

刚度突变对结构转换层配筋影响的研究^{*}

韦 鹏 生

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

摘要 用结构三维分析程序 TAT, 对某工程实例的 33 层框-剪结构进行分析并计算其配筋量. 该结构的抗侧移刚度沿高度方向在两处发生突变. 经分析得出结论: 在进行高层建筑结构设计时, 结构的抗侧移刚度可以出现突变, 而且只要转换层的位置选择得当, 转换层不必进行特殊加固; 结构抗侧移刚度的突变导致了配筋量的增大, 这一现象只有在转换层内才显得比较突出, 而在远离转换层处, 其影响大幅减小, 甚至反而对结构的抗震性能有所改善.

关键词 刚度突变, 转换层, 配筋, 加固

分类号 TU 973⁺. 2

国内工程界不主张结构的抗侧移刚度发生突变, 因为这将导致结构转换层的内力变得复杂化^[1,2]. 国外学者认为, 结构的抗侧移刚度可以沿高度发生突变^[3,4], 框-剪结构高层建筑在我国最为常见, 因而对这一问题进行探讨很有意义^[5]. 本文用著名的结构空间分析程序 TAT 对某工程 33 层框-剪结构进行分析和设计, 主要工作是分析剪力墙刚度突变对结构转换层的内力、相对位移和配筋的影响.

1 工程算例及 TAT

某工程 33 层结构, 为一幢多功能高层建筑, 总建筑面积 48 000 m². 地面上总高为 114 m, 地下室有 2 层, 分别为设备层和地下停车场; 1 至 8 层(含裙楼)为大型商场和银行的营业厅、办公室; 9 至 18 层为高级写字楼; 19 至 32 层为旅馆; 第 33 层为屋顶花园和电梯机房. 该地区属 6 度抗震设防区, 基本风压为 0.3 kN · m⁻², 地面粗糙度为 B 类. 地基持力层为强风化花岗岩层, 埋深 15 m 左右. 第 2 层结构平面布置见图 1(地下室底层、第 1 层以及 3~8 层的结构平面布置类同于此). 第 19 层结构平面布置见图 2(20~26 层的结构平面布置类同于此). 第 27 层结构平面布置见图 3(第 28 层及以上各层的结构平面布置类同于此). 图 2 和图 3 所示为剪力墙刚度突变层. 各层混凝土强度等级见表 1.

表 1 各层混凝土强度等级

结构部位	2~8 层	9~18 层	19~26 层	27~33 层
柱、剪力墙	C45	C40	C35	C30
梁、板	C35	C30	C25	C20

TAT 能对高层钢结构、钢筋混凝土结构和框-混凝土混合结构进行三维空间结构分析. 它将高层建筑视为空间杆件系统, 分梁、柱、杆和剪力墙等 4 种单元. 梁元和柱元均为空间杆件,

^{*} 本文 1999-03-03 收到, 福建省自然科学基金资助项目

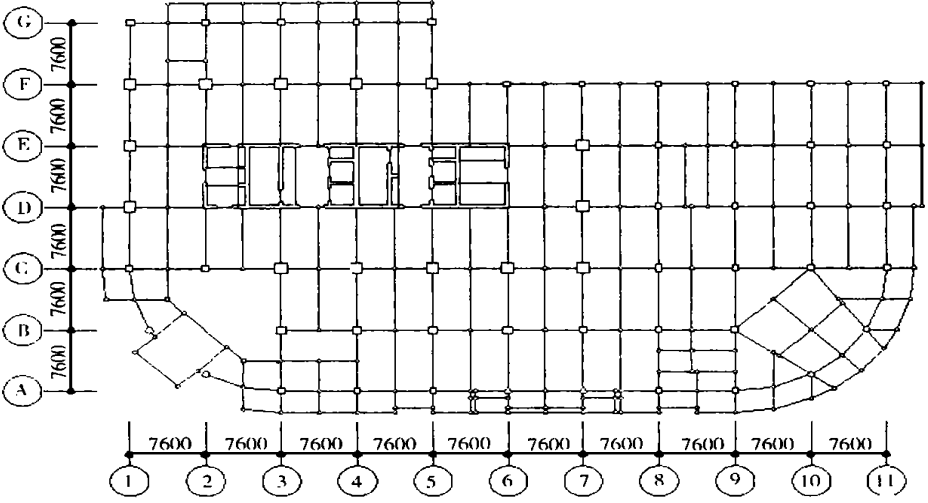


图 1 第 2 层结构平面布置图

每端有 6 个未知量. 杆元是梁元或柱元的一种特例, 其两端为铰接. 剪力墙单元被视为空间薄壁杆件单元, 每端有 7 个未知量, 采用 VLASOV 薄壁杆件理论求得. 为了减少结构总自由度

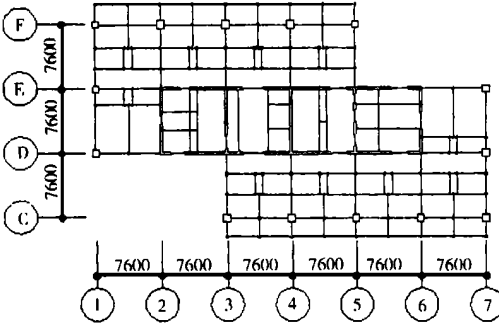


图 2 第 19 层结构平面布置图

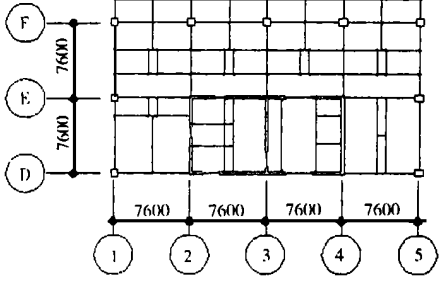


图 3 第 27 层结构平面布置图

的数量, 在形成结构总刚度矩阵 K 时, TAT 引入了楼板刚度在其自身平面内为无穷大的假定. 计算结构地震作用, 采用的是振型分解法. 在结构分析中考虑竖向地震作用的影响. 水平地震荷载和风荷载, 均可考虑 $X-Y$ 两个方向的作用. 可用模拟施工方法计算竖向荷载.

2 有关数据的分析

为了方便起见, 现选取具代表性的 Y 向抗侧移结构进行数据分析. 在图 1~3 和表 1 中, -1 层和 -2 层分别代表地下 1 层和地下 2 层. 墙编号 JLQ2-19 的含义为剪力墙位于第 19 层的 2 轴. 剪力墙配筋 19H0.7 的含义为剪力墙每端暗柱配筋是 19, 腹板水平分布筋每 100 mm 配 0.7. 剪力墙腹板厚度用 t 表示. 柱编号 KZ3C19 的含义为框架柱位于第 19 层的 3 轴和 C 轴交叉点. 框配筋 35, 28G2.5 的含义为柱横向边每边配筋 35, 纵向边每边配筋 28, 该柱沿纵向每 100 mm 的配箍量为 2.5. 梁编号 LXL3CD19 的含义为连系梁位于第 19 层的 3 轴, 梁段为 C~D 轴段. 其它梁编号依次类推. 梁底部配筋 4, 25, 5 的含义为梁底部左端配筋是 4, 梁底部中心

配筋是 25, 梁底部右端配筋是 5. 梁顶部配筋 34, 5, 32G1. 2 的含义为梁顶部左端配筋是 34, 梁顶部中心配筋是 5, 梁顶部右端配筋是 32, 该梁沿纵向每 100 mm 的配箍量为 1. 2. 梁左端和右端的定义以其配筋数据的书写方向为标准. 结构原型及有关数据分析, 如表 2~5 所示. 其中 ΣEI_w 为总剪力墙抗弯刚度, ΣC_f 为总框架抗剪刚度, μ_1 为总剪力墙配筋率的增长率, μ_2 为框架配筋率的增长率. 截面尺寸单位均为 mm, 配筋单位均为 cm^2 .

表 2 转换层纵向剪力墙截面及配筋

类 别	JLQ2-19	JLQ3-19	JLQ4-19	JLQ5-19	JLQ6-19	JLQ2-27	JLQ3-27	JLQ4-27
t	300	300	300	300	300	300	200	200
配筋	19H1.0	19H1.0	19H1.0	19H1.0	19H1.0	13H0.8	13H0.8	13H0.8

表 3 转换层主要框架柱截面及配筋

柱编号	KZ3C19	KZ4C19	KZ5C19	KZ6C19	KZ2F19	KZ3F19
$b \times h$	750 × 750	750 × 750	750 × 750	750 × 750	800 × 800	800 × 800
配筋	15, 15G2.6	15, 15G5.2	15, 15G5.2	15, 15G5.2	18, 18G5.9	18, 18G5.9
柱编号	KZ4F19	KZ5F19	KZ2F27	KZ3F27	KZ4F27	KZ3F19
$b \times h$	800 × 800	750 × 750	700 × 700	700 × 700	700 × 700	800 × 800
配筋	18, 18G5.9	15, 15G3.4	14, 14G2.5	14, 14G2.5	14, 14G2.5	18, 18G5.9

表 4 转换层主要连系梁截面及配筋

梁编号	LXL3CD19	LXL4CD19	LXL5CD19	LXL6CD19	LXL2EF19	LXL3EF19
$b \times h$	500 × 600	500 × 600	500 × 600	500 × 600	500 × 600	500 × 600
上部配筋	22, 1, 28G0.8	40, 1, 57G0.9	37, 1, 57G0.9	40, 1, 57G0.9	57, 1, 42G1.0	57, 1, 36G1.0
底部配筋	7, 20, 7	8, 46, 8	8, 43, 8	8, 46, 8	8, 45, 8	8, 42, 8
梁编号	LXL4EF19	LXL5EF19	LXL2EF27	LXL3EF27	LXL4EF27	
$b \times h$	500 × 600	500 × 600	500 × 600	500 × 600	500 × 600	
上部配筋	57, 1, 39G1.0	29, 1, 21G0.8	54, 1, 50G0.8	49, 1, 41G0.8	54, 1, 50G0.8	
底部配筋	8, 46, 8	5, 30, 5	8, 39, 8	8, 36, 8	8, 39, 8	

表 5 纵向剪力墙刚度变化对转换层各参量的影响^①

层号	$\Sigma EI_w / \text{kN} \cdot \text{m}^2$	$\Sigma C_f / \text{kN} \cdot \text{m}^2$	减小率/(%)		$\mu_1 / (\%)$	$\mu_2 / (\%)$
			ΣEI_w	ΣC_f		
18	3.011×10^9	4.275×10^5	44.0	22.3	0.0(竖向)	5.9
19	1.686×10^9	3.321×10^5			8.3(水平向)	
26	1.686×10^9	3.321×10^5	60.0	49.4	0.0(竖向)	6.7
27	6.743×10^8	1.681×10^5			10.0(水平向)	

① 总剪力墙配筋率和总框架配筋率, 均取为单构件配筋率相对于配筋截面面积的加权平均值

3 结论

表 1~5 的数据表明, 它适用于本文所研究的工程算例. 当剪力墙刚度衰减达 44%~60% 时, 总剪力墙竖向配筋率仍保持不变(由构造配筋率控制), 而剪力墙水平分布筋的配筋率仅增加 8.3%~10%, 总框架配筋率也仅增加 5.9%~6.7%. 在经验设计范畴内, 这种配筋率的增加可以认为是很小的, 而此时剪力墙的混凝土用量却大幅度减少了. 值得一提的是, 剪力墙刚

度突变使得剪力墙及其周围梁柱的配筋率的增加,只有在转换层内才显得比较突出;而在远离转换层时,其影响大幅减少,甚至反而对结构的抗震性能有所改善.这是因为刚度的减少,使得结构的地震反应也减小.因此可以认为,在高层框-剪结构中,剪力墙的刚度可以发生突变,但结构转换层的位置应选择得当.本文的工作具有普遍的意义,因为在高层框-剪结构中,剪力墙刚度发生突变,类同于其它结构形式的抗侧移刚度也发生突变^[6,7].

参 考 文 献

- 1 赵西安.高层建筑设计的一些问题.工程力学,1988,5(1):1~5
- 2 秦 荣.高层框-剪结构分析的新方法.工程力学,1988,5(2):1~6
- 3 Shabrooz B M, Remmetter M E, Qin F. Seismic design and performance of coupled walls. J. of Structural Engineering, 1993, 119(11):33~42
- 4 Safak E, Frankel A. Structural response to 3D simulated earthquake motions. J. of Structural Engineering, 1994, 120(10):46~57
- 5 韦鹏生,王全凤.多因素对剪力墙最优刚度影响的综合分析.工程力学,1996,13(2):61~68
- 6 韦鹏生.考虑二阶效应时高层筒体结构的刚度优化分析.土木工程学报,1996,29(5):18~23
- 7 王全凤.筒中筒结构高频振动的实用计算.华侨大学学报(自然科学版),1993,14(1):52~56

Effect of Abrupt Change of Stiffness on the Reinforcement of Structural Transition Storey

Wei Pengsheng

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract By using TAT, the program for structural three-dimensional analysis, a frame-shear structure of 33 storeys as an engineering example is analysed and its reinforcement ratio is calculated. At two localities within the structure, abrupt change in lateral displacement resistant stiffness has undergone along the upward direction. As concluded by analysis, in designing tall building structure, lateral displacement resistant stiffness may be changed abruptly which needs no special strengthening so long as the location of transition storey is properly chosen. Abrupt change in lateral displacement resistant stiffness will lead to the increase of reinforcement ratio. This phenomenon is prominent only at transition storey; it decreases greatly at the locality far from transition storey and even gives rise to the improvement of antiseismic performance of the structure on the contrary.

Keywords abrupt change in stiffness, transition storey, reinforcement, strengthening