

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.04.044

小高层塔式住宅三种结构体系抗震性能分析

罗若帆, 王仕成

(嘉应学院 土木工程学院, 广东 梅州 514015)

摘要: 小高层建筑高度是多种结构体系的适用高度, 结构抗震性能对设计中如何选择结构体系尤为重要。为研究小高层住宅在不同结构体系下的抗震性能, 对某 7 度区 11 层普通塔式住宅楼分别设计成框架结构、框架-剪力墙结构和剪力墙结构, 采用盈建科软件进行弹性计算, 采用 PERFORM-3D 软件进行弹塑性时程分析。分析结果表明: 三种结构体系均能满足大震下梁首选屈服, 竖向受力构件不屈服; 框架-剪力墙结构层间位移角控制较好, 剪力分配情况没有明显改变; 框架结构塑性耗能所占比例最高, 剪力墙结构构件塑性耗能所占比例最少。三种结构体系均表现出良好的抗震性能。

关键词: 塔式住宅; 结构体系; 弹塑性时程分析; 抗震性能

中图分类号: TU311.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)04-0223-05

Analysis of the Seismic Behavior of Three Kinds of Structural Systems of Small High-rise Tower Buildings

LUO Ruofan, WANG Shicheng

(School of Civil Engineering, Jiaying University, Meizhou, Guangdong 514015, China)

Abstract: Small high-rise building is suitable for several structural systems, and its seismic performance is very important to choose structural system in structural design. In order to analyze the seismic performance of small high-rise residential buildings under different structural systems, an ordinary residential tower building of 11 floors in 7 degree area was designed as a frame structure, frame-shear wall structure and shear wall structure respectively. Elastic calculation of all structures was conducted by the software of YJK and elasto-plastic time-history analyses were conducted based on FE model built by the software of PERFORM-3D. The results show that all of the three kinds of structure system can meet the requirement that the beam yield firstly, but vertical force component dose not yield in rare earthquake; on the frame-shear wall structure, the inter-story drift angle can be controlled better, and there is no significant change in shear distribution. The proportion of plastic energy dissipation of frame structure is the highest and of the shear wall structure is the least among the three structures. All kinds of structure systems show good seismic behavior.

Keywords: tower dwelling; structure system; elasto-plastic time-history analysis; seismic behavior

高层塔式住宅建筑由于其空间结构灵活, 平面布置紧凑, 节约土地资源, 是目前市场上较常见到的建筑形式。框架结构、框架-剪力墙结构和剪力墙结构是普通住宅结构设计中最为常用的三种结构体系。而三种结构体系均适用于小高层(7~12层)的结构高度。目前较少学者对不同结构体系下结构的受力性能进行对比分析, 只有少数学者进行了概念上的探讨及小震弹性范围内的计算与分析^[1-2], 部

分学者则仅从经济效益的角度出发对比了不同类型的建筑^[3-7], 谢军等^[8]对高烈度地区的超高层不同结构体系进行了弹塑性分析, 而小高层塔式住宅建筑的系统性对比分析尚未见文献报道。如今结构设计仅在弹性范围内进行计算, 无法考虑大震下结构进入弹塑性之后的状态, 也无法合理评价结构更真实的受力状态^[9]。因此在同一场地下对同一建筑的不同结构体系进行弹塑性分析, 分析三种结构的弹塑

性受力性能,并系统性地对比显得尤为重要,为小高层塔式住宅结构选型和设计提供更合理的依据。

1 工程模型概况

1.1 工程概况及结构布置方案

工程所处地区设防烈度为 7 度 0.15 g , 场地类别 II 类, 设计地震分组为第一组, 基本风压 0.5 kN/m^2 , 地

面粗糙度为 B 类。建筑总高度为 34.5 m, 总层数为 11 层, 层高 3 m, 顶部电梯和楼梯间小塔楼高度为 4.5 m, 标准层平面面积为 581.88 m^2 。主要受力构件框架梁尺寸为 200 mm \times 400 mm, 200 mm \times 500 mm, 200 mm \times 600 mm, 框架柱尺寸为 500 mm \times 500 mm, 700 mm \times 700 mm, 剪力墙厚度均为 200 mm, 结构布置见图 1。

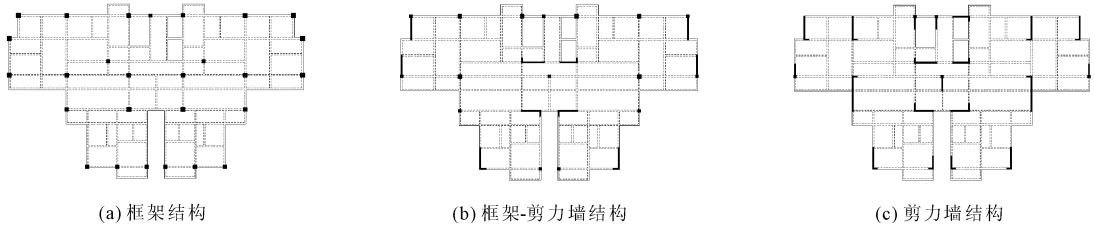


图 1 结构布置

1.2 弹性分析结果

建筑较为规整, 满足刚性楼板假定, 结构无刚度突变, 层刚度比、承载力比可以满足要求。弹性计算控制结构周期比、位移比、层间位移角等参数在规范规定的范围内^[10-13]。主要计算结果见表 1。

1.3 模态分析结果

在 PERFORM-3D 中建立弹性模型, 为保证模型的正确性, 首先在该软件中进行模态分析, 计算结果与 YJK 中计算结果接近, 质量与平动 1、2 周期误差均很小, 最大仅为 1.6%。框架-剪力墙结构和

剪力墙结构由于存在剪力墙, 两种软件对剪力墙的模拟有一定差别, 因此扭转第 1 周期比平动第 1 周期略大, 但均在合理的误差范围内(见表 2)。说明两种软件中建立的模型是相符的。

表 1 弹性分析及配筋结果

结构体系	周期比 / %	层间位移角	扭转位移比	用钢量 / $(kg \cdot m^{-2})$
框架结构	79.58	1/900	1.16	31.554
框架-剪力墙	70.59	1/1118	1.16	28.615
剪力墙结构	75.67	1/1338	1.21	28.572

表 2 模态分析结果对比

结构形式	振型	不同计算方法下周期/s		周期误差 / %	质量/t		质量误差 / %
		YJK	PERFORM-3D		YJK	PERFORM-3D	
框架结构	1	1.459	1.477	1.2			
	2	1.318	1.335	1.3	7488.384	7607.262	1.6
	3	1.196	1.208	1.0			
框架-剪力墙结构	1	1.289	1.311	1.7			
	2	1.221	1.234	1.0	7144.353	7248.824	1.4
	3	1.031	1.087	5.2			
剪力墙结构	1	1.086	1.093	0.7			
	2	0.919	0.931	1.3	7174.177	7215.743	0.6
	3	0.831	0.881	5.7			

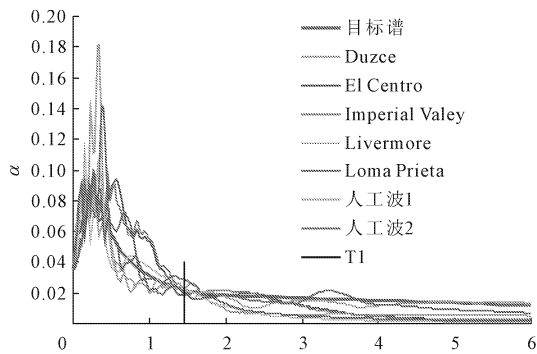
2 地震波选取

选取多条地震波, 通过频谱分析和满足小震作用下基底剪力的要求, 不同结构体系各选取 7 条地震波(5 条天然波 + 2 条人工波)进行弹塑性时程分析。地震波峰值加速度调幅为 220 cm/s^2 , 单向施加

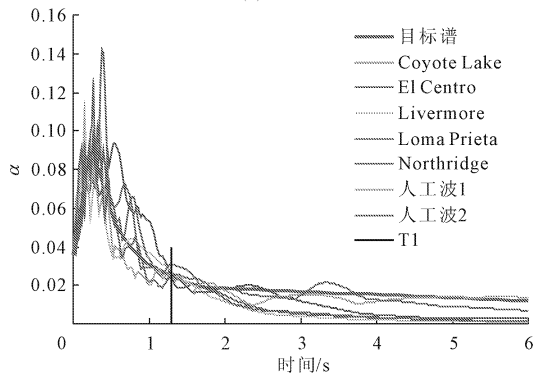
于弱轴(第 1 振型方向)。

将各地震波转换为反应谱, 与规范中相应的目标反应谱进行对比, 选取拟合较好且在结构第 1 自振周期所在位置较为接近的地震波。频谱分析如图 2 所示, 7 条地震波均与目标谱拟合较好, 第 1 周期处影响系数误差最小为 0.01%, 最大为 18.18%, 可

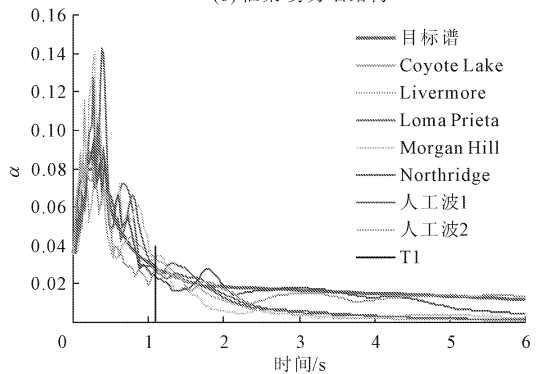
以满足要求。



(a) 框架结构



(b) 框架-剪力墙结构



(c) 剪力墙结构

图 2 频谱分析结果

在 PERFORM - 3D 软件中进行小震弹性计算, 基底剪力与反应谱分析结果进行对比。满足每条地震波的基底剪力大于反应谱计算结果的 65%, 7 条地震波平均值大于反应谱的 80%。

3 动力弹塑性分析

3.1 弹塑性模型

在 PERFORM - 3D 中梁、柱、墙弹塑性模型均采用纤维截面模型, 中段弹性杆件。有研究表明^[14], 砌体填充墙对结构弹塑性分析有重要影响, 本研究中由于填充墙均匀布置, 刚度分布均匀, 为简化分析模型, 在弹塑性分析中不考虑。各构件钢筋纤维采

用弹性计算实际设计配筋输入, 梁、剪力墙混凝土本构关系采用混凝土结构设计规范推荐公式^[10], 拟合为退化三线型模型, 柱混凝土本构关系采用 Mander 约束混凝土模型^[15], 钢筋采用理想弹塑性模型。梁、柱、剪力墙纤维划分如图 3 所示。

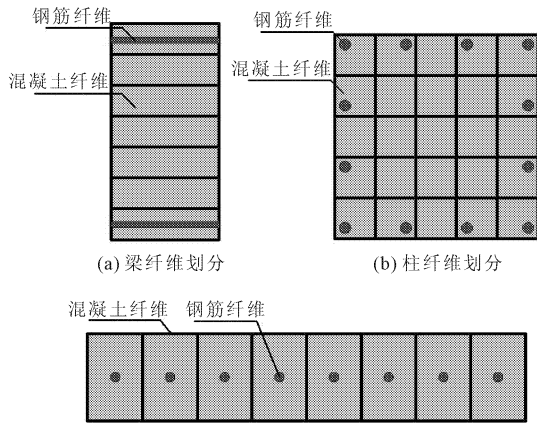


图 3 截面纤维划分

3.2 楼层剪力

取 7 条地震波计算结果的平均值进行对比 (如图 4 所示), 随着层数的增加, 层剪力减小, 框架结构与框架剪力墙结构曲线较平缓, 剪力墙结构在 5~8 层处有较小的突变, 总体趋势仍与其他结构相同。框架结构底部剪力为 6 398 kN, 框架 - 剪力墙结构底部剪力为 7 373 kN, 剪力墙结构底部剪力为 8 403 kN。三种结构底部剪力较接近, 层剪力曲线趋势相近。

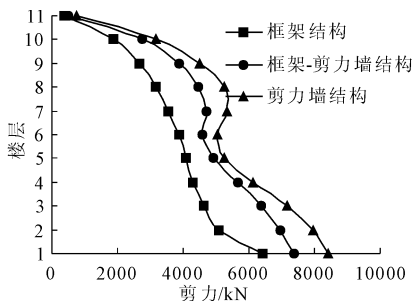


图 4 层剪力对比

3.3 层间位移角

与楼层剪力相同, 取 7 条地震波计算结果的平均值进行对比 (如图 5 所示), 三种结构均满足规范规定的弹塑性层间位移角限制 (框架结构 1/50, 框架 - 剪力墙结构 1/100, 剪力墙结构 1/120), 且富余量较大。框架结构的层间位移角最大值出现在结构第 3 层, 为 0.0048, 框架 - 剪力墙结构最大值出现在结构第 4 层, 为 0.004, 剪力墙结构最大值出现在结

构第 7 层,为 0.0044。可以看出,框架-剪力墙结构和剪力墙结构层间位移角曲线较平缓,框架-剪力墙结构是两种不同抗侧力构件的组合,通过合理的结构布置,可将层间位移角控制得较好。

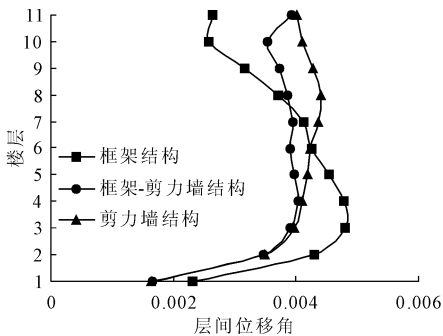


图 5 层间位移角对比

3.4 框架-剪力墙结构剪力分配情况

在 PERFORM-3D 中对框架-剪力墙结构弹塑性模型分别进行小震(峰值加速度 35 cm/s^2)和大震(220 cm/s^2)时程分析,提取框架柱和剪力墙底部剪力分配情况,结果如图 6 所示。小震时框架分担比例平均值为 13.7%,大震时框架分担比例为 15.5%,二者较接近。由于小震作用下,所有构件均处于弹性阶段,与弹性分析结果相同;大震作用下,部分梁钢筋屈服,大部分柱和剪力墙均未进入弹塑性阶段,只有少数柱、墙混凝土进入开裂阶段,墙刚度下降略多于柱,因此大震下框架承担的剪力比例较多。但

由于大部分竖向构件均为进入弹塑性阶段,因此剪力分配较为接近。

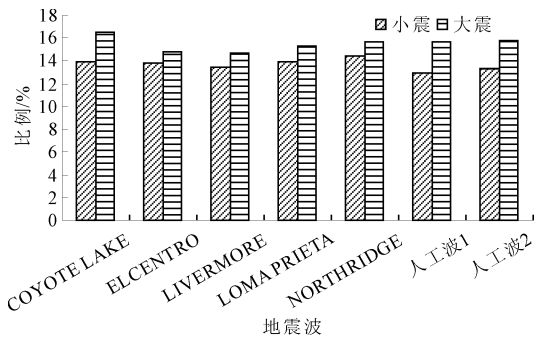


图 6 两种工况框架剪力分配所占比例

3.5 构件进入弹塑性状况

定义混凝土极限应变与钢筋屈服应变为性能点,超过性能点即为钢筋处于屈服阶段或混凝土达到峰值后的下降段,以评估结构进入塑性的状态,以 LOMA PRIETA 波为例,最终状态如图 7 所示。

三种结构的塑性发展情况极为相似,表现为:少数框架梁钢筋屈服—部分框架柱/墙达到屈服点的 30%—较多框架梁钢筋屈服—部分框架柱/核心区剪力墙达到屈服点的 50%—大部分框架梁钢筋屈服—部分框架柱/核心区剪力墙达到屈服点的 50%~100%—外围框架柱/剪力墙达到屈服点的 30%~50%。其中剪力墙结构进入塑性的框架梁数量较少,三种结构均表现出良好的抗震性能。

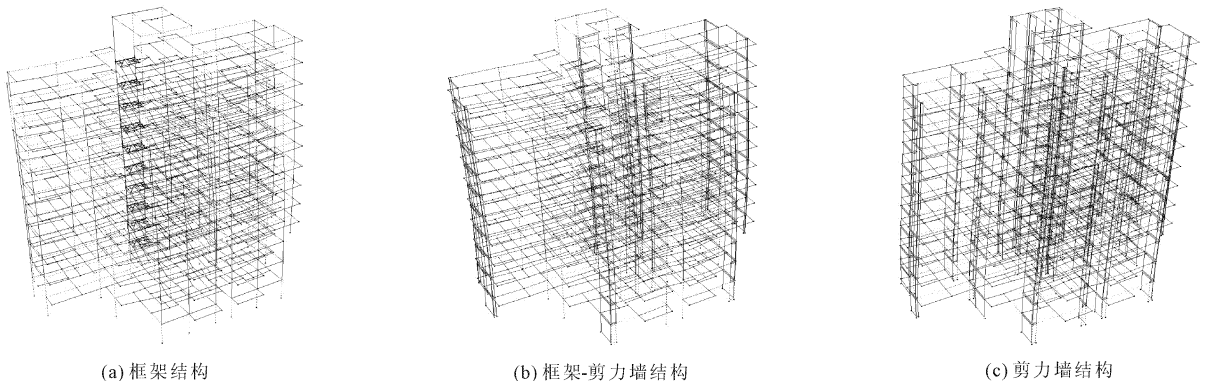


图 7 结构构件进入塑性状态

3.6 三种结构的耗能情况

结构中能量的形式有动能、弹性应变能、塑性耗能、质量阻尼耗能、刚度阻尼耗能,本文主要分析结构的非弹性耗能。以 LOMA PRIETA 波为例,说明三种结构塑性耗能情况。框架结构塑性耗能为 186 070 kJ,阻尼耗能为 648 150 kJ(质量阻尼耗能+刚度阻尼耗能),塑性耗能所占比例为 22.30%;框架-剪力墙结构塑性耗能为 222 640 kJ,阻尼耗能为

887 150 kJ,塑性耗能所占比例为 20.06%;剪力墙结构塑性耗能为 141 790 kJ,阻尼耗能为 1 045 650 kJ,塑性耗能所占比例为 11.94%(见图 8)。由图 8 可以看出,剪力墙结构的非弹性耗能最高,框架结构耗能最低,其中,框架结构塑性耗能所占比例最高,剪力墙结构塑性耗能所占比例最低。在阻尼耗能中,质量阻尼耗能远高于刚度阻尼耗能。

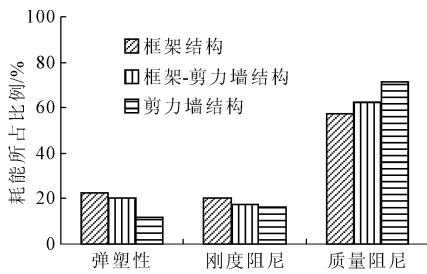


图8 结构塑性耗能所占比例

4 结 论

(1) 三种结构的层间位移角均能满足规范规定的弹塑性层间位移角要求,框架结构的层间位移角最大,最大值出现在结构第3层,框架-剪力墙结构的层间位移角最小,最大值出现在结构第4层,剪力墙结构最大值出现在结构第7层。

(2) 框架-剪力墙结构小震和大震下的剪力分配情况比例很接近,由于大震下主要为框架梁屈服,剪力墙和框架柱未屈服,剪力墙的刚度降低幅度略大于框架柱,大震作用时框架剪力分配比例略大于小震作用。

(3) 三种结构均满足框架梁首先屈服的抗震概念要求,大量框架梁钢筋达到屈服,三种结构进入塑性的发展过程相同,均按照框架梁、底层核心区墙柱、中部核心区墙柱、外围墙柱的方向开展。剪力墙结构进入塑性的框架梁数量相对较少。

(4) 框架结构的非弹性耗能最小,剪力墙非弹性耗能最大。

参考文献:

- [1] 程玉龙. 钢筋混凝土高层建筑不同结构体系对比分析[J]. 四川建材, 2012, 38(1): 48-49.
- [2] 郭迎春. 谈钢筋混凝土三种结构体系的区别[J]. 山西

建筑, 2013, 39(27): 43-44.

- [3] 丁 鲲. 不同结构体系超高层建筑综合经济对比研究[J]. 四川建材, 2016, 42(3): 270-271, 274.
- [4] 于 旭, 宰金珉. 不同结构体系高层建筑的綜合经济效益分析[J]. 工业建筑, 2009, 39(S1): 417-419.
- [5] 张 洁. 上海地区不同结构体系高层建筑的綜合经济效益比较分析[J]. 四川建筑科学研究, 2000, 26(3): 17-19.
- [6] 刘海卿, 康珍珍, 张丙军. 高层建筑结构选型影响因素分析[J]. 科学技术与工程, 2006, 6(11): 1580-1584.
- [7] 喻敏波, 王全凤. 浅谈高层建筑结构选型[J]. 福建建筑, 2010(5): 4-43.
- [8] 谢 军, 金来建. 高烈度地震区三种超高层结构体系性能比较[J]. 建筑结构, 2014, 44(19): 46-51.
- [9] 王凌飞, 赵歆冬, 孙文秀, 等. 几种地震反应分析方法对框架-剪力墙结构抗震性能评估的比较[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 8(2): 153-155.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范: GB 50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ3—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑抗震设计规范: GB 50011—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [14] 王一凡. 考虑填充墙作用的框架结构 Pushover 分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(3): 150-15.
- [15] Mander J B, Priestly M J N, Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete[J]. Journal of Structural Division, ASCE, 1988, 114(8): 1804-1826.