

文章编号: 1673-9469 (2017) 01-0038-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2017.01.009

框架摇摆墙结构受力性能研究

沈金生, 余丁浩, 杨树标

(河北工程大学土木工程学院, 河北邯郸 056038)

摘要: 以某六层框架结构作为分析对象, 设置不同刚度的摇摆墙, 研究加入摇摆墙前后以及摇摆墙刚度大小对结构内力分布及变化规律的影响。分析结果表明: 当框架结构层间刚度不均匀时, 对摇摆墙的内力分布和结构受力会产生较大的影响, 摇摆墙的剪力、弯矩均随地震强度和刚度比的增加而增加, 摇摆墙的加入减小了框架部分的地震作用, 达到防止出现薄弱层的作用。

关键词: 框架摇摆墙结构; 层间刚度; 地震作用; 刚度比

中图分类号: TU398

文献标识码: A

Study on mechanical performance of frame-rocking wall structure

SHEN Jinsheng, YU Dinghao, YANG Shubiao

(Hebei university of engineering construction engineering college, hebei handan 056038, China)

Abstract: This article takes the six story frame structure adding different stiffness wall as the analysis object. The effects of adding the rocking wall and the wall stiffness variation on the structure internal force distribution and the changing rule are studied. From the analysis results it is concluded that: when the interlayer stiffness of the framework is uneven, it has great influence on the internal force distribution of rocking wall and the force of the structure. The shear force and the bending moment of the rocking wall increase with the increasing of earthquake intensity and stiffness ratio. With the addition of the rocking wall, the seismic effect of the frame part decreases, and the emergence of the weak layer is prevented.

Key words: frame-rocking wall structure; interlayer stiffness; seismic action; stiffness ratio;

大量震害实例表明, 框架结构很难实现“强柱弱梁”, 柱端出铰的现象十分普遍, 由此引起了大量框架结构出现层屈服破坏现象, 此时结构的损伤集中于某一层, 结构整体的耗能能力很低。框架剪力墙结构虽然可以解决这一问题, 但剪力墙的墙脚处弯矩值和剪力值均较大, 容易引起墙脚的破坏和设计困难^[1-2]。因此, 有学者提出了框架摇摆墙结构体系^[3-7], 即放松剪力墙墙脚的转动约束, 将其由固结变为铰接。将墙体不作为承重构件, 只是改变原框架结构变形模式, 其作用是控制结构的薄弱层、平均各层的层间位移, 且摇摆墙的剪力峰值和弯矩峰值不在同一个截面, 避免了截面设计的困难。文献[8]中介绍了一种简化计算方法, 该方法有利于从概念上认识框架摇摆墙的一些基本的受力特征, 但在计算过程中对结构模型进行了较多的简化且仅限

于弹性阶段, 与实际结构相差较大, 且无法计算在框架进入非线性后的受力特征, 因此本文以一个实际钢筋混凝土框架工程为研究对象, 由于其4层框架柱截面尺寸的改变, 层间刚度变化较大, 建立框架摇摆墙结构的有限元分析模型, 采用不同摇摆墙与框架的刚度比, 进行动力弹塑性分析, 研究框架摇摆墙结构的受力特征和规律。

1 数值模型

模型结构的设防烈度为7度(0.15g), 场地类别为Ⅲ类, 场地特征周期为0.45s, 抗震等级为三级。1~3层框架柱为650mm×650mm, 4~6层框架柱为550mm×550mm。框架结构混凝土为C30, 摇摆墙的混凝土为C40, 截面高度为2m。通过厚度改变摇摆墙的刚度, 参数及模型见表1、图1。

收稿日期: 2016-12-12

特约专稿

基金项目: 河北省教育厅科学研究计划项目(ZD2016147)

作者简介: 沈金生(1979-), 男, 河北邯郸人, 硕士, 讲师, 从事结构抗震工程方面的研究。

表 1 摇摆墙参数
Tab.1 The parameters of rocking wall

结构编号	墙体数量单墙截面宽度	墙体总抗弯刚度 / (kN · m ²)	刚度比 / %
W1	4 200 mm	1.73×10^7	2.294
W2	4 300 mm	2.60×10^7	3.411
W3	8 200 mm	3.47×10^7	4.588
W4	4 300 mm+4 200 mm	4.33×10^7	4.734

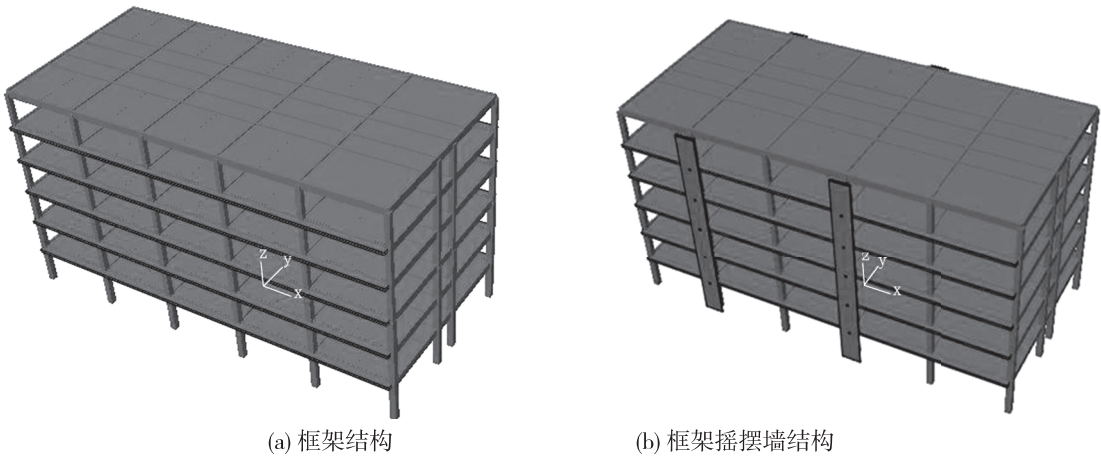


图 1 结构模型

Fig.1 Structure models

2 计算结果及分析

2.1 摇摆墙剪力分布规律

由图 2 可以看出摇摆墙在各个部位的剪力均随其刚度的增加而增加，然而在地震强度较高时，框架柱变截面楼层摇摆墙的剪力随其刚度的增加而增

加的幅度小于其他部位，当地震强度为 0.6 g 时，W1 结构第四层处的摇摆墙剪力为 3 535.46 kN，W4 结构为 3 955.77 kN，其增加幅度仅为 11.89%。而 W1 和 W4 结构分别对应的底层处摇摆墙剪力为 3 360.74 kN 和 5 323.48 kN，增幅为 58.40%。

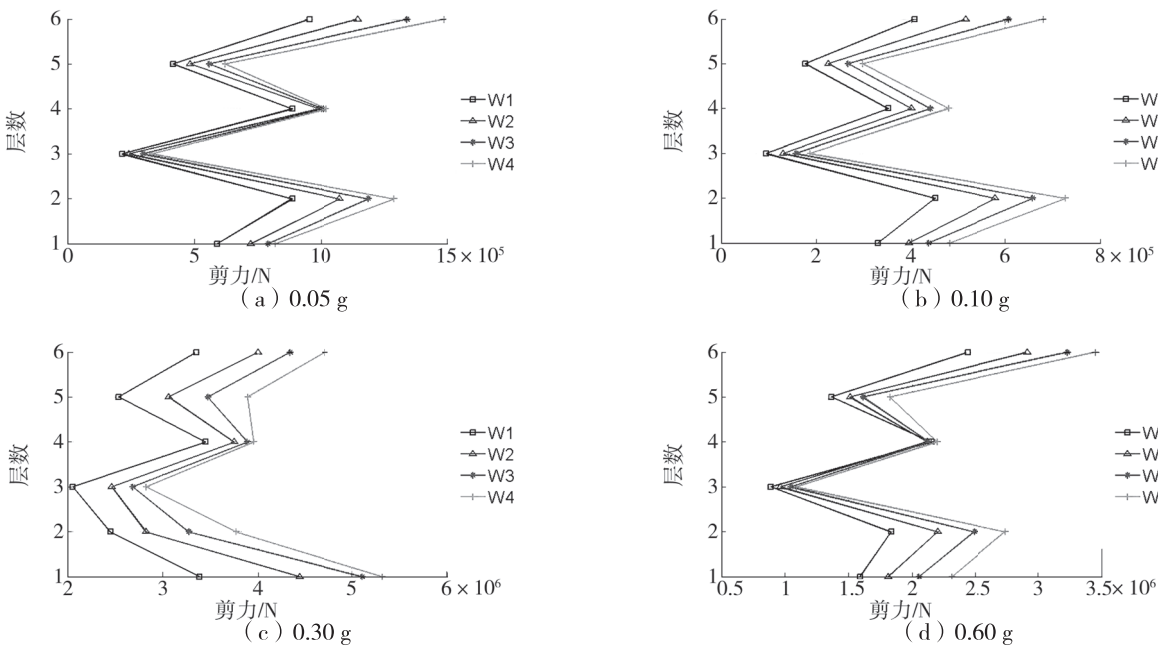


图 2 摇摆墙剪力分布图

Fig.2 The distribution of shear force of rocking wall

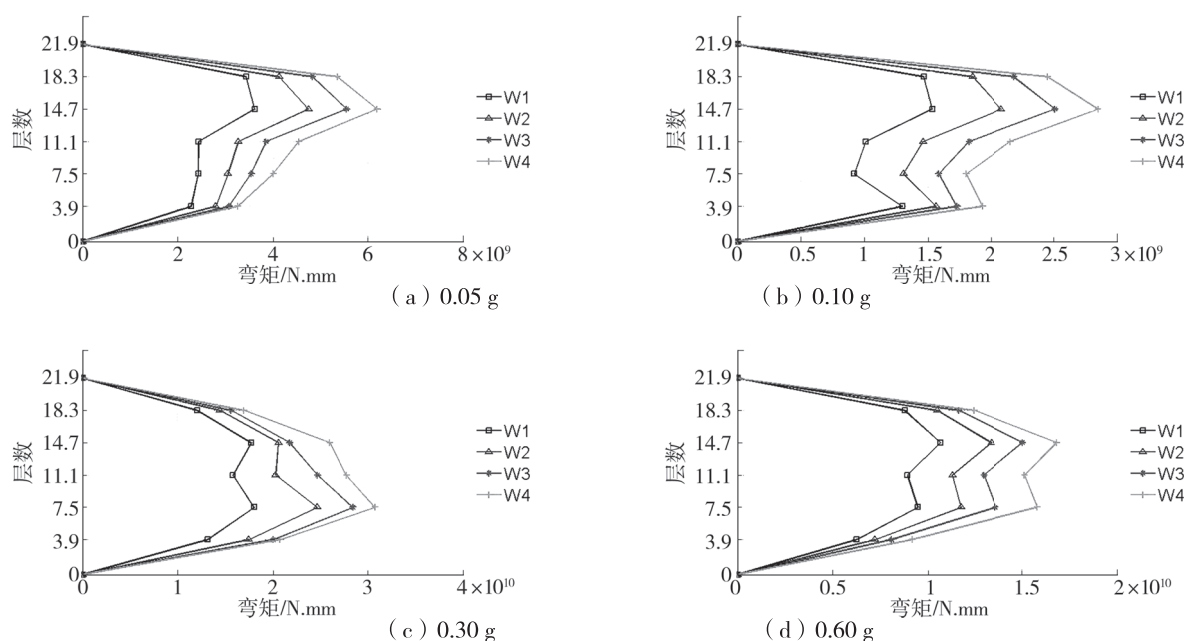


图3 摇摆墙弯矩分布

Fig.3 The distribution of bending moment of rocking wall

2.2 摇摆墙弯矩分布规律

从图3可以看出,不同地震强度下各个结构的墙体平均弯矩分布形式基本相似,各层的平均弯矩均随摇摆墙刚度的增加而增加。随着地震强度的增加,摇摆墙的弯矩分布规律逐渐改变,表现为当地震强度较高时,摇摆墙的中部弯矩较大,在框架柱变截面处的弯矩出现了极小值,极大值出现的部位与之相邻。此时已无法观察到框架结构底层的刚度突变对摇摆墙弯矩分布形式产生的影响。

框架柱层间刚度的改变增加了该处摇摆墙的剪力值,同时减小该处摇摆墙的弯矩值。故而在对摇摆墙进行配筋设计时应加强框架变截面楼层处的抗剪配筋和与该楼层相邻部位的抗弯配筋。

2.3 框架受力规律

本文将框架结构各个时刻各层的惯性力作为其受到的侧向荷载,对于框架摇摆墙结构,框架部分受到的侧向荷载为结构各层的惯性力与框架摇摆墙之间相互作用力的差值。由图4可知,在0.05 g和0.1 g时,附加摇摆墙结构框架部分首次和顶层的地震作用大于框架结构,而其他层的地震作用均小于框架结构,在地震强度较大时(0.3 g到0.6 g)附加摇摆墙结构框架部分的地震作用除在顶层处大于框架结构外,其他各层均小于框架结构。无论地震强度的大小,在框架柱出现变截面处的地震力均为极大值,明显大于其相邻层,附加摇摆墙结构框架部

分的顶点地震作用明显大于其他层,且均大于框架结构的顶点地震作用,同时,附加摇摆墙结构的顶点地震作用随摇摆墙刚度的增加而增加,在0.6 g时四个结构顶层地震作用较为相近。在0.05、0.1和0.3 g时,附加摇摆墙结构的框架部分均表现为顶层和底层的地震作用随摇摆墙刚度的增加而增加,其他层随摇摆墙刚度的增加而减小,在0.6 g时,仅顶层地震作用随摇摆墙刚度的增加而增加,其他层随摇摆墙刚度的增加而减小。因此,摇摆墙的加入增加了框架部分顶点的地震作用,减小了其他层的地震作用,从而达到控制结构变形模式、防止薄弱层的作用。

2.4 框架层剪力变化规律

从图5可以看到,无论地震强度的大小,框架结构的层剪力分布均逐层递减。对于框架摇摆墙结构,框架部分的层剪力分布均表现为底层剪力最大,且其底层框架剪力始终与纯框架结构的底层剪力相差不大,其框架部分的顶层剪力小于框架结构的顶层剪力,且随地震强度的增加,两者之间的差值逐渐增加。

框架摇摆墙结构各层的层间位移角相差不大,因此可以近似认为在某一地震强度下各层剪力分布规律大致反应了此时框架结构各层层间抗剪刚度的分布规律,不同地震强度下摇摆墙层剪力分布规律的变化可以在一定程度上反映出各层层间抗剪刚度和

不同层层间抗剪刚度比例的变化规律,从图5中可以看到,在地震强度较强时(0.6g),4、5、6层的层间剪力相差较小,说明其层间抗剪刚度相差不大,4层与3层的层剪力相差较大,对于W4结构,4层与3层框架的层剪力分别为10 795 kN和6 816 kN,两者比例为1.58:1,而弹性阶段这一比例为1.43:1,弹性阶段的层间抗剪刚度的比例为1.19:1。1层与2层之间的层剪力分别为12 109 kN和9 754 kN,两者比例为1.24:1,而弹性阶段这一比例为1.61:1,弹性阶段的层间抗剪刚度比例为1.87:1。因此,随地震强度

的增加,1层与2层的层间抗剪刚度的差距逐渐小,3层与4层由于柱截面和配筋的改变,其层间抗剪刚度的差距反而增加。

3 结论

1) 框架结构层间抗剪刚度的不均匀对摇摆墙的内力分布和结构受力会产生较大的影响,不能忽略,其中由柱截面改变而引起的框架层间抗剪刚度的不均匀,对结构受力和内力分布的影响并不会随地震强度的增加而消失。

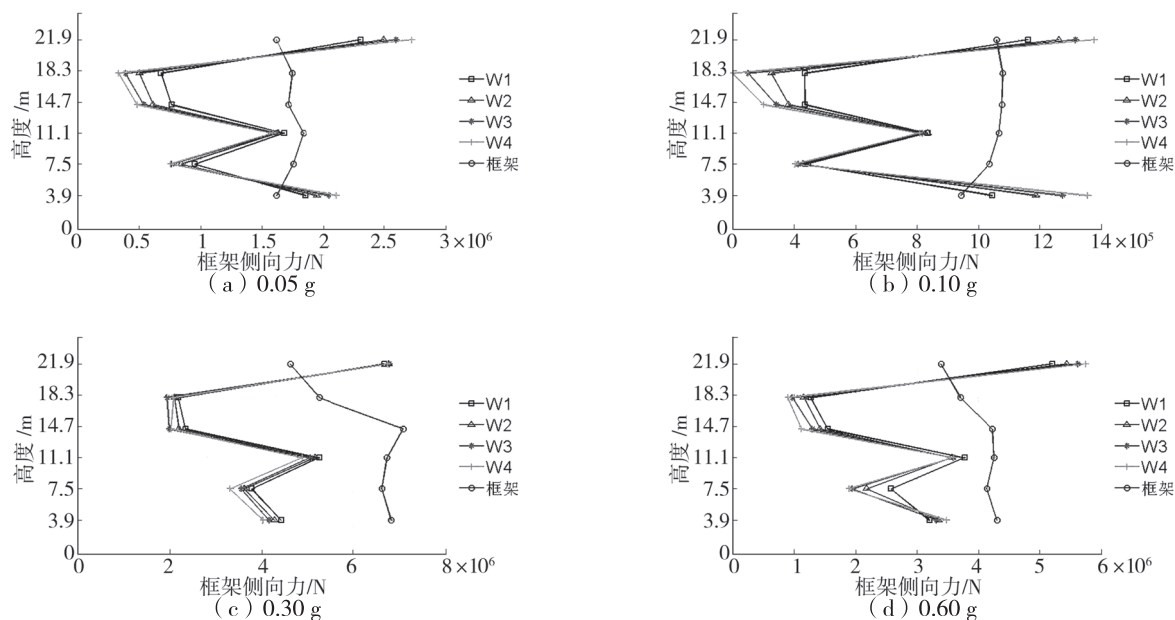


图4 框架地震作用分布

Fig.4 The distribution of seismic action of framework

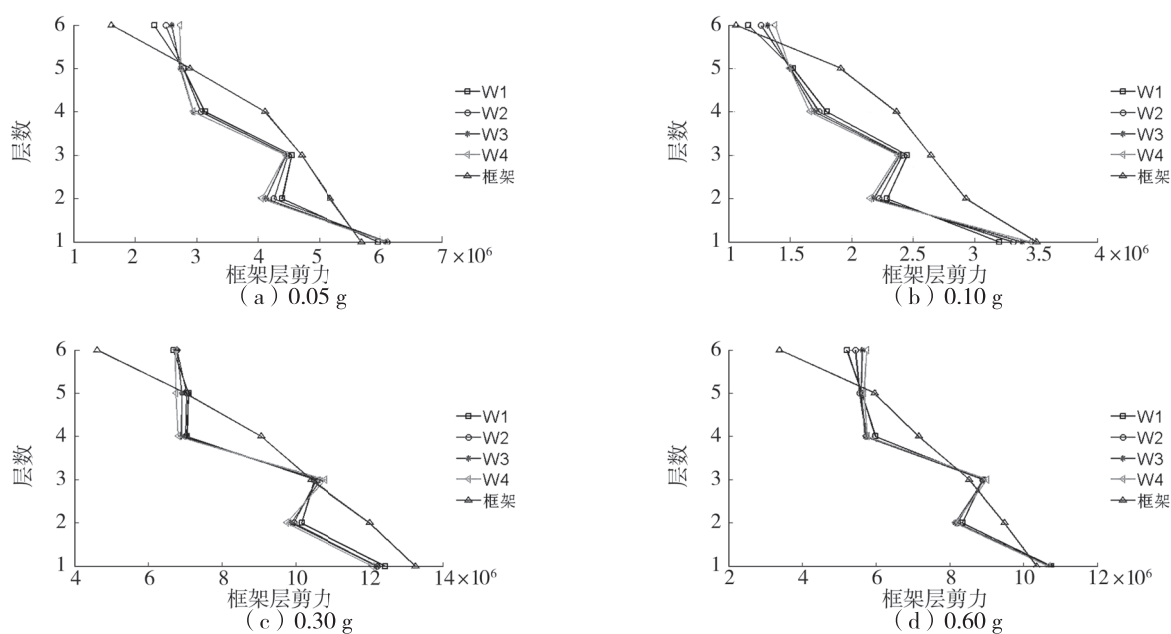


图5 框架层剪力分布

Fig.5 The distribution of interlayer shear force of framework

2) 摇摆墙的剪力、弯矩均随地震强度和刚度比的增加而增加。

3) 摇摆墙的加入增加了框架部分顶点的地震作用,减小了其他层的地震作用,从而达到控制结构变形模式、防止薄弱层的作用。

参考文献:

- [1] 曹海韵, 潘 鹏, 叶列平. 基于推覆分析混凝土框架摇摆墙结构抗震性能研究[J]. 振动与冲击, 2011, 30(11): 240-244.
- [2] 曲 哲. 摇摆墙-框架结构抗震损伤机制控制及设计方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2010.
- [3] 杜永峰, 武大洋. 基于刚度需求设计的轻型消能摇摆架减震性态分析[J]. 土木工程学报, 2014(1): 24-35.
- [4] 马千里, 陆新征, 叶列平. 层屈服后刚度对地震响应离散性影响的研究[J]. 工程力学, 2008(7): 133-141.
- [5] 曲 哲, 叶列平. 摇摆墙-框架体系的抗震损伤机制控制研究[J]. 地震工程与工程振动, 2011(4): 40-50.
- [6] 曲 哲, 和田章, 叶列平. 摇摆墙在框架结构抗震加固中的应用[J]. 建筑结构学报, 2011, 32(9): 11-19.
- [7] 曹海韵, 潘 鹏, 吴守君, 等. 框架-摇摆墙结构体系中连接节点试验研究[J]. 建筑工程学报, 2012, 33(12): 38-46.
- [8] 杨树标, 余丁浩, 贾剑辉, 等. 框架-摇摆墙结构简化计算方法研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2014, 36(2): 94-99.
- [9] 董文堂. 固支边矩形薄板的纳维叶解法[J]. 黄石高等专科学校学报, 1999, 1(15): 1-4.
- [10] 许杨健, 赵志岗. 梯度功能材料薄板瞬态热弹性弯曲有限元分析[J]. 工程力学, 2001, 18(1): 71-81.
- [11] JOODAKY A, JOODAKY I, HEDAYATI M. Deflection and stress analysis of thin FGM skew plates on Winkler foundation with various boundary conditions using extended Kantorovich method[J]. Composites: Part B, 2013; 51(3): 191-196.
- [12] 孙 建, 胡 洋. 均布和静水压力作用下固支矩形薄板力学特性[J]. 应用力学学报, 2015, 32(6): 908-914.
- [13] 曹志远, 程红梅. 沿板平面材料梯度变化功料板件分析[J]. 力学季刊, 2007, 28(2): 203-208.
- [14] 曹志远, 程红梅. 沿板平面材料组分变异功梯度板件分析[J]. 同济大学学报, 2007, 35(11): 1460-1465.
- [15] 王 飞. 变物性二维梯度板热弹性行为[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2014.
- [16] 曲庆璋. 弹性板理论[M]. 北京: 人民交通出版社出版, 1999.

(责任编辑 王利君)

(责任编辑 王利君)