

细腰复杂截面高层建筑抗震性能分析

甘 丹¹, 张敬书¹, 莫 庸², 王尔昌², 周 丽¹

(1. 兰州大学土木工程与力学学院, 甘肃 兰州 730000;

2. 甘肃省建设科技专家委员会, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:使用 PMCAD 软件, 通过某模型工程对细腰复杂截面高层建筑结构的抗震性能进行了分析。结果显示细腰的程度越大, 结构整体抗震性能越差。认为细腰平面做为组合平面的一种, 在所列三项及三项以上不规则高层建筑做为其中一项进行控制, 而不单独做为一项进行控制较为合理。

关键词: 细腰截面高层建筑; 抗震性能分析; 超限界定

中图分类号: TU311.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2008)04-0376-04

Analysis on Seismic Performance of Thin-waist Section Tall Building

GAN Dan¹, ZHANG Jing-shu¹, MO Yong², WANG Er-chang², ZHOU Li¹

(1. College of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Construction Science and Technology Experts Committee of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: By using PMCAD and SATWE softwares from China Academy of Building Research, taking a model building as the example, the analysis of seismic performance including vibration characteristics and component's internal force status for thin-waist plane tall building is taken with the retraction of section plane. The result shows that the thinner the waist is, the worse the seismic performance is. It is considered that the thin-waist plane should be treated as one of three or more of extra-limit determinings, but not as single one.

Key words: Thin-waist section tall building; Analysis of seismic performance; Extra-limit determining

0 引言

随着城市建设的发展和建筑功能要求, 建筑物的平立面更加丰富, 风格多样, 复杂体型高层建筑逐渐增多, 细腰截面高层建筑就是其中一种。建筑规程^[1]和设计规范^[2]均从抗震概念设计的原理出发, 对缩进部分的尺寸加以限定, 以保证结构的抗震能力。本文对一细腰截面高层建筑结构模型工程进行了计算分析, 得出了一些有意义的结论, 可供工程设计参考。

1 模型工程概况

本模型工程原始平面为矩形(图1); 25层, 层

高3.6m, 总高度90m; 框架-剪力墙结构。抗震设防烈度为Ⅷ度(0.20g); 设计地震分组为第二组; 抗震设防类别为丙类; 框架、剪力墙抗震等级均为一级; 场地类别为Ⅱ类。

为研究细腰对结构的影响, 排除其他干扰因素, 该模型工程平面规则对称, 剪力墙布置均匀, 竖向规则。横向轴网为4m×10, 纵向轴网为8m×11, 高宽比为2.25; 框架柱截面尺寸分别为1100mm×1100mm, 1000mm×1000mm, 800mm×800mm, 600mm×600mm; 剪力墙宽度分别为400mm(1~10层), 350mm(11~18层), 250mm(19层以上); 楼面梁截面尺寸分别为350mm×700mm(主梁),

收稿日期: 2008-06-18

基金项目: 西部灾害与环境力学教育部重点实验室(兰州大学)2007年开放基金; 甘肃省建设厅2007年度科技项目(JK2007-4)

作者简介: 甘 丹(1985-), 男, 硕士, 主要从事结构抗震、钢结构稳定研究。

300 mm×600 mm(次梁)。楼盖采用普通钢筋混凝土梁板体系,厚度取为120 mm。

结构计算采用中国建筑科学研究院 SATWE 软件进行计算。均采用弹性楼盖假定(弹性楼板6)进行整体计算。周期折减系数采用0.80;连梁刚度折

减系数取为0.5;梁端弯矩调幅系数取为0.85;梁扭矩折减系数取为0.4;结构计算振型数为18个。

为分析细腰对结构性能的影响,本文采用在平面中部对称向内逐次收缩的办法,细腰从程度逐渐加大,见图2。

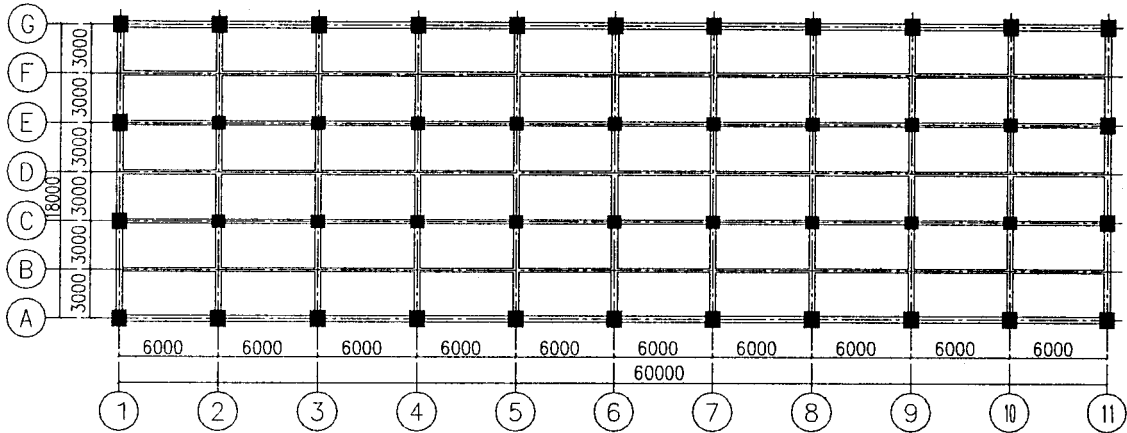


图1 模型平面1
Fig.1 The plane 1 of the model.

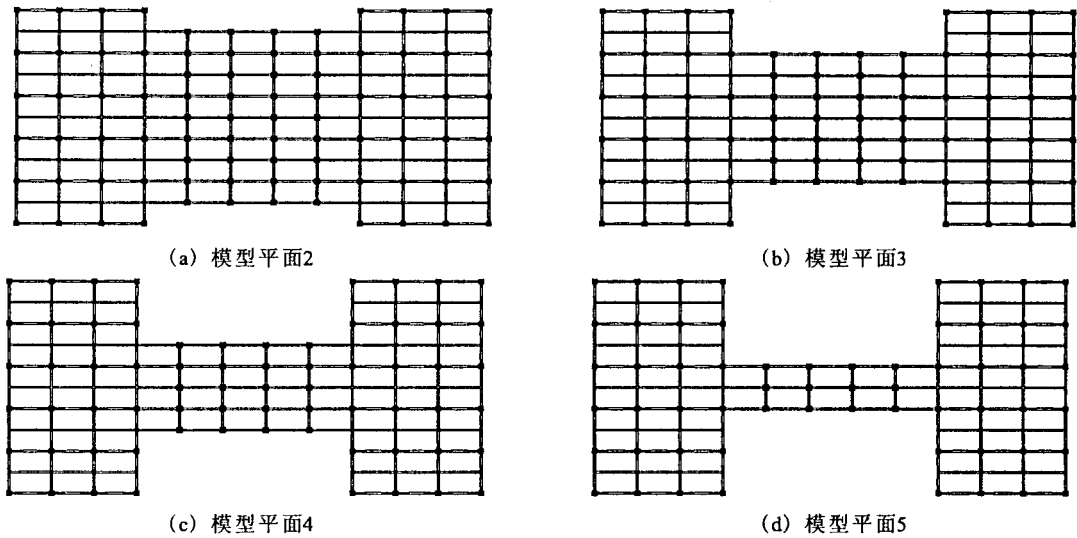


图2 不同细腰程度的模型平面
Fig.2 The planes of the model for different thin-waist extents.

每个模型由四个标准层组装而成。规程^[1]规定细腰截面平面布置宜符合下列限值(Ⅷ度地区),见表1。规程^[1]还要求楼面凹入不宜大于楼面宽度的一半(见表2)。本文模型1~5采用的平面尺寸见表2。

表1 建筑规程[1]规定的限值(Ⅷ度区)

设防烈度	L/B	$l/B_{\max}$	l/b
Ⅷ度	≤ 5.0	≤ 0.3	≤ 1.5

2.1 结构自振周期与振型
考虑扭转耦联时的振动周期(s)、X、Y方向的平动系数、扭转系数,列出前六个振型(表3)。

表2 各模型平面尺寸

模型	L/B	$l/B_{\max}$	$2l/B_{\max}$	l/b
1	$88/40=2.2$	0	0	0
2	$88/32=2.75$	$4/40=0.1$	0.2	$4/24=0.17$
3	$88/24=3.67$	$8/40=0.2$	0.4	$8/24=0.33$
4	$88/16=5.5$	$12/40=0.3$	0.6	$12/24=0.5$
5	$88/8=11$	$16/40=0.4$	0.8	$16/24=0.67$

2 结构分析结果

从模型1到模型4,第一自振周期依次有少量

变短,说明从模型 1 到模型 4 抗侧刚度有少量增加;而从模型 4 到模型 5,第一自振周期由 2.083 8 s 增大到 3.275 8 s,增大为 1.57 倍,说明模型 5 抗侧刚度大大降低。

表 3 各模型的振型分布

模型号	振型	周期/s	转角/°	平动系数(X+Y)	扭转系数	地震作用最大的方向
模型 1	1	2.279 8	179.18	1.00(1.00+0.00)	0.00	-15.762°
	2	2.173 2	89.18	1.00(0.00+1.00)	0.00	
	3	1.883 2	28.15	0.00(0.00+0.00)	1.00	
	4	0.728 9	179.08	1.00(1.00+0.00)	0.00	
	5	0.702 0	89.08	1.00(0.00+1.00)	0.00	
	6	0.609 0	100.11	0.00(0.00+0.00)	1.00	
模型 2	1	2.243 4	179.24	1.00(1.00+0.00)	0.00	-45.458°
	2	2.141 2	89.24	1.00(0.00+1.00)	0.00	
	3	1.859 4	31.86	0.00(0.00+0.00)	1.00	
	4	0.714 0	179.14	1.00(1.00+0.00)	0.00	
	5	0.689 3	89.14	1.00(0.00+1.00)	0.00	
	6	0.600 0	92.39	0.00(0.00+0.00)	1.00	
模型 3	1	2.146 1	179.05	1.00(1.00+0.00)	0.00	-86.650°
	2	2.075 1	89.05	1.00(0.00+1.00)	0.00	
	3	1.825 9	93.02	0.00(0.00+0.00)	1.00	
	4	0.684 7	179.03	1.00(1.00+0.00)	0.00	
	5	0.665 6	89.03	1.00(0.00+1.00)	0.00	
	6	0.589 0	115.68	0.00(0.00+0.00)	1.00	
模型 4	1	2.083 8	179.14	1.00(1.00+0.00)	0.00	-87.981°
	2	2.019 9	89.14	1.00(0.00+1.00)	0.00	
	3	1.808 1	92.17	0.00(0.00+0.00)	1.00	
	4	0.663 6	178.97	1.00(1.00+0.00)	0.00	
	5	0.648 8	88.96	0.99(0.00+0.99)	0.01	
	6	0.583 6	90.04	0.00(0.00+0.00)	1.00	
模型 5	1	3.275 8	179.36	1.00(1.00+0.00)	0.00	-0.689°
	2	2.837 3	89.36	1.00(0.00+1.00)	0.00	
	3	2.762 6	102.05	0.00(0.00+0.00)	1.00	
	4	0.857 4	92.70	0.00(0.00+0.00)	1.00	
	5	0.832 7	179.07	1.00(1.00+0.00)	0.00	
	6	0.788 7	89.06	0.99(0.00+0.99)	0.01	

从模型 1 到模型 4,前六个振型没有变化;到模型 5,第四个振型变为扭转为主的振型,第五个振型为 X 向平动振型,第六个振型为 Y 向平动振型。越到高阶振型,其分布规律就越复杂,结构的扭转效应就越得不到很好的控制。

2.2 周期比

表 4 各模型扭转为主的第一周期与平动为主的第一周期之比

模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5
0.826	0.829	0.851	0.868	0.843

从表 4 看出,周期比均满足 0.90 的限值要求,说明随着平面的收进对抗扭刚度与抗侧刚度的比值有一定影响。但结论不太明确,需要做进一步研究。

2.3 振型参与质量系数

表 5 各模型振型参与质量系数

模型	1	2	3	4	5
X 方向/%	94.08	94.09	94.01	92.02	91.43
Y 方向/%	95.05	95.00	94.03	92.52	90.90

看出,随着平面收进,在取同样多振型的条件下结构振型参与质量越来越少,也就是说若按《建筑抗震设计规范》中振型个数一般取振型参与质量达到总质量 90% 所需的振型个数,所需要的振型个数就会越多。

2.4 弹性层间位移角和位移比

各模型最大层间弹性位移角,和考虑 5% 偏心地震作用时,各模型最大位移与层平均位移的比值(位移比)见表 6。

表 6 最大层间弹性位移角和位移比

模型	X 方向		Y 方向	
	层间位移角	位移比	层间位移角	位移比
1	1/909	1.05	1/970	1.16
2	1/930	1.05	1/986	1.16
3	1/975	1.04	1/101 6	1.16
4	1/100 9	1.04	1/104 0	1.15
5	1/440	1.04	1/587	1.13

由表可见,模型 1、2、3、4 均满足最大层间位移角满足 $\leq 1/800$ 的规定,且略有减小;而模型 5 远远不能满足该要求,X 方向最大层间位移角由 1/100 9 增大为 1/440,增大为 2.29 倍,Y 方向由 1/104 0 增大为 1/587,增大为 1.77 倍,说明模型 5 抗侧刚度大大降低。

根据计算结果,说明随着平面收进偏心地震作用各种工况下各模型最大位移与层平均位移的比值并没有明显影响,说明对抗扭刚度的影响不大。

2.5 剪重比

规程^[1]要求结构的楼层最小地震剪力系数值为 0.032,即最小楼层剪重比为 3.2% (表 7)。据表 7,模型 1~4 剪重比均满足规范要求,且略有增加趋势;而模型 5 不满足。最小剪力系数是保证结构安全的一项重要措施,此项指标在规范里属强制性条文,若不满足,在做设计时必须对结构进行进一步调整。

表 7 各模型 X、Y 方向的最小楼层剪重比

模型	1	2	3	4	5
X 向/%	3.43	3.48	3.60	3.68	3.10
Y 向/%	3.59	3.63	3.72	3.79	3.11

2.6 超筋超限构件

根据计算结果模型 1~3 在不改变地震作用方向时均无超筋超限,当按照计算出的地震作用最大

方向添加一组地震作用方向时,模型1~3仅底层出现了小部分墙柱超筋,且均出现在同一位置;模型4没有任何超筋信息;但是模型5,1~4层有一部分墙柱超筋,10~20层有一部分连梁超筋。说明平面收进到一定的值后,对结构构件的受力非常不利。

3 国家规程、各个地方标准超限建筑的界定

(1)《高层建筑钢筋混凝土结构技术规程》^[1]规定 $L/B_{\max} \leq 0.3$,楼面凹入不宜大于楼面宽度的一半;

(2)上海市《超限高层建筑工程抗震设计指南》^[3]规定,细腰平面中部两侧收进超过平面宽度50%或者结构平面凹进或凸出的一侧尺寸(从抗侧力构件截面中心算起)大于相应投影方向总尺寸的40%;

(3)陕西省参照规程^[1]中4.3节相关条款,在《超限高层建筑工程界定标准》^①中规定:中部两侧收进超过平面宽度的50%;

(4)《四川省抗震设防超限高层建筑工程界定规定》^②:结构平面凹进的一侧尺寸,Ⅵ、Ⅶ度和Ⅷ、Ⅸ度时分别大于相应投影方向总尺寸的50%和40%;当平面为工字型、双十字型等其它两侧均凹进的图形时,凹进一侧尺寸虽不大于相应投影方向总尺寸的上述比例,但两侧凹进的尺寸合计,Ⅵ、Ⅶ度和Ⅷ、Ⅸ度时大于相应投影方向总尺寸的60%和50%。

由本文结果,上海市《超限高层建筑工程抗震设计指南》与规程^[1]中规定相符,作为一项超限界定是恰当的。

4 结论

本文利用SATWE程序对五个依次在腰部收进的模型进行了计算分析,得出一些有意义的结论。当平面一侧收进尺寸与该方向尺寸的比值($L/B_{\max}$)超过0.3时,两侧收进总尺寸与该方向尺寸比值($2L/B_{\max}$)超过0.6时, L/B 往往特别大(在本文模型5中 $L/B=11$),超过规程^[1]规定,结构整体性能以及各构件受力情况将发生明显变化。

(1)从模型1到模型4,结构抗侧刚度有略微增加,从模型4到模型5,模型5刚度大大降低;

(2)模型5越到高阶振型,其分布规律就越复杂,结构的扭转效应就越得不到很好的控制;

(3)在取同样多振型的条件下,结构振型参与质量越来越少;

(4)最小地震剪力系数将越来越小;

(5)《超限高层建筑工程抗震设计指南》^[3]与规程^[1]中规定相符,作为一项超限界定是恰当的。

[参考文献]

- [1] 中国建筑科学研究院主编. 高层建筑钢筋混凝土结构技术规程(JGJ3-2002)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] 中国建筑科学研究院主编. 建筑抗震设计规范(GB50011-2001)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [3] 超限高层建筑工程抗震设计指南[S]. 上海:同济大学出版社,2005.
- [4] 郝效强,杨仕升,秦蓉. 含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力的评估方法及应用[J]. 西北地震学报,2007,29(4):347-351.
- [5] 刘齐茂,燕柳斌. 强震作用下框架结构的优化设计[J]. 西北地震学报,2008,30(2):107-112.

① 超限高层建筑工程界定标准. 陕西省建设厅,2004.

② 四川省抗震设防超限高层建筑工程界定规定. 四川省建设厅印发文件,2006.