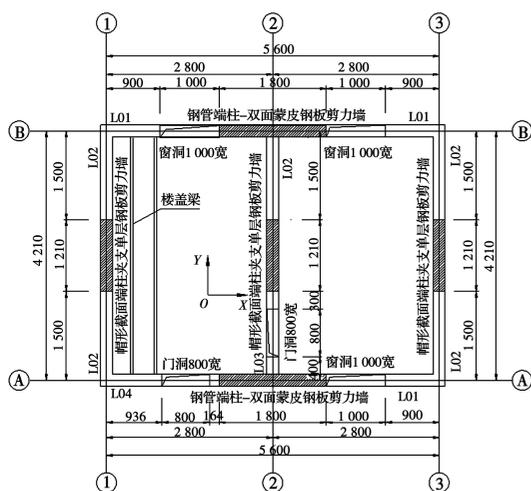


图 2 平面布置图

Fig. 2 Plane layout

为观测对比结构构件(钢板剪力墙)及非结构构件(墙面板)对 6 层冷弯房屋模型抗震性能的影响,分为施工阶段及正常使用阶段进行试验,如图 3 所示。在水平地震荷载作用下,施工阶段房屋模型水平剪力全部由剪力墙承担。帽形截面端柱夹支单层薄钢板剪力墙钢板形成斜向拉力带发生弹性屈曲变

形,钢管端柱-双面蒙皮钢板剪力墙通过钢板与钢龙骨的自攻螺钉连接抵抗水平力,钢板角部发生明显弹性剪切屈曲变形。在正常使用阶段,房屋模型在覆内外墙面板后,墙面板的蒙皮效应与钢板剪力墙共同抵抗水平剪力。随地震输入加速度峰值的增大,墙面板螺钉连接趋于破坏,蒙皮作用逐渐降低至失效,其抵抗的剪力全部由钢板剪力墙承担。因此,建议在多层冷弯薄壁型钢-钢板剪力墙结构房屋抗震设计中将钢板剪力墙作为主要抗侧力构件,墙面板的蒙皮作用作为房屋抗震能力的安全储备。



(a) 施工阶段模型

(b) 正常使用阶段模型

图 3 振动台试验模型

Fig. 3 Shake table test models

笔者提出的多层冷弯薄壁型钢-钢板剪力墙结构体系具有抗震性能优越、抗侧构件明确、模块化预制装配、全生命周期等优点,在中国大力推广绿色装配式建筑趋势及“人多地少”的基本国情下,发展多层冷弯薄壁型钢-钢板剪力墙结构体系更符合建筑业需求,可为发展多层结构体系的抗震设计方法提供理论依据。

参考文献:

- [1] YE J H, JIANG L Q. Simplified analytical model and shaking table test validation for seismic analysis of mid-rise cold-formed steel composite shear wall building [J]. Sustainability, 2018, 10(9): 3188.
- [2] WANG X, PANTOLI E, HUTCHINSON T C, et al. Seismic performance of cold-formed steel wall systems in a full-scale building [J]. Journal of Structural Engineering, 2015, 141(10): 04015014.
- [3] ZHOU X H. Research progress on cold-formed steel structural framing [J]. Steel Construction, 2020, 35 (1): 1-19.