

地震作用下建筑结构变形计算方法

魏 珽

(中国建筑科学研究院)

【提要】 地震区各类工业与民用建筑,尤其是超高层建筑的变形计算与控制具有十分重要的意义。本文论述了地震作用下建筑结构变形计算的基本原则和原理,提供了相应的计算方法和公式。指出了现行某些方法存在的问题,反映了当前这一领域的最新成就,可供地震区各类建筑结构抗震设计参考。

一、前 言

建筑结构的变形计算与控制在抗震设计中起着越来越重要的作用。当设计者要求控制非结构构件的破损时,只知道结构的内力是无能为力的;有的结构由于工艺或功能的需要,必须严格控制结构的变形不超过容许值。这时,也需对结构在预期烈度的地震作用下的变形进行计算;对于毗连建筑之间的防震缝宽度,有时也要对变形作进一步的计算与分析。唐山地震最重要的教训之一就是抗震设计要防止建筑在大震作用下的倒塌,这时在结构的薄弱层进行弹塑性层间变形的验算是不可缺少的。近年来,我国各地许多高层建筑拔地而起,有些层数高达八、九十层,高度达300m以上的超高层建筑也正在筹划兴建或设计之中。这些建筑除采用传统的钢筋砼结构外,有的建筑将采用钢结构和钢-钢筋砼组合结构,这些建筑由于高度大,周期长,结构相对较柔,因而,它们在风与地震作用下的变形计算已成为当前众所关注和迫切需要解决的重要技术问题之一。显然,建筑结构变形计算方法的研究已成为近年来建筑结构抗震动力学的新的组成部份。

二、地震作用下结构变形计算的基本原则

七十年代以前,我国结构抗震设计计算均着重于建筑结构的内力与强度,很少涉及建筑结构的变形计算。自七十年代末开展结构弹塑性地震反应分析以来,逐步明确了结构在地震作用下计算的基本原则,那就是要区别设计和计算所取地震作用所对应的实际地震烈度,分别采用不同的计算分析方法。文献[1, 2]指出,在不同烈度对应的地震作用下,建筑结构可能处于弹性阶段,也可能已进入弹塑性状态。显而易见,当建筑结构进入弹塑性状态时,如不采用考虑薄弱层进入塑性影响的计算方法,是不能获得正确结果的。

《工业与民用建筑抗震设计规范(TJ 11-78)》(以下简称《78规范》)规定,设计地震力的取值,以基底剪力 V_0 为例可表示为

$$V_0 = CV_{e0} = C\alpha_1 G \quad (1)$$

上式中, V_{e0} 为对应于基本烈度 I_0 时的弹性地震基底剪力; C 为结构影响系数,根据不

同的材料、不同的结构类型，取0.25~0.50； α_1 为对应于基本周期的地震影响系数； G 为总重力。

以上述设计基底剪力 V_0 为依据，按一般弹性方法求出的结构内力所对应的烈度并不是基本烈度 I_0 ，而是低于基本烈度的某一烈度值 I_{m0} ，其降低值 ΔI_0 与 C 值大小有关，详见表1。

C值与烈度降低值 ΔI_0 关系表 表 1

结 构 系 数 C	烈度降低值 ΔI_0 (度)	结 构 系 数 C	烈度降低值 ΔI_0 (度)
0.25	2	0.40	1.32
0.30	1.74	0.45	1.15
0.35	1.50	0.50	1

由此可见，按《78规范》地震力求出的结构变形并不相当于基本烈度地震作用下的变形，而仅仅是在降低了烈度差额值 ΔI_0 后的较低烈度 I_{m0} 地震作用下的变形。

三、地震作用下结构弹性变形计算

当地震烈度较低，结构在地震力作用下处于弹性阶段工作时，按弹性动力学方法可求出结构的变形，文献[2~4]较系统地研究了单质点、多层结构、不对称结构以及高层建筑的弹性变形计算，获得了可供工程实用的成果。

(一) 单质点的弹性变形

单质点体系采用反应谱计算变形的公式为(图1)：

$$\Delta = \frac{\alpha G}{K} = \frac{\alpha g T^2}{4\pi^2}$$

(2)

式中， α 为对应地震烈度的地震影响系数； T 为自振周期； g 为重力加速度； G 为质点重力； K 为侧移刚度。

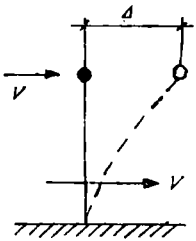


图 1 单质点位移

(二) 多层结构的弹性变形

对于 n 层结构，采用振型分解反应谱法计算结构的变形，任意振型 j 的地震作用及相应的水平位移按如下计算：

第 i 层水平地震作用 F_{ij} 为

$$F_{ij} = \alpha_j \gamma_j X_{ij} G_i,$$

(3)

式中， γ_j 为 j 振型参与系数， $\gamma_j = \sum_i X_{ij} G_i / \sum_i X_{ij}^2 G_i$ ； X_{ij} ， G_i 分别为 i 层的振型位移和重力； α_j 为地震影响系数。

在各层水平力 F_{1j} ， F_{2j} ，…… F_{nj} 作用下，用结构静力学方法即可求出 j 振型地震力作用下的位移，包括： j 振型顶点位移 Δ_{nj} ， j 振型 i 层位移 Δ_{ij} ， j 振型 i 层的层位移差 $\tilde{\Delta}_{ij}$ （ $= \Delta_{ij} - \Delta_{i-1,j}$ ）及 j 振型 i 层的层间位移 $\Delta_{ij}^s = \tilde{\Delta}_{ij} - \theta_{i-1,j} h_i$ ，其中 $\theta_{i-1,j}$ 为 j 振型 $i-1$ 层顶部的转角位移， h_i 为 i 层层高。

在求出各振型（一般振型数 m 取3）的上述位移之后，用平方和开方法（SRSS）作振

型组合，可求得顶层位移 Δ_n 及*i*层的位移 Δ_i 、层位移差 $\tilde{\Delta}_i$ 和层间位移 Δ_i^s ：

$$\Delta_n = \sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_{nj}^2}, \Delta_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_{ij}^2}, \tilde{\Delta}_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m \tilde{\Delta}_{ij}^2}, \Delta_i^s = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\Delta_{ij}^s)^2}$$

($i = 1, 2 \cdots n$) (4)

对层位移差和层间位移的差异进行的分析研究表明，在一般剪力墙、筒体结构中，必须区分层位移差与层间位移的不同，否则可能导致最大层间位移楼层位置判断和计算结果的错误。

对需考虑扭转的不对称多高层建筑，结构自振特征计算一般取前 9~15 个振型，即自振周期 T_j 及对应振型 X_{ij} 、 Y_{ij} 、 Φ_{ij} ，计算时， $j = 1, 2 \cdots 15$ 。

当为*X*方向地震作用时，振型参与系数 γ_{jx} 为

$$\gamma_{jx} = \sum_i X_{ij} m_i / \sum_i (m_i X_{ij}^2 + m_i Y_{ij}^2 + J_i \Phi_{ij}^2)$$

(5)

式中， m_i 、 J_i 分别为*i*层的质量和惯性矩。

对第*j*振型，任一楼层*i*作用有三个地震作用（图 2），它们是沿*X*、*Y*方向的水平地震力 F_{xij} 、 F_{yij} 及绕质心轴的地震扭转力矩 F_{mij} ，其相应计算公式为：

$$\left. \begin{aligned} F_{xij} &= \alpha_j \gamma_{jx} X_{ij} G_i \\ F_{yij} &= \alpha_j \gamma_{jx} Y_{ij} G_i \\ F_{mij} &= \alpha_j \gamma_{jx} \Phi_{ij} J_i g \end{aligned} \right\}$$

(6)

按一般结构静力学方法求出以上地震力作用下的变形，此时在边端的抗侧力构件将产生最大的位移，在*X*方向可表示为

$$\Delta_{xij}^0 = \Delta_{xij} + \theta_{ij} y_i^0$$

(7)

式中， Δ_{xij} 为*i*层质心处第*j*振型*X*方向位移， y_i^0 如图 2 所示。

（三）在以上变形计算公式中均需用到地震影响系数 α_j ，其值与地震烈度、场地类别、结构自振周期等有关。建筑抗震设计规范给出了如图 3 所示反应谱，可提供不同地震烈度、场地类别和结构自振周期的 α 值。但图 2 系根据结构临界阻尼比为 $c = 0.05$ 时求得的 α_j 值，一般适用于钢筋砼结构。对于钢结构，临界阻尼比为 $c = 0.02$ ，相应的 α_j 值按照高层钢结构

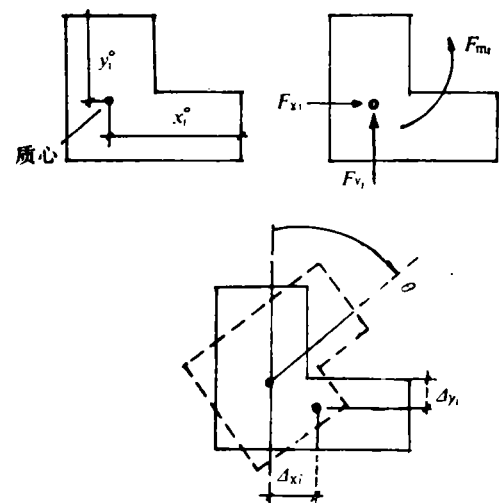


图 2 考虑扭转时的楼层地震作用

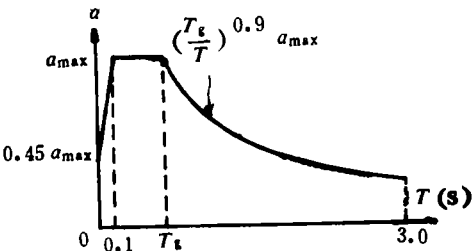


图 3 地震影响系数曲线

抗震设计规程的规定取钢筋砼结构 α_j 值的1.35倍, 当为钢和钢筋砼组合结构时, 其 α_j 值可按内插法确定。

四、层位移差与层间位移的区别

许多研究者和设计人员未注意将层位移差和层间位移加以区别, 导致某些结构层间位移计算结果的错误, 迄今为止某些电算程序仍然误以层位移差为层间位移, 这在高层建筑中亟需予以纠正。

层位移差的概念和定义是清楚的, 它是相邻楼层位移的差值

$$\widetilde{\Delta}_i = \Delta_i - \Delta_{i-1} \tag{8a}$$

层间位移是指某楼层的受力位移, 是为了控制层间非结构构件和结构构件变形而提出的一项计算指标, 现以图 4 所示剪力墙为例加以说明。

对于高宽比稍大的剪力墙, 其受力性质往往是弯剪型, 对于高宽比很大的剪力墙有可能是弯曲型, 无论是上述二者中的任何一种情况, 其楼层在侧力(风或地震)作用下将同时产生一转角, 此转角将对上部楼层引起刚体位移, 楼层位置愈高, 此项影响愈大。由图 4 可得 i 层由于 $i-1$ 层转角引起的刚体位移为

$$\theta_{i-1} \cdot h_i \tag{8b}$$

由此可得 i 层层间位移为

$$\Delta_i^s = \Delta_i - \Delta_{i-1} - \theta_{i-1} \cdot h_i \tag{8c}$$

层位移差与层间位移的关系为

$$\Delta_i^s = \widetilde{\Delta}_i - \theta_{i-1} h_i \tag{9a}$$

而且层间位移总是小于层位移差

$$\Delta_i^s < \widetilde{\Delta}_i \tag{9b}$$

楼层愈高, θ_i 值愈大, Δ_i^s 小于 $\widetilde{\Delta}_i$ 也将愈多。

只有对于剪切型结构, $\theta_i = 0$, 层间位移才和层位移差相一致。

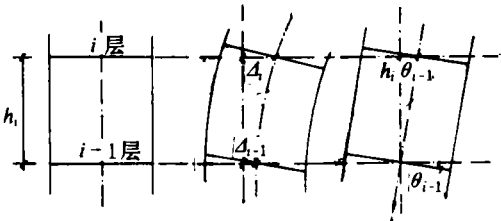


图 4

五、多、高层建筑顶点弹性变形的简化计算

地震作用下多高层建筑的顶点变形是设计者注意控制的参数之一, 但计算较烦, 尤其是在初步设计阶段难以求得这一数据, 文献[4]给出了简化计算公式。

按振型分解反应谱法, 顶点变形公式可表示为

$$\Delta_n = \xi \Delta_{n1} \tag{10a}$$

式中, Δ_{n1} 为第一振型顶点位移, ξ 为高振型影响系数, 根据大量分析, 可近似取

$$\xi = 1.05 \sim 1.15 \tag{10b}$$

第一振型顶点位移与相同周期单质点系统位移的关系为

$$\Delta_{s1} = \gamma_1 X_{s1} \delta_{T1} \quad (11a)$$

式中, δ_{T1} 为自振周期为 T_1 时单质点系统位移。

分别假定第一振型 X_{i1} 为一次、二次、三次曲线, 按不同层数 n 求出 $\gamma_1 X_{s1}$ 值, 经分析归纳后提出:

$$\left. \begin{array}{l} \text{对二至四层结构,} \\ \text{对五至八层结构,} \\ \text{对十层以上, 六十层以下的高层建筑,} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \gamma_1 X_{s1} = 1.3 \\ \gamma_1 X_{s1} = 1.4 \\ \gamma_1 X_{s1} = 1.6 \end{array} \quad (11b)$$

于是, 多高层建筑弹性顶点变形近似公式为:

$$\left. \begin{array}{l} \text{二至四层结构,} \\ \text{五至八层结构,} \\ \text{十层以上, 六十层以下结构,} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Delta_n = 0.035 \alpha g T_1^2 \\ \Delta_n = 0.037 \alpha g T_1^2 \\ \Delta_n = 0.043 \alpha g T_1^2 \end{array} \quad (11c)$$

在以上高层建筑顶点位移近似计算公式中, 需要用到结构基本自振周期 T_1 , 但在作上述计算时, 一般设计尚处于方案设计阶段和扩初设计阶段, 往往对结构还未能做出精细的电算, 因而只能采用近似方法求出估计的 T_1 值。

关于高层建筑基本自振周期的计算可以有各种简化的近似公式。作者研究总结了大量工程实例计算结果, 提出了一些概念和近似公式。其中一种方法是被动法, 即根据大量实际工程计算结果进行统计分析, 得出近似统计公式, 这是一种反映现状设计的总结。第二种方法可简称为主动法, 即带有设计者主动意向的设计计算公式。众所周知, 控制结构周期的最终目标实际上就是要控制结构所受的地震作用和相应在地震作用下结构的位移不超过规范规定的许可值, 因而, 这样的计算公式应与地震烈度、结构许可变形和结构层数等有关。根据以上论述, 作者建议高层建筑自振周期的近似计算公式如下:

被动法 近十年来, 我国各大城市兴建了许多二十层至四十层的高层建筑, 也已建造和正在设计建造一批五十至八十层的高层建筑。在总结这些高层建筑基本自振周期计算结果的基础上, 并考虑到当今高层建筑结构刚度设计的总趋向, 建议 T_1 的近似公式如下:

$$n = 20 \sim 25 \text{ 层时, } T_1 = 0.07 \sim 0.08n$$

$$n = 30 \sim 55 \text{ 层时, } T_1 = 0.09 \sim 0.10n$$

$$n = 60 \sim 80 \text{ 层时, } T_1 = 0.08 \sim 0.09n$$

主动法 在适宜周期时按下式计算:

$$T_1 = 0.95 \left[\frac{0.62 h_i (3n^2 + 3n - 1) \Delta / H}{n T_g^{0.9} \alpha_{\max}} \right]^{0.9} \quad (12a)$$

当按上式求出 T 值大于对应的 $0.2\alpha_{\max}$ 的周期值 T_m 时, 上式不再适用, 需改用下列公式计算:

$$T_1 = \left[\frac{0.62 h_i (3n^2 + 3n - 1) \Delta / H}{\left(\frac{T_g}{T_m} \right)^{0.9} n \alpha_{\max}} \right]^{0.9} \quad (12b)$$

需已知 T_m 值方能从上式计算 T 值, 按 T_m 的定义, 可得

$$(T_g / T_m)^{0.9} \alpha_{\max} = 0.2 \alpha_{\max}$$

由此得

$$T_m = 5.979 T_g \quad (12c)$$

按照建筑抗震设计规范 (TJ 11-89) 反应谱 (图 3), 按式 (12c) 计算, 当 $T_g \geq 0.4s$ 时, 取 $T_m = 3.0s$ 。

h_i ——平均层高 (m);

n ——层数;

T_g ——反应谱特征周期 (s);

Δ/H ——建筑物顶点水平位移与建筑物总高度之比的规范许可值;

α_{max} ——地震影响系数最大值。

六、地震作用下结构弹塑性变形计算

当结构在强烈地震作用下, 某些构件强度屈服时, 结构进入弹塑性状态工作。有关构件的刚度随时都在变化, 使相应的变形计算变得十分复杂。我国从1978年开始这方面的研究, 经过近十年的努力, 已经获得明显的成果。

(一) 时程分析法

图 5 所示为平面多质点系统, 在输入地震动 $\ddot{u}_0$ 作用下, 其基本动力方程为

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[m]\{\ddot{u}_0(t)\} \tag{13}$$

质量矩阵

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & & 0 \\ & m_2 & \\ & & \ddots \\ 0 & & & m_n \end{bmatrix} \tag{13a}$$

刚度矩阵

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots k_{2n} \\ \cdots \cdots \cdots & & \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots k_{nn} \end{bmatrix} \tag{13b}$$

对不同分析模型, k_{ij} 的形式是不同的。

$$\begin{aligned} \{\ddot{x}\} &= \{\ddot{x}_1, \ddot{x}_2 \cdots \ddot{x}_n\}^T \\ \{\dot{x}\} &= \{\dot{x}_1, \dot{x}_2 \cdots \dot{x}_n\}^T \\ \{x\} &= \{x_1, x_2 \cdots x_n\}^T \end{aligned} \tag{14}$$

阻尼矩阵 $[c] = \beta_1[m] + \beta_2[K]$, 其中阻尼系数 β_1, β_2 计算如下:

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= 2\omega_i\omega_j(\xi_j\omega_i - \xi_i\omega_j)/(\omega_i^2 - \omega_j^2) \\ \beta_2 &= 2(\xi_i\omega_i - \xi_j\omega_j)/(\omega_i^2 - \omega_j^2) \end{aligned} \right\} \tag{15}$$

ω_i, ω_j 及 ξ_i, ξ_j 是任意二阶振型的频率和阻尼比。

$$\{\ddot{u}_0\} = \{\ddot{u}_0(t), \ddot{u}_0(t) \cdots \ddot{u}_0(t)\}^T \tag{16}$$

$\ddot{u}_0(t)$ 是输入水平地震加速度记录。

由于结构某些部位进入塑性, 构件的刚度为时间 t 的函数。假设构件恢复力模型为多段折线组成的形式, 通过判别任意瞬时 t 构件刚度所在的位置, 即可确定该瞬时的刚度值, 从而采用任一类逐步积分的方法进行结构的变形计算。本法亦适用于结构弹性变形计算但构件刚度取常数。

文献[5~9]先后采用不同的恢复力模型与数值积分方法,成功地编制了多、高层剪切型结构与杆系模型的弹塑性地震反应计算程序,从而解决了地震作用下多质点系统弹塑性变形的计算。而直接输入地震波进行逐步积分运算则是十分冗繁的,且每运算一次只能求出一条地震波作用下的结果,工程应用上甚感不便。

(二) 实用计算方法研究

从八十年代初期开始,我国工程抗震研究者作出很大努力,进行了有关结构弹塑性地震位移反应实用计算方法的研究,取得了突破性的进展。他们分别采用双线型、三线型等恢复力模型,对不同周期、不同层数(二至十二层)、不同弹塑性参数、不同屈服力水准的均匀多层剪切型结构输入不同地震记录进行弹塑性地震反应分析,在大批实例计算结果的基础上进行

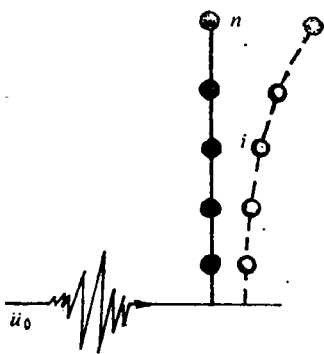


图 5 多质点系简图

统计分析,给出了以下实用计算公式。

多层均匀结构的最大弹塑性层间变形 Δ_p 可将弹性层间变形 Δ_e 适当增大求得:

$$\Delta_p = \eta_y \Delta_e \tag{17}$$

式中, η_y 为弹塑性变形的增大系数。

文献[10]给出了 η_y 的计算公式:

$$\eta_y = 17.2\xi_y^5 - 68.2\xi_y^4 + 102.7\xi_y^3 - 71.9\xi_y^2 + 21.2\xi_y \tag{18}$$

$$\xi_y = \frac{F_y}{V_e} \tag{19}$$

式中, F_y 为层屈服强度, V_e 为层弹性地震剪力。

文献[11, 12]给出了公式:

$$\eta_y = \alpha_n(0.33 + 0.67/\xi_y) \tag{20}$$

式中, α_n 为楼层数调整系数,当楼层数为二至四时,取0.9;当楼层数为五至七时,取1.0;当楼层数为八至十二时,取1.2。

经过进一步的分析研究,新的国家标准《建筑抗震设计规范(GB 11—89)》采用如表2的 η_y 值。

层间弹塑性位移增大系数 表 2

结 构 层 数 n	ξ_y			
	0.5	0.4	0.3	0.2
二至四	1.30	1.40	1.60	2.10
五至七	1.50	1.65	1.80	2.40
八至十二	1.80	2.00	2.20	2.80

文献[10, 13]等进一步研究了刚度较均匀但屈服强度在某层削弱(即薄弱层的情况,发现在薄弱层出现塑性变形集中的普遍规律。)根据大量统计分析,当薄弱层屈服强度系数 ξ_y 值减小到其他各层 ξ_y 值的一半时,其塑性变形不再随薄弱层 ξ_y 的减小而增大,因此新的建筑规

范指出,当薄弱层 ξ_i 值不大于各层屈服强度系数平均值的0.5时,可按表2所列值的1.5倍取用;当介于其中时可按内插法取值。

(三) 塑性内力重分布法

对于刚度及屈服强度都不均匀的多层剪切型结构以及框-剪、剪力墙等结构,用上述统计分析方法尚难求出一个简捷实用的公式。文献[13]经过大量算例与时程分析法计算结果的比较,证明塑性内力重分布能反映薄弱层塑性变形集中这一主要特征,计算结果也较为接近,是一个有实用价值的近似算法。

对于多层框架结构,楼层*i*的屈服抗剪强度系数 ξ_i 为

$$\xi_i = F_{yi} / V_{ei} \tag{21}$$

其中最小者 $(\xi)_{\min}$ 所在楼层即为薄弱层。研究还表明,当某楼层的 ξ_i 值小于相邻上下楼层 ξ_{i+1} 与 ξ_{i-1} 之平均值时,也可能为薄弱层,该楼层弹塑性变形 Δ_{pi}^s 由下式求得:

$$\Delta_{pi}^s = 0.83 \Delta_{en} - \sum_{j \neq i}^n V_{pj} / K_j \tag{22}$$

$$V_{pj} = \begin{cases} \xi_i V_{ej} & (j > i) \\ V_{ej} - (1 - \xi_i) V_{ej} & (j < i) \end{cases} \tag{23}$$

式中, Δ_{en} 为地震作用下按弹性计算求得顶点位移; V_{ej} , V_{pj} 分别为*j*层的弹性和弹塑性层剪力; K_j 为*j*层刚度。

薄弱层弹塑性位移增大系数为

$$\eta_{yi} = \Delta_{pi}^s / \Delta_{ei}^s \tag{24}$$

式中, Δ_{ei}^s 为地震作用下按弹性计算求得的*i*层层间位移。

对于框-剪结构及剪力墙结构,为确定剪力墙中薄弱层之位置,分别引入抗弯和抗剪两个屈服强度系数:

$$\xi_{mi} = M_{yi} / M_{ei}, \quad \xi_{vi} = F_{yi} / V_{ei} \tag{25}$$

式中, M_{yi} 为*i*层层底截面抗弯屈服强度; M_{ei} 为该层底截面弹性地震弯矩。

各层 ξ_{mi} , ξ_{vi} 中最小值表示薄弱层的位置及屈服破坏的性质。文献[4]区别抗弯及抗剪两种不同破坏形式,导出了薄弱层弹塑性层间变形的公式,此法也适用于不对称建筑的边端抗侧力结构。

(四) 其它近似方法

《钢筋混凝土高层建筑设计施工规定》提出了一个近似算法。该法的地震力公式与《78规范》相同,考虑结构影响系数*C*,即

$$F_{ij} = C \alpha_j \gamma_j \cdot X_{ij} G_i \tag{26}$$

求变形时引入刚度折减系数 β 。对墙体和框架梁柱, β 取0.65;对墙与框架的连梁, β 取0.35。

顶点变形 $\beta \Delta_n$ 为*m*个振型顶点位移的平方和开方,即

$$\beta \Delta_n = \sqrt{\sum_{j=1}^m \beta \Delta_{nj}^2} \tag{27}$$

将计算结果放大2倍,得顶点弹塑性变形为

$$\Delta_n = 2 \cdot \beta \Delta_n \tag{28}$$

式中,左下标 β 表示位移计算时考虑了刚度折减系数 β 。

此法的计算结果实质上与不考虑结构影响系数, 仍取 $F_{ij} = \alpha_j \gamma_j X_{ij} G_i$ 为地震力求得的
结构弹性位移大体相同。研究表明, 由此求得的结构顶点位移近似可用, 但用此法求出的
结构层间位移和层位移差是不符合实际的, 因此在工程中使用是不适当的。

参 考 文 献

- [1] 魏 珪等: 试论建筑结构抗震设计的基本原则, 建筑结构学报, 第5卷第6期, 1984。
- [2] 魏 珪: 建筑抗震设计对策, 工程抗震, 1988年第2期。
- [3] 魏 珪、杨 鉴: 高层建筑扭转耦联振动的地震力及振型组合, 建筑结构学报, 第7卷第1期, 1986。
- [4] 魏 珪: 钢筋混凝土高层建筑新抗震设计法, 工程抗震, 1987年第3期。
- [5] 尹之潜等: 多层建筑在地震作用下的弹塑性反应, 地震工程与工程振动第2期, 1982。
- [6] 戴国莹等: 框架结构地震反应计算若干问题, 力学学报特刊第3期, 1981。
- [7] 魏 珪等: 线杆系多层多间框架非线性地震反应的简化计算, 建筑结构学报, 第1卷第1期, 1980。
- [8] 林家浩等: 多层剪切型结构弹塑性地震反应计算, 大连工学院学报第2期, 1980。
- [9] 潘士劼等: 框架结构非线性地震反应分析, 同济大学学报第4期, 1980。
- [10] 尹之潜等: 抗震设计方法中几个问题的研究, 地震工程与工程振动第2期, 1983。
- [11] 韦承基: 弹塑性结构的位移比谱, 建筑结构学报, 第4卷第1期, 1983。
- [12] 陈光华、魏 珪: 地震作用下多层剪切型结构弹塑性位移反应的简化计算, 建筑结构学报, 第5卷第2期, 1984。
- [13] 何广乾、魏 珪: 论地震作用下多层剪切型结构的弹塑性变形计算, 土木工程学报, 第15卷第3期, 1982。

Calculation Method of Building Structure Deformation under Earthquake Actions

Wei Lian

(China Academy of Building Research)

Abstract

The deformation calculation and its control for industrial and civil buildings in earthquake zone are quite significant in structural design, especially for highrise buildings. This paper elaborates the fundamental principle of calculating the deformation of building structures under earthquake actions and presents the relevant calculation method and formulas. It points out the problems existing in certain conventional methods and reveals the achievements obtained in this domain. The contents of this paper may be used as a reference for earthquake resistant design of various building structures.