

# 含断层剪力墙的框-剪结构动力时程分析

刘 祖 文

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

**摘要** 用 Newmark- $\beta$  法对某 24 层含断层剪力墙的框-剪结构作动力时程分析, 计算该结构在 El Centro 波作用下的最大楼层位移和最大楼层剪力. 发现动力时程分析时结构的最大楼层位移曲线和最大楼层剪力曲线, 均在剪力墙断层处发生明显的扭曲. 这种曲线的扭曲现象在振型分解法中非常不明显, 故当作此结构截面设计时应持谨慎态度.

**关键词** 剪力墙, 断层, 框-剪结构, 动力时程分析, 振型分解法, Newmark- $\beta$  法

**中图分类号** TU 973<sup>+</sup>.16

**文献标识码** A

基于建筑设计的考虑, 在高层建筑中采用转换层结构的情况目前呈上升趋势. 对于这种建筑, 目前转换层采用大型托梁结构、大型吊梁结构以及厚板结构的比较多. 它们都属于结构抗侧移刚度突然增大的情况. 另一种情况是结构在某些层出现抗侧移刚度突然减小(如剪力墙出现断层). 对于后一种情况, 目前国内工程界并不主张这样做, 原因是这将导致结构转换层的内力变得复杂化<sup>[1,2]</sup>. 国际上则认为, 结构的抗侧移刚度可以沿高度发生突变, 如果是框-剪结构, 剪力墙甚至可以断层, 而且认为转换层的截面设计只跟该层分配到的绝对地震作用效应有关, 不必对它进行特殊的加固<sup>[3,4]</sup>. 框-剪结构高层建筑在我国是最为常见的一种高层建筑结构形式, 因而对这一问题进行探讨是很有意义的. 本文用 Newmark- $\beta$  法<sup>[5,6]</sup>对某 24 层含断层剪力墙的框-剪结构作动力时程分析, 研究该结构在 El Centro 波作用下的地震反应情况.

## 1 动力时程分析的 Newmark- $\beta$ 法

假定整个积分时间区段 $[0, T]$ 被分为  $n$  等分, 即

$$\Delta t = T/n. \quad (1)$$

再根据 Newmark- $\beta$  法的假定, 结构系统动力平衡方程可改写为

$$M\ddot{x}_{i+1} + C\dot{x}_{i+1} + Kx_{i+1} = -M\ddot{z}_{i+1}. \quad (2)$$

在式(2)中, 有

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= x_i + \Delta x_{i+1}, \\ \dot{x}_{i+1} &= \dot{x}_i + (1 + \gamma)\dot{x}_i\Delta t, \end{aligned}$$

$$\Delta x_{i+1} = \dot{x}_i \Delta t + (1/2 - \beta) x_i'' \Delta t^2 + \beta x_{i+1}'' \Delta t^2.$$

上式  $\gamma, \beta$  为积分参数;  $z_{i+1}''$  为第  $i+1$  时间区段内的地面加速度;  $x_i, x_{i+1}, \Delta x_{i+1}$  分别为结构在第  $i$  或第  $i+1$  的时间区段内的位移和位移增量. 阻尼矩阵  $C$  的影响因素较多. 在弹性阶段, 假定  $C$  与刚度矩阵  $K^{(j)}$ 、质量矩阵  $M$  之间关系为

$$C = M/\pi + \tau E K. \quad (3)$$

在式(3)中, 有

$$\pi = \frac{\omega_j^2 - \omega^2}{2\omega\omega(\lambda_j\omega - \lambda\omega)},$$

$$\tau = \frac{2\omega\omega(\lambda_j\omega - \lambda\omega)}{\omega_j^2 - \omega^2},$$

其中  $\lambda_i$  和  $\lambda_j$  与  $\omega$  和  $\omega_j$  分别为第  $i, j$  振型的阻尼比和频率. 对于高层建筑结构(图 1), 取  $i=1, j=3$ . 根据上述假定, 可得

$$\Delta x_{i+1}^* = K^{*-1} P_{i+1}^* \quad (4)$$

在式(4)中,  $\Delta x_{i+1}^*$  为拟位移增量,  $K^* = \alpha M + K$  为拟刚度矩阵,  $P_{i+1}^* = -Kx_i - M\ddot{z}_{i+1} + (\alpha_2 \dot{x}_i + \alpha_3 x_i)M$  为拟荷载矩阵. 从式(4)可发现, 在  $i=1, 2, \dots, n$  的整个积分过程中,  $K^{*-1}$  只需计算一

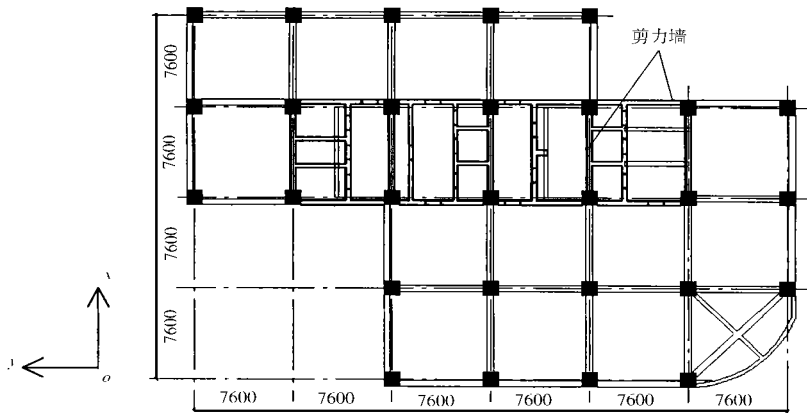


图 1 1~17 层高层部分结构平面图

次. 所以, 这种积分法的计算效率很高, 实用性比较好. 按式(4) 求出  $\Delta x_{i+1}^*$  以后, 其它的响应值——位移增量、位移、速度、加速度和侧向力, 可分别按式(5)~式(9) 计算. 即

$$\Delta x_{i+1} = \alpha_4 \Delta x_{i+1}^* + \alpha_5 \dot{x}_i + \alpha_6 x_i'', \quad (5)$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_{i+1}, \quad (6)$$

$$\dot{x}_{i+1} = \alpha_7 \Delta x_{i+1}^* + \alpha_8 \dot{x}_i + \alpha_9 x_i'', \quad (7)$$

$$x_{i+1}'' = \alpha_{10} \Delta x_{i+1}^* + \alpha_{11} \dot{x}_i + \alpha_{12} x_i'', \quad (8)$$

$$Q_{i+1} = K(x_i + \Delta x_{i+1}). \quad (9)$$

积分参数  $\gamma$  和  $\beta$  的选取, 它关系到算法的稳定性问题. 一般认为, 当  $\gamma=0.5$  和  $\beta=0.25$  时, 积分可以达到无条件稳定. 此时,  $\alpha_1 = (\pi + \Delta t/2) / [\pi + \Delta t(\pi/2 + \Delta t/4)]$ ,  $\alpha_2 = 4/\Delta t + (1/\pi - \tau\alpha_1)$ ,  $\alpha_3 = 1$ ,  $\alpha_4 = \Delta t/2\tau + \Delta t$ ,  $\alpha_5 = \tau\alpha_4$ ,  $\alpha_6 = 0$ ,  $\alpha_7 = 2/\Delta t^2$ ,  $\alpha_8 = -1$ ,  $\alpha_9 = 0$ ,  $\alpha_{10} = 4/\Delta t^2$ ,  $\alpha_{11} = -\alpha_{10}$ ,  $\alpha_{12} = -1$ .

## 2 算例

某 24 层框-剪结构高层旅馆, 总建筑面积  $16\,000\text{ m}^2$ , 结构总高  $75\text{ m}$ , 1 和 2 层有裙楼, 1 层高  $5\text{ m}$ , 层高  $4\text{ m}$ , 其余层高均为  $3\text{ m}$ . 该地区属 7 度抗震设防区, 基本风压为  $0.66\text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ . 其地面粗糙度为 B 类, 场地类别为 Ⅰ类. 高层部分的结构平面布置, 如图 1 所示(地面运动最大加速度  $a_{\max}$  为  $35.0\text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ ). 剪力墙在 18 层完全断层, 楼层处原剪力墙位置改用框架梁连接和支托. El Centro 波(ELC-3 波)反应谱以及结构在这种地震波作用下的振型、位移和内力响应, 分别见图 2~4 所示. 为了与振型分解法(SRSS 法)作一对比, 图 3, 4 同时给出时程分析

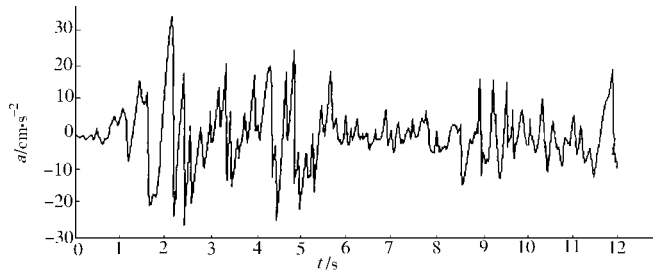


图 2 El Centro 波反应谱

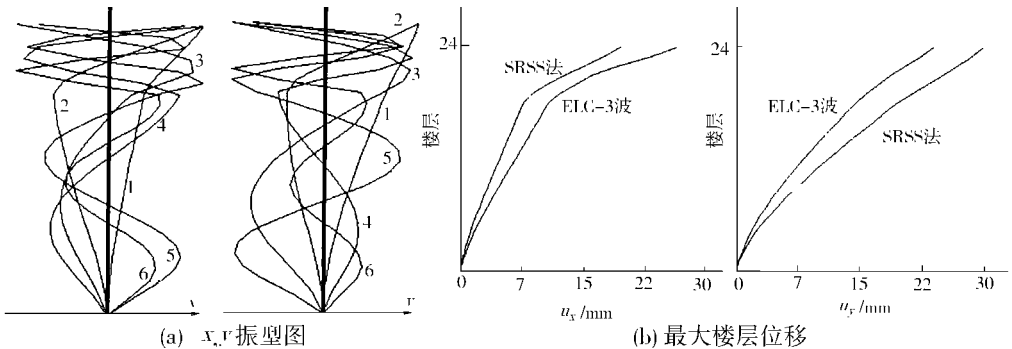


图 3  $x, y$  方向的振型和最大楼层位移( $u_x, u_y$ )

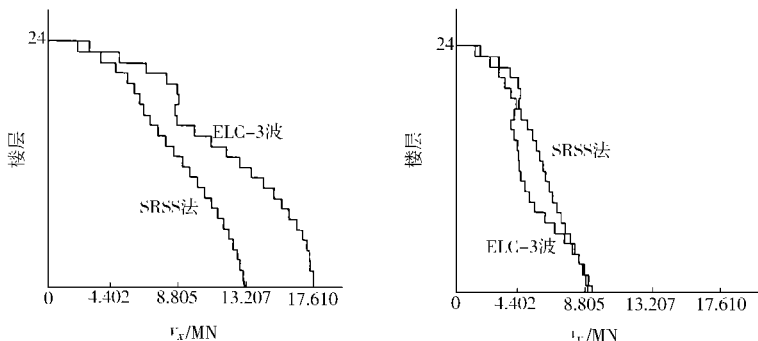


图 4  $x, y$  方向最大楼层剪力( $v_x, v_y$ )

与 SRSS 两种计算方法所得的曲线. 图 3, 4 中,  $u_{x, \max}$  和  $u_{y, \max}$  分别为  $26.0407\text{ mm}$  和  $29.5180\text{ mm}$ , 而  $v_{x, \max}$  和  $v_{y, \max}$  分别为  $17.5882\text{ MN}$  和  $9.2936\text{ MN}$ .

### 3 结束语

以上计算结果表明,对于本文所研究的工程算例,振型分解法(SRSS 法)和时程分析法的计算结果有较大的出入.对结构侧向刚度较小方向( $x$  方向),时程分析法计算所得的最大楼层位移和最大楼层剪力,比规范所推荐的振型分解法的计算结果来得大.同时,由于本工程算例在 18 层出现剪力墙断层,结构的抗侧移刚度大大减小,因而在时程分析时结构的最大楼层位移曲线和最大楼层剪力曲线,均在该处发生了明显的扭曲.这种曲线的扭曲现象在振型分解法中非常不明显,可见抗震规范所推荐的这种方法之局限性.高层结构的动力时程分析,这在日本和欧美等国家是必需的.以动力时程分析结果作为结构截面设计的依据,这要以雄厚的国家经济实力作为基础.这在我国目前是不太现实的.但动力时程分析的结果给我们展示了结构在地震作用下的薄弱部位和环节,这提示我们在作结构截面设计时应持谨慎的态度.

### 参 考 文 献

- 1 赵西安.高层建筑设计的一些问题[J].工程力学,1988,1(5):1~5
- 2 秦 荣.高层框-剪结构分析的新方法[J].工程力学,1988,2(5):1~6
- 3 Shabrooz B M, Remmetter M E, Qin F. Seismic design and performance of coupled walls[J]. J. Stru. Eng., 1993, 119(11): 33~42
- 4 Safak E, Frankel A. Structural response to 3D simulated earthquake motions[J]. J. Stru. Eng., 1994, 120(10): 46~57
- 5 韦鹏生.基于人工神经网络的结构优化分析[D].[学位论文].武汉:武汉水利电力大学土建系,1999
- 6 Humar J L. Dynamics of structures[M]. New York: Prentice Hall Inc., 1990. 702~762
- 7 刘祖文.柱轴向变形对高层框架结构柔度矩阵影响分析[J].华侨大学学报(自然科学版),2000,21(4): 380~383

## Dynamic and Time-Historical Analysis of a Frame-Shear Structure Containing Fault Shear Walls

Liu Zuwen

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

**Abstract** By using Newmark- $\beta$  method, a dynamic and time-historical analysis is made on a 24 storied frame-shear structure containing shear walls with fault; and a calculation is performed on the maximal floor displacement and the maximal floor shear of this structure under the action of El Centro wave. Significant distortion of all the curves of maximal floor displacement and maximal floor shear of this structure are found to occur at the faults of shear walls during dynamic and time-historical analysis. This distortion phenomenon of curves is insignificant in using method of decomposing mode of vibration. This reminds us that we should be cautious in sectional design of this structure.

**Keywords** shear wall, fault, frame-shear structure, dynamic and time-historical analysis, method of decomposing mode of vibration, Newmark- $\beta$  method