

方钢管混凝土框架-两边连接薄钢板剪力墙力学性能研究

王先铁¹, 杨航东¹, 王连坤², 刘立达¹, 马尤苏夫¹, 党涛¹

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 五邑大学土木建筑学院, 广东 江门 529020)

摘要: 将薄钢板剪力墙与竖向边缘构件分开形成两边连接的薄钢板剪力墙, 既具有良好的建筑适用性, 又有利于保护框架柱. 采用有限元软件 ABAQUS 6.10 对方钢管混凝土框架-两边连接薄钢板剪力墙和四边连接薄钢板剪力墙进行了非线性数值分析. 通过对两边连接薄钢板剪力墙在侧向荷载作用下的受力特点分析, 提出了中梁梁端剪力计算公式和钢板墙开洞处中梁腹板厚度设计建议公式. 计算结果与数值分析结果吻合很好. 基于建议公式的分析模型实现了“弱板强框架、强柱弱梁”的抗震设计理念, 实现了双重抗震设防目标. 四边连接与两边连接薄钢板墙的抗震性能比较表明, 两边连接会明显降低方钢管混凝土框架-薄钢板剪力墙的侧向承载力, 但仍具有稳定的滞回性能, 良好的耗能能力和延性.

关键词: 方钢管混凝土框架; 薄钢板剪力墙; 两边连接; 力学性能; 剪切破坏

中图分类号: TU391

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)05-0665-06

钢板剪力墙是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新型抗侧力构件, 具有优异的结构性能, 包括较高的强度、较大的初始弹性刚度、大变形能力、稳定的滞回特性和优异的塑性耗能性能等^[1-2]. 由于厚钢板墙造价较高^[3], 在工程中应用较少. 薄钢板剪力墙研究表明, 如果薄钢板墙具有足够强的周边框架, 其屈曲后强度能够达到屈曲强度的 10 倍, 并且具有良好的延性和经济性^[4]. 因此, 薄钢板剪力墙受到广泛关注, 国内外相关研究较多.

以往关于钢板墙的研究, 多集中于 H 型钢柱作为钢板剪力墙的竖向边缘构件, 结果表明, 钢板剪力墙屈曲产生的“拉力场”会对柱子产生较大的附加弯矩, 易使柱子先于钢板墙破坏, 不能充分发挥钢板墙的结构性能, 不符合“强柱弱梁”的设计要求. 随着高层建筑在我国的迅猛发展, 具有诸多优越性能的钢管混凝土柱已成为高层建筑结构设计中优先考虑使用的结构构件^[5]. 研究表明^[6-8], 方钢管混凝土框架比纯钢框架具有更高的强度、刚度以及耗能能力. 采用方钢管混凝土柱作为薄钢板墙的竖向边框, 可将钢管混凝土承载力高、延性好与薄钢板墙抗侧移刚度大、耗能能力高的优点结合, 是充分发挥二者结构性能的最佳组合.

普通的四边连接钢板剪力墙虽然具有较高的承载力和优良的耗能性能, 但屈曲后“拉力场”不仅使框架柱产生附加弯矩, 使方钢管柱壁产生面外变形, 而且不利于水、电管线等洞口设置. 文献[9]提出将内填钢板与竖向边缘构件分开, 形成两边连接的形式, 既可满足建筑使用功能, 又有利于保护框架柱. 对于两边连接钢板墙, 需在开洞处钢板墙边缘设置竖向加劲肋, 以更好地发挥钢板墙性能. 由于边缘加劲肋的竖向力使开洞处中梁剪力过大, 钢梁腹板易发生破坏^[10]. 本文利用非线性有限元软件 ABAQUS 6.10 对方钢管混凝土框架-两边连接薄钢板剪力墙的受力性能进行了研究, 分析了两边连接薄钢板剪力墙的力学性能, 提出了开洞处中梁腹板厚度设计建议, 比较了两边连接与四边连接薄钢板墙的抗震性能.

1 分析模型

参考实际工程, 并为试验研究提供依据, 设计了两个单跨两层的 1:3 缩尺模型, 如图 1 所示. 柱子为 $\square 200 \times 6$ 方钢管, 内灌 C40 混凝土, 底梁和顶梁截面均为 $H300 \times 150 \times 10 \times 12$, 中梁截面为 $H200 \times 100 \times 10 \times 12$, 钢板墙厚度为 3 mm. 两个模型编号分别为 SFPW-1 和 SFPW-2. 其中, SFPW-1 钢板墙尺寸为 $-1\ 150\text{ mm} \times 1\ 150\text{ mm}$; SFPW-2 钢板墙尺寸为 $-950\text{ mm} \times 1\ 150\text{ mm}$, 宽高比为 0.83, 高厚比为 383, 钢板墙与柱相距 100 mm. 钢板墙开洞处加劲肋类似于中柱(下均称中柱), 为提高开洞补强效应, 中柱不仅要提供面外抗侧刚度, 还要具有一定的面内抗侧刚度. 经分析对比, 中柱采用[5, 对称布置于钢板墙自由边两侧. 中柱与梁、钢板墙焊接. 钢材全部选用 Q235B, 屈服强度 $f_y=235\text{ N/mm}^2$, 弹性模量 $E_s=2.06 \times 10^5\text{ N/mm}^2$, 泊松比 $\nu=0.3$. 钢

收稿日期: 2014-03-10

修改稿日期: 2014-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(51108369, 51208385), 陕西省科技新星科研项目(2013KJXX-54), 住房和城乡建设部科学技术项目(2014-K2-007)

作者简介: 王先铁(1979-), 男, 教授, 博士, 主要从事钢结构与钢管混凝土结构研究. E-mail: wangxiantie@163.com

材的本构关系均定义为理想弹塑性。

采用有限元软件 ABAQUS 6.10 对模型进行分析,钢框架和薄钢板墙均选用考虑大变形小应变的线性减缩薄壳单元 (S4R),混凝土选用八节点线性减缩六面体单元 (C3D8R)。采用塑性损伤模型定义混凝土材料,塑性参数取“ABAQUS Analysis User's Manual”^[11]给出的缺省值,见表 1。

该模型综合了非关联多轴硬化塑性和各向同性线性损伤模型,可以用来模拟往复荷载作用下,混凝土开裂和压碎引起的不可恢复损伤。参考文献[12]给出的混凝土立方体抗压强度试验结果,采用文献[13]提出的公式得到约束混凝土单轴应力-应变曲线,如图 2 所示。钢管柱壁与内填混凝土法线方向采用“硬”接触,以传递接触面之间沿法线方向压力;切线方向截面摩擦系数 μ 取 0.60。方钢管混凝土框架-薄钢板墙的有限元模型如图 3 所示。实际结构中,由于梁上刚性楼板约束其面外变形,能够有效防止整体失稳。因此,有限元分析中,约束 H 型钢梁上翼缘的面外平动自由度,防止加载过程中钢梁面外失稳。柱脚约束三向平动和转动自由度,模拟嵌固边界条件,梁柱连接采用内隔板式节点。柱顶施加 816 kN 的竖向荷载,对应轴压比为 0.40。有限元分析中钢板墙考虑 1/1000 的初始几何缺陷,水平荷载采用位移加载方式实现。

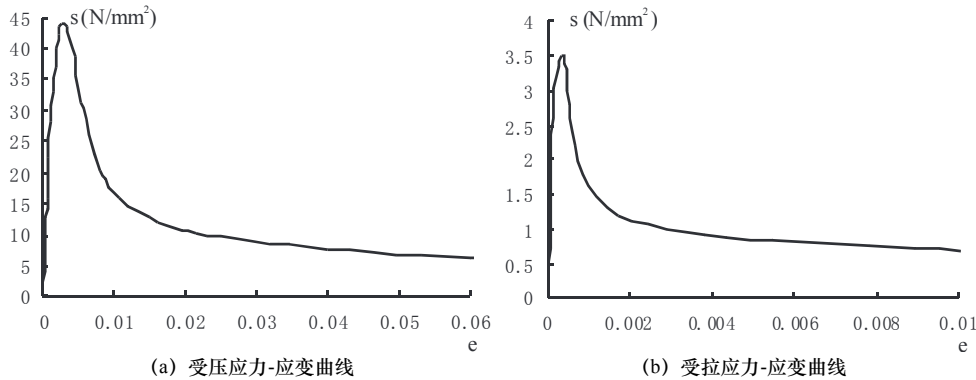


图 2 混凝土单轴应力-应变曲线
Fig.2 Uniaxial stress-strain curves of concrete

2 开洞处钢梁腹板厚度确定

2.1 钢板墙受力分析

两边连接钢板剪力墙传力路径与四边连接不同,中柱为两边连接薄钢板墙提供竖向约束。因此,中柱会将“拉力场”产生的竖向力传递给横梁。图 4 为柱顶侧移角达到 1/400 时的应力云图。由图可知,对中梁而言,上下层钢板墙产生的竖向力同向,导致开洞处中梁腹板剪应力增大,易过早进入塑性破坏,影响结构破坏机制,不利于发挥薄钢板墙屈曲后强度。因此,为充分发挥钢板墙屈曲后强度,需增大钢板墙开缝范围内中梁腹板厚度。

为简化分析,作如下基本假定:①薄钢板剪力墙完全屈服,形成均匀“拉力场”,“拉力场”的倾角为 45°;②中柱所受轴力均分给两端横梁;③梁的剪力由腹板承担。

根据 AISC^[14]计算薄钢板墙边缘构件的轴力。侧向荷载作用下,薄钢板墙屈曲形成“拉力场”。图 5 为作用在薄钢板墙边缘构件上“拉力场”的水平和竖向分量。其中, q_{cv} 为作用在柱上“拉力场”的竖向分量; q_{ch} 为作用在柱上“拉力场”的水平分量; q_{bv} 为作用在梁上“拉力场”的竖向分量; q_{bh} 为作用在梁上“拉力场”的水平分量; F_{yw} 为钢板墙的屈服强度; α 为“拉力场”与竖向边缘构件的夹角; t 为钢板墙的厚度;

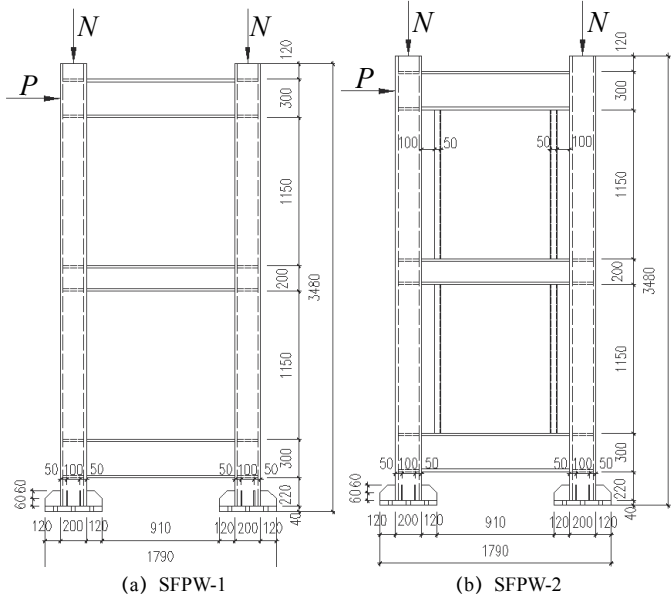


图 1 模型尺寸
Fig.1 Geometric dimensions of models

表 1 混凝土材料的塑性参数
Tab.1 Plastic coefficients of concrete

膨胀角	偏心率 ε	σ_{b0}/σ_{c0}	形状系数 K_C	黏性系数
30°	0.1	1.16	0.667	0.0005

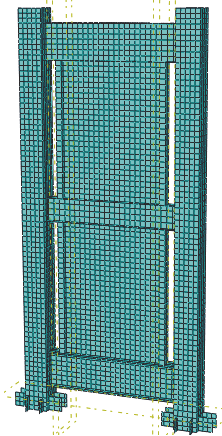


图 3 有限元模型
Fig.3 Finite element model

Δ 为钢板墙“拉力场”宽度. 则有:

$$q_{bv} = \frac{F_{yw}t\Delta\cos(\alpha)}{\Delta/\cos(\alpha)} = F_{yw}t\cos^2(\alpha); \quad q_{bh} = \frac{F_{yw}t\Delta\sin(\alpha)}{\Delta/\cos(\alpha)} = \frac{1}{2}F_{yw}t\sin(2\alpha)$$
$$q_{cv} = \frac{F_{yw}t\Delta\cos(\alpha)}{\Delta/\sin(\alpha)} = \frac{1}{2}F_{yw}t\sin(2\alpha); \quad q_{ch} = \frac{F_{yw}t\Delta\sin(\alpha)}{\Delta/\sin(\alpha)} = F_{yw}t\sin^2(\alpha)$$

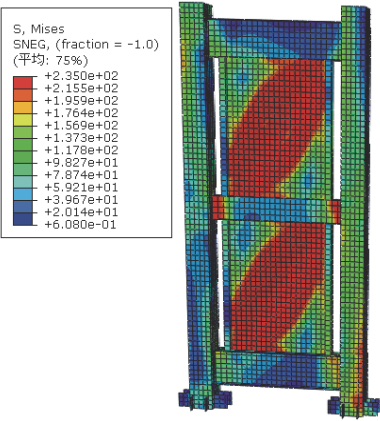


图 4 应力云图
Fig.4 Von Mises stress

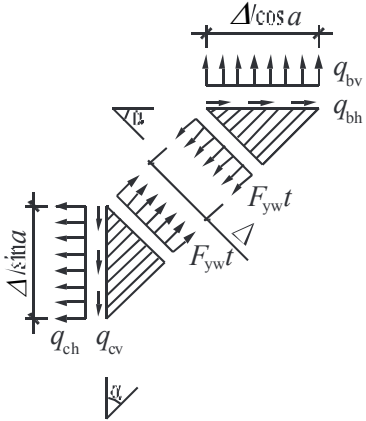


图 5 边缘构件拉力场分量
Fig.5 Components of tension field of boundary elements

2.2 中梁受力分析

中梁腹板所受剪力包括: ①框架侧移产生的弯矩引起的剪力 V_M ; ②中柱轴力产生的剪力 V_c ; ③上下层钢板剪力墙水平剪应力引起的弯矩所产生的剪力 V_τ .

(1) 假定框架梁端完全屈服, 塑性铰跨度为 $0.8L$. 可得中梁达到塑性极限状态时, 剪力 V_M 为^[15]:

$$V_M = \frac{(\beta_1 + \beta_2)F_{yb}Z}{8L/10}$$
(1)

其中: $\beta_1 = 1 - \frac{P_{b1}}{P_{by}}$, $\beta_2 = 1 - \frac{P_{b2}}{P_{by}}$, P_{b1} 、 P_{b2} 为梁端轴力, P_{by} 为中梁屈服时的轴压承载力; L 为梁的跨度.

(2) 开洞处中柱传递给中梁的剪力 V_c 为:

$$V_c = \frac{1}{4}F_{yw}h(t_i + t_{i+1})$$
(2)

(3) 由梁上下侧剪应力产生的弯曲效应引起的剪力 V_τ 为:

$$V_\tau = \frac{1}{4}F_{yw}h_b(t_i + t_{i+1})$$
(3)

联合式 (1)、(2)、(3) 得:

$$V = \frac{(\beta_1 + \beta_2)F_{yb}Z}{8L/10} + \frac{1}{4}F_{yw}(h + h_b)(t_i + t_{i+1})$$
(4)

因此, 开洞处中梁腹板厚度为:

$$t_b = \frac{V}{h_b\tau_{fy}}$$
(5)

其中: τ_{fy} 为框架梁屈服强度; h 为钢板剪力墙高度; h_b 为中梁腹板高度; t_i 为第 i 层钢板墙厚度; t_{i+1} 为第 $i+1$ 层钢板墙厚度; t_b 为腹板厚度.

2.3 分析结果验证

对于模型 SFPW-2, 由以上分析可得开洞处钢梁腹板厚度应取 24 mm. 记增大开洞处腹板厚度试件编号为 SFPW-2m. 对 SFPW-2m 进行数值分析, 将开洞处中梁腹板剪力公式 (4) 计算值与有限元计算值比较, 如表 2 所示. 可知, 计算结果与有限元分析结果吻合很好, 有限元结果略小于公式计算值, 这是由于钢板剪力墙未完全屈服, “拉力场”形成不充分.

表 2 中梁腹板开洞处剪力
Tab.2 Shear force of opening of mid-beam web

模型编号	式(4)计算值 /kN	有限元值 /kN	差值 /%
SFPW-2m	562.9	544.0	3.35

2.4 破坏形态

图6所示为SFPW-2m柱顶侧移达到120 mm时的应力云图。由图可知,钢板墙基本全部进入屈服,“拉力场”充分形成,开洞处中梁腹板最大剪应力为122.6 MPa,未进入屈服。钢板墙屈服后,随着加载位移增大,开洞处中梁翼缘先于柱破坏,实现了理想的破坏模式。表明公式(5)计算结果符合“弱板强框架,强柱弱梁”的设计理念,可充分发挥钢板墙的耗能性能。

3 抗震性能分析

为深入了解方钢管混凝土框架-两边连接薄钢板剪力墙的抗震性能,对模型SFPW-1和SFPW-2m分别进行循环荷载作用下的非线性数值分析,并对比分析结果。

3.1 滞回性能和延性

水平荷载采用位移加载,位移幅值分别为: $\pm\delta_y$, $\pm2\delta_y$, $\pm3\delta_y$, $\pm4\delta_y$, $\pm5\delta_y$, $\pm6\delta_y$, 屈服位移 $\delta_y=20$ mm。水平荷载-位移滞回曲线如图7所示。由图可知,二者滞回曲线饱满,滞回性能稳定,但略有捏缩现象。由于外荷载反向作用时,原来的拉力带将反向受压,不再提供刚度;同时受压区域将过渡为拉力带区,但由于在上一级荷载下曾发生过较大压屈变形,故有一个压屈变形被拉伸“平展”的过程。SFPW-1的捏缩程度略高于SFPW-2m。模型骨架曲线如图8所示,从图中可以看出,由于SFPW-2m两侧开洞对钢板墙削弱的影响,SFPW-1的初始刚度和承载力高于SFPW-2m。二者均有良好的延性。

3.2 耗能能力

图9比较了两个模型的单周和累积滞回耗能性能。与四边连接薄钢板剪力墙相比,两边连接钢板剪力墙由于两侧开洞影响,导致耗能能力低于四边连接钢板墙。但由于两边连接钢板墙具有很好的延性,而且捏缩效应不显著,使得SFPW-2m与SFPW-1的累积耗能比值从第一周的80.6%上升到最终的83.3%。总体而言,二者都有较高的耗能能力。

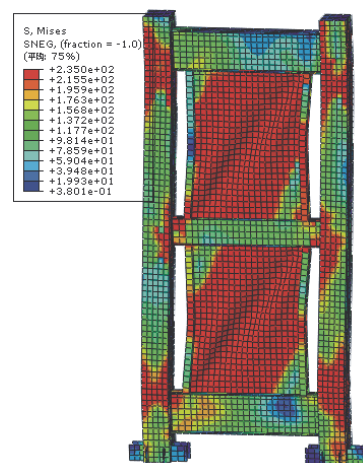


图6 SFPW-2m 应力云图

Fig.6 Von Mises stress of SFPW-2m

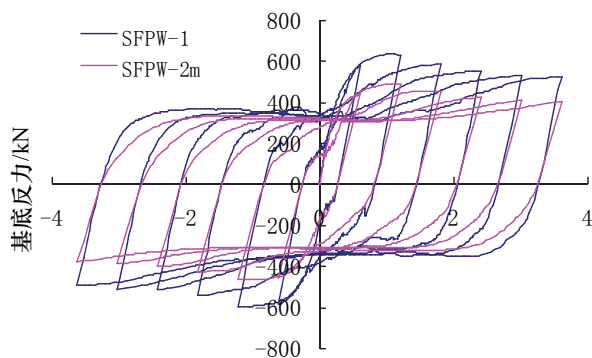


图7 滞回曲线

Fig.7 Hysteretic curves

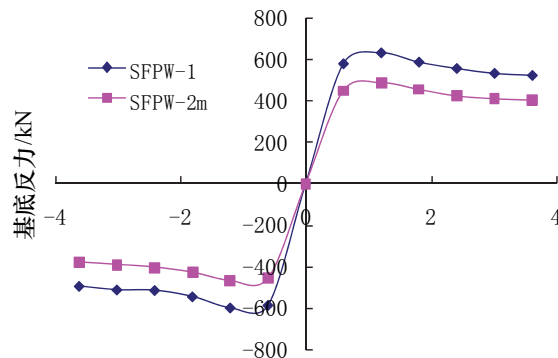
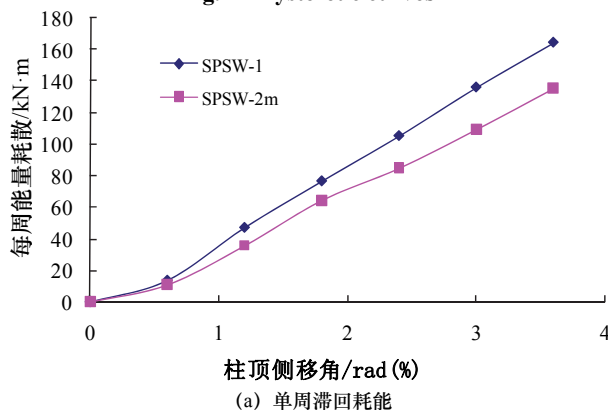
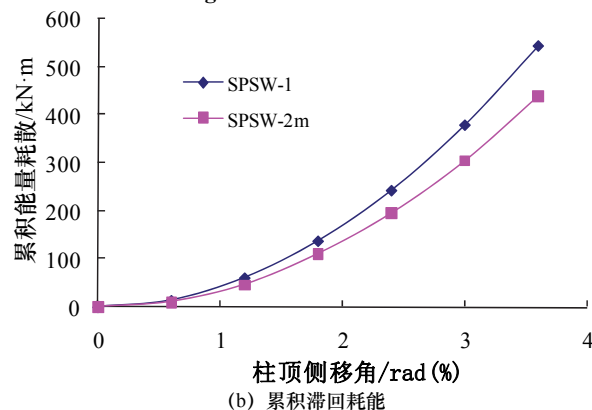


图8 骨架曲线

Fig.8 Skeleton curves



(a) 单周滞回耗能



(b) 累积滞回耗能

图9 滞回耗能比较

Fig.9 Comparison of hysteretic energy dissipation

3.3 刚度退化

图10为方钢管混凝土框架-四边连接薄钢板剪力墙(SFPW-1)与两边连接薄钢板剪力墙(SFPW-2m)的侧向刚度-柱顶侧移角曲线。由图可知,SFPW-1侧向刚度较SFPW-2m大,表明两边开缝会降低结构抗侧刚度,但其影响相对较小。由于薄钢板墙的屈曲,在柱顶侧移角小于1%时,抗侧刚度退化较为明显。

4 结论

(1) 基于方钢管混凝土框架-薄钢板剪力墙受力性能的分析,提出了钢板墙开洞处中梁剪力及开洞处中梁腹板厚度计算公式,与数值分析结果吻合很好,符合“强柱弱梁,弱板强框架”的设计理念,可实现双重抗震设防目标。

(2) 基于建筑要求将钢板墙与竖向边缘构件分开,即两边连接,可避免薄钢板墙“拉力场”对方钢管混凝土柱的不利影响,更好地发挥方钢管混凝土框架与薄钢板墙的结构性能。

(3) 两边连接与四边连接钢板墙的抗震性能比较表明,两边连接钢板墙的承载力、刚度、耗能能力明显低于四边连接钢板墙,但二者都具有很好的延性和耗能性能。

参考文献 References

- [1] 郭彦林,董全利. 钢板剪力墙的发展与研究现状[J]. 钢结构, 2005, 20(1): 1-6.
GUO Yanlin, DONG Quanli. Research and application of steel plate shear wall in high-rise buildings[J]. Steel construction, 2005, 20(1): 1-6.
- [2] 王迎春,郝际平,李峰,等. 钢板剪力墙力学性能研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2007, 39(2): 181-186.
WANG Yingchun, HAO Jiping, LI Feng, et al. Study on mechanical property of steel plate shear walls[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2007, 39(2): 181-186.
- [3] 聂建国,朱力,樊健生,等. 钢板剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(1): 61-69.
NIE Jianguo, ZHU Li, FAN Jiansheng, et al. Experimental research on seismic behavior of steel plate shear walls[J]. Journal of Buildings Structures, 2013, 34(1): 61-69.
- [4] THORBURN J, KULAK G L, MONTGOMERY C J. Analysis of steel plate shear walls[R]// Structural Engineering Report No. 107. Edmonton, Canada: Department of Civil Engineering, University of Alberta Edmonton, 1983.
- [5] 容柏生,李盛勇,陈洪涛,等. 中国高层建筑中钢管混凝土柱的应用与展望[J]. 建筑结构, 2009, 39(9): 33-38.
RONG Baisheng, LI Shengyong, CHEN Hongtao, et al. Application and future perspective of concrete fill steel tube column in tall buildings[J]. Building Structure, 2009, 39(9): 33-38.
- [6] 吕西林,陆伟东. 反复荷载作用下方钢管混凝土柱的抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2000, 20(2): 2-11.
LÜ Xilin, LU Weidong. Seismic behavior of concrete-filled rectangular steel tubular columns[J]. Journal of Buildings Structures, 2000, 20(2): 2-11.
- [7] 王先铁,郝际平,周观根,等. 方钢管混凝土柱-钢梁平面框架抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(8): 8-14.
WANG Xiantie, HAO Jiping, ZHOU Guangen, et al. Experimental research on seismic behavior of concrete-filled square steel tube columns and steel beam planar frames[J]. Journal of Buildings Structures, 2010, 31(8): 8-14.
- [8] KAWAGUCHI J, MORINO S, SUGIMOTO T, et al. Experimental study on structural characteristics of portal consisting of square cft column[J]// Proceedings of the Conference Composite Construction in Steel and Concrete IV. Banff, Canada: American Society of Civil Engineers, 2002.
- [9] XUE M, LU L W. Interaction of infilled steel shear wall panels with surrounding frame members[C]// Proceedings of Structural Stability Research Council Annual Technical Session. Bethlehem, PA, 1994: 339-354.
- [10] 徐曼,王玉银,张素梅. 两边连接钢板剪力墙抗剪静力性能分析[J]. 工业建筑, 2009, 39(3): 107-111.
XU Man, WANG Yuyin, ZHANG Sumei. Shear resistance behavior of two-side connected steel-plate shear wall (SPSW)[J]. Industrial Construction, 2009, 39(3): 107-111.
- [11] Dassault Systemes Simulia Corp. ABAQUS analysis user's manual version 6.10[M]. Providence, RI: Dassault Systemes Simulia Corp., 2010.
- [12] 马尤苏夫. 穿芯高强螺栓-端板节点方钢管混凝土平面框架的抗震性能研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.
MA Yousufu. Study on seismic behavior of concrete filled square steel tube planar frames with through bolt-endplate beam-to-column connection[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012.
- [13] 刘威. 钢管混凝土局部受压时的工作机理研究[D]. 福建: 福州大学, 2005.
LIU Wei. Research on mechanism of concrete-filled steel tubes subjected to local compression[D]. Fujian: Fuzhou University, 2005.
- [14] American institute of steel construction. Specification for Structural Steel Buildings[S]. Chicago: AISC, 2005.
- [15] BING Qu, MICHEL Bruneau. Capacity design of intermediate horizontal boundary elements of steel plate shear walls[J]. Journal of Structural Engineering, 2010, 136(6): 665-675.

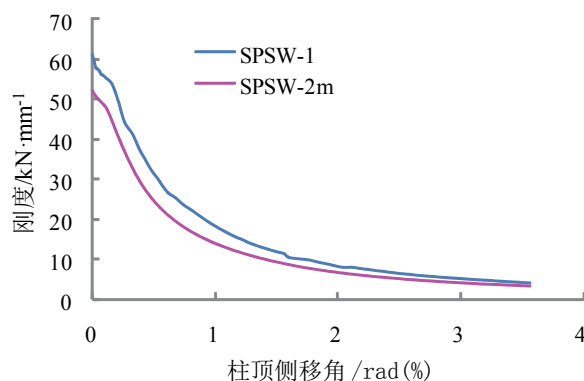


图10 刚度-柱顶侧移角曲线

Fig.10 Stiffness-top lateral drift angle curves

Mechanical behavior study of concrete-filled square steel tubular frame-thin steel plate shear walls with two-side connections

WANG Xiantie¹, YANG Hangdong¹, WANG Liankun², LIU Lida¹, MA Yousufu¹, DANG Tao¹

(1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China;

2. College of Civil and Architecture, Wuyi University, Jiangmen 529020, China)

Abstract: Thin steel plate shear wall with two-side connections, which is separated from the vertical boundary elements, has good applicability for architecture and is beneficial for protecting the columns. The nonlinear numerical analysis of concrete-filled square steel tubular frame-thin steel plate shear walls with two-side and four-side connection was carried out by the finite element software ABAQUS 6.10. The mechanical characteristics of thin steel plate shear walls connected only with frame beams under lateral load were analyzed. The formulas for calculating the shear forces of mid-beam at the ends and the thickness of the beam web were proposed. The formula results agree well with the analytical ones. The model which is based on the recommended formula implements the aseismic principle of "weak plate and strong frame, strong column and weak beam" and achieves double aseismic fortification objectives. The comparison of aseismic behavior between thin steel plate shear walls which are two-side connected and four-side connected with the frames shows that the former one also has stable hysteretic behavior, excellent ductility and energy dissipation capacity much as the two-side connection obviously reduces the horizontal bearing capacity.

Key words: concrete-filled square steel tubular frame; thin steel plate shear wall; two-side connection; mechanical behavior; shear failure

(本文编辑 桂智刚)

(上接第 664 页)

with CFRP[J]. Journal of Southeast University, 2006, 39(8): 28-30.

- [8] 于峰, 牛荻涛, 武萍. PVC-FRP管混凝土结构实际应用的可行性研究[J]. 建筑科学, 2007, 23(11): 103-104.
YU Feng, NIU Ditao, WU Ping. Research on the concrete filled PVC-FRP tube structure[J]. Building Science, 2007, 23(11): 103-104.
- [9] 于峰. PVC-FRP管混凝土柱力学性能的试验研究与理论分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
YU Feng. Experimental study and theoretical analysis on mechanical behavior of PVC-FRP confined concrete column[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2007.
- [10] 徐芝伦. 弹性力学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
XU Zhilun. Elastic mechanics[M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [11] 钟善桐. 钢管混凝土统一理论—研究与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
ZHONG Shantong. Unified theory of concrete filled steel tube—research and application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.

Analysis on bearing capacity of PVC-FRP confined reinforced concrete column under eccentric compression

YU Feng¹, LI Deguang¹, NIU Ditao², XU Guoshi¹, CHENG Anchun¹, XU Lin¹

(1. College of Civil Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China;

2. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The failure mechanism of PVC-FRP confined reinforced concrete column under eccentric compression is analyzed in this paper. According to the elastic theory, PVC-FRP tube can be equivalent to the two-way composite tube, using strain coordination conditions, a calculating method for the hoop force exerted by PVC-FRP tube to core concrete is obtained. On the basis of the limit equilibrium theory, the calculation formula of bearing capacity of PVC-FRP confined reinforced concrete column under eccentric compression is deduced. The calculated values of proposed model agree well with experimental results. This paper presents theoretical basis for the mechanical properties of PVC-FRP confined concrete column under complex stress state.

Key words: PVC-FRP confined concrete column; eccentric compression; bearing capacity; elastic theory; limit equilibrium theory

(本文编辑 沈波)