

微型机结构计算机软件系统

之四

高层框剪结构近似计算

吴学敏 编

北京科技协作中心

计算机软件部

一九九二年五月

目 录

一、概况	1
二、程序功能和编制依据	2
(一) 程序的功能	2
(二) 程序的编制依据	4
(三) 基本假定及计算方法	4
三、程序采用的主要计算公式	5
(一) 剪力墙的约化刚度矩阵 $[K_w]$	5
(二) 框架的约化刚度矩阵 $[K_F]$	6
(三) 结构的总刚度矩阵	7
(四) 结构的抗震计算	9
四、程序的使用说明	11
(一) 数据文件的准备	11
(二) 数据文件的内容	11
(三) 程序的启动和运行	15
(四) 程序的输出结果	17
五、例	17

一、概况

就结构设计来说,高层建筑和多层建筑的一个主要区别是高层建筑的水平荷载对结构设计起了主导作用。特别是在地震区,高层建筑的抗震验算是结构设计要解决的主要问题。设计人员对结构在垂直荷载作用下的截面假定有比较丰富的经验,在方案和初步设计阶段,一般能比较容易地按荷载和结构的柱网尺寸估计梁、柱的截面尺寸。而对高层建筑抗侧力结构的截面尺寸,则往往不容易凭经验来假定。常需反复进行假定和计算才能符合要求。而利用一般的施工图计算程序来估算截面,常常需要输入过多的数据和浪费机时。为此,我曾编制了近似计算程序 FW02、FW03、FW04、FW05。由于它要求的数据简单,运算速度快,输出结果简单明了,有人机对话式修改数据反复运算的功能,因此受到用户的欢迎。现在,新的结构设计规范已经颁布,并将于1992年7月1日起全面使用。为了符合新规范的要求和使用更方便,将原计算程序 FW03、FW04、FW05 的功能合并在一起,按新规范编制了新版本计算程序 FW06。

新版 FW06 的结构计算模型仍为空间协同计算模型,程序只计算水平荷载作用。可以计算各榀抗侧力结构所分配到的水平力、顶点位移、层间位移、各竖向杆件的剪力等影响结构布置的主要结果。除在打印文件上输出外,还在屏幕上输出,设计人员可以检视屏幕输出结果后,用人机对话方式修改混凝土强度等级,梁、柱、剪力墙的截面尺寸,反复运算,直至满足要求为止。因此,应用这个程序可以避免使用施工图计算程序来完成结构的布置和截面假设,可以大大节省机时。

程序包括四种不同计算功能。它们是:

1. 计算风荷载作用;
2. 按结构两个主轴方向分别计算地震作用;
3. 计算任意方向的地震作用;
4. 按时程分析法作弹性分析计算地震作用。

这四种功能与新抗震设计规范的要求紧密结合。其中,计算任意方向的地震作用和按时程分析法计算的功能是新规范与旧规范在地震作用计算方面的主要区别之一。目前,一些施工图设计用的计算程序也还不具备这些功能。

时程分析法又称直接动力法。采用时程分析法时,以输入的地震波作为地震作用。一般来说,地震波的峰值应反映建筑物所在地区的烈度,而其频谱组成应反映场地的卓越周期与动力特性。应用时程分析法可以计算从地震作用开始直至终了全过程的每一瞬时结构的变形及内力状况。

直接采用规范的反应谱不能很好地符合不同工程所在的实际地震地质环境、场地条件及地基土特征,从而求出的地震作用可能偏差较大,也不能很好反映场地各层土层的动力影响。同时,反应谱法不能很好反映结构在地震动过程中随时间变化的过程,有时不能给出正确的概念,有时不能找出结构真正的薄弱部位。

从由国外设计的几个项目来看,如日本设计的中日友好医院、中国国际贸易中心,香港设计的南京金陵饭店等工程,除按中国规范的反应谱计算外,都作了动态分析。其中的弹性动态分析可以用来校核按规范反应谱所计算得到的地震作用力。例如,日本日建公司设计的中日友好医院高层病房楼,按设计烈度9度计算。除用规范反应谱计算外,还用了5条地震波----- EL CENTRO NS, EL CENTRO EW, TAFT EW 和北京 NS -----作了动态分析。弹性动态分析取最大地面加速度为100gal。计算结果表明,以北京波的反应最大,其最大地震剪力约为按规范反应谱计算值的1.4倍左右。

在计算程序方面,除从国外引进的如ETABS程序和按国外程序改编的如MTABS等程序有弹性动力分析外,国内自编的一般都是用于弹塑性动力分析的程序。

由于时程分析法要求大的计算机容量和较长的运算时间。因此,过去只对极少数的特殊建筑物按时程分析法进行弹塑性动力分析作为补充校核,一般不对结构作弹性的动力分析。

在计算模型方面,国内已具备条件可供选用的有:剪切模型,平面杆系模型,单柱框架模型和多层剪扭模型。这几种计算模型有各自的假定和适用情况。但除多层剪扭模型外,都不能适用于平面布置较复杂,或有斜交结构,或质量分布不对称的情况。

FW06 采用可以有任意斜交结构的平面协同工作模型。由于采用了简化的计算,因此,仍可在很短时间内完成弹性的动力分析。使设计人员可以很容易地进入到这个过去难以进入的领域。

二、程序功能和编制说明

(一)、程序的功能

程序适用于多层或高层的框架结构、框架--剪力墙结构或剪力墙结构。其中框架可以是普通框架或壁式框架。

所有框架都必须是简式框架。对于复式框架应加虚杆变成简式框架后进行计算。

所有剪力墙都指单肢整截面剪力墙,否则应化成壁式框架后进行计算。

框架柱截面可以是矩形的、T形的或工形的,框架梁截面只能是矩形的。

结构的平面布置可以是正交的或斜交的。

结构的平面可以是对称的或不对称的。结构沿竖向的刚度和质量可以是均匀的或不均匀的。

混凝土强度等级可以任意,但同一层内的墙柱、梁的混凝土强度等级必须分别各自相同。否则,应换算成相同强度等级的截面进行计算。一般应按弹性模量换算截面宽度,但应注意抗震强度的改变。

除上述公共部分外,程序有四种不同的计算功能。分别为:

1. 计算风荷载作用

程序可用以分析风荷载作用下的楼层位移,风荷载在各抗侧力结构间的分配,截面抗剪强度等影响结构布置、截面选择的控制指标。

2. 按结构两个主轴方向分别计算地震作用

程序可用以计算地震作用下的楼层位移,地震作用力在各抗侧力结构间的分配,截面抗剪强度等影响结构布置、截面选择的控制指标。

作地震作用计算时抗震设防烈度可分为6、7、8、9度的近震或远震,场地类别可为I、II、III、IV类。

水平地震作用的计算可以按底部剪力法或振型分解反应谱法。

为减少占用的内存和缩短运算时间,可以要求将几个楼层凝缩成一个质点进行计算。此时,程序将自动将计算地震作用的重力荷载和结构刚度按质点凝缩。

结构的自振周期和水平荷载按结构的两个主轴方向(相应于坐标轴X、Y方向)计算并作用。因此,X、Y轴的选取应该相应于结构的两个主轴方向。计算中考虑了扭转的影响。

采用振型组合法时,所取的振型数不超过质点数。一般可取3~5个。总地震效应按平方和的开方法(SRSS法)。

计算结果除输出到打印文件上外,在屏幕上将显示主要的结果。用户可以根据计算结果用人机对话方式修改混凝土强度等级或截面数据,反复运算,到符合要求为止。

3. 计算任意方向的地震作用

程序可用以计算任意方向地震作用下的楼层位移,地震作用力在各抗侧力结构间的分配,截面抗剪强度等影响结构布置、截面选择的控制指标。

作地震作用计算时,抗震设防烈度可以为6、7、8、9度的近震或远震,场地类别可为I、II、III、IV类。

水平地震作用的计算按振型分解反应谱法。

为减少占用的内存和缩短运算时间,可以要求将几个楼层凝缩成一个质点进行计算。此时,程序将自动将计算地震作用的重力荷载和形成的重量惯性矩及结构刚度按质点凝缩。

结构的振型考虑了结构的扭转耦联,自由度数为质点数乘3。总地震效应按完整二次项组合法(CQC法)进行。因此,可以计算不对称结构在任意方向地震作用下的地震效应。

要求计算的振型数不超过质点数乘3,一般可取9~15个。

要求计算的地震作用方向数可为任意个。

计算结果除输出到打印文件上外,在屏幕上将显示主要的结果。用户可以根据计算结果用人机对话方式修改混凝土强度等级或截面数据,反复运算,到符合要求为止。

4. 按时程分析法作弹性分析计算地震作用

程序可用以计算输入任意方向作用的地震波时结构的弹性动态反应。计算结果输出地震位移、总地震剪力、各抗侧力结构的地震位移、地震剪力、截面抗剪强度等的弹性反应最大值。

程序配了4条地震波可供选用。它们是：

- (1) EL CENTRO (1940, N-S, $A_{\max}=341$ 伽, $T=0\sim 7.98$ 秒)；
- (2) TAFT (1952, $A_{\max}=175.9$ 伽, $T=0\sim 7.98$ 秒)；
- (3) 唐山地震滦河桥台记录 (1976, 8, 31, $A_{\max}=200$ 伽, $T=0\sim 4.58$ 秒)；
- (4) 宁河地震天津记录 (1976, 11, 15, $A_{\max}=200$ 伽, $T=0\sim 10.98$ 秒)。

用户也可以输入自己的地震波。地震波数据的时间间隔可为定时间间隔，也可为变时间间隔。

程序可反复计算不同的地震波，不同的最大加速度值和不同的作用角度，分别输出它们反应的最大值。

程序作时程分析时不考虑质点的凝缩，不考虑人机对话方式的修改。

(二)、程序的编制依据

程序的编制依据下列规范：

混凝土结构设计规范 GBJ10-89

建筑抗震设计规范 GBJ11-89

(三)、基本假定及计算方法

1. 程序的编制采用矩阵位移法，总刚的形成考虑平动--扭转耦连影响。
2. 程序考虑的基本抗侧力结构为剪力墙和框架两类。其中剪力墙只能为单肢整截面剪力墙，框架可以为普通框架或壁式框架。
3. 计算的基本假定为：
楼板在其自身平面内为绝对刚性；而在其自身平面外的刚度则很小，可忽略不计。
各榀抗侧力结构(框架或剪力墙)在其自身平面内的刚度很大；而在其自身平面外的刚度小至可忽略不计。
所有构件(梁、柱及剪力墙)均不考虑自身的抗扭作用。
在振动计算中，将质量都近似地集中到各层楼板平面上。
4. 剪力墙为矩形、T形或工字形的单肢整截面墙，计算中简化为竖向悬臂，计算位移矩阵时考虑弯曲、剪切变形。
5. 框架或壁式框架为规则形框架，用D值法计算位移矩阵，并考虑轴向变形的影响。

6. 对于壁式框架,程序自动计算梁柱刚域并计算剪切变形的影响。

三、程序采用的主要计算公式

(一)、剪力墙的约化刚度矩阵 $[K_w]$

单肢剪力墙可以简化为一个变截面的竖向悬臂(图3.1)。计算位移矩阵时,考虑弯曲变形和剪切变形。

设第 i 层剪力墙的层高为 H_i , 抗弯刚度为 $(EI)_i$, 抗剪刚度为 $(GA)_i$, 剪切不均匀系数为 α_i , 则剪力墙位移矩阵 $[D_w]$ 的各元素为:

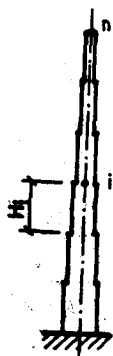


图 3.1

$$\delta_{ii} = \sum_{k=1}^i \left[\frac{(\sum_{l=k}^i H_l)^3 - (\sum_{m=k+1}^i H_m)^3}{3(EI)_k} + \left(\frac{\alpha}{GA} \right)_k \cdot H_k \right] \quad (i=1, \dots, n) \quad (3.1)$$

$$\delta_{ij} = \delta_{ji} + \theta_{ij} \cdot \sum_{k=i+1}^j H_k, \quad (i=1, \dots, n-1; j>i) \quad (3.2)$$

式中

$$\theta_{ii} = \sum_{k=1}^i \frac{(\sum_{l=k}^i H_l)^2 - (\sum_{m=k+1}^i H_m)^2}{2(EI)_k}, \quad (i=1, \dots, n) \quad (3.3)$$

当 $k=i$ 时:

$$\sum_{m=k+1}^i H_m = 0 \quad (3.4)$$

求得剪力墙的位移矩阵 $[D_w]$ 后, 剪力墙的约化刚度矩阵为:

$$[K_w] = [D_w]^{-1} \quad (3.5)$$

(二)、框架的约化刚度矩阵 $[K_F]$

首先求框架的位移矩阵 $[D_F]$ 。框架的位移矩阵由两部分组成：第一部分由弯曲变形和剪切变形组成，记为 $[D_F]_M$ ；第二部分由框架柱的轴向变形组成，记为 $[D_F]_N$ 。

$[D_F]_M$ 用D值法计算。当框架各层柱的总绝对剪切刚度 $\sum D_A$ 值已知时，框架位移矩阵 $[D_F]_M$ 的各元素为：

$$\delta_{ji} = \delta_{ij} = \sum_{k=1}^i \frac{1}{(\sum D_A)_k}, \quad (i=1, \dots, n; j>i) \quad (3.6)$$

对于普通框架，框架各柱的绝对剪切刚度D 值按下式计算：

$$D_A = \alpha K_z \frac{12}{H^2} \quad (3.7)$$

式中

K_z -----柱的线刚度, $K_z = \frac{(EI)_z}{H}$;

α -----梁柱刚比影响系数, 按表 3.1。

梁柱刚比影响系数表

表 3.1

楼 层	简 图	$\bar{K}$	α
顶 层		$\bar{K} = \frac{K_{L1} + K_{L2} + K_{L3} + K_{L4}}{2K_z}$	$\alpha = \frac{\bar{K}}{2 + \bar{K}}$
一般层		$\bar{K} = \frac{K_{L1} + K_{L2} + K_{L3} + K_{L4}}{2K_z}$	
底 层 (固定)		$\bar{K} = \frac{K_{L1} + K_{L2}}{K_z}$	$\alpha = \frac{\phi + 6\bar{K}}{4\phi + 6\bar{K}}$ $\phi = 1 + \frac{H_2}{H_1}$

对于壁式框架,计算梁柱线刚度时,应考虑刚域的影响和截面剪切变形的影响(图3.2),分别按下式计算:

$$K' = \left(\frac{L}{L_0} \right)^3 \frac{EI}{L} \gamma_Q \quad (3.8)$$

式中 γ_Q 为考虑截面剪切变形影响的系数,

$$\gamma_Q = \frac{1}{1 + 2.8 \left(\frac{h}{L_0} \right)^2} \quad (3.9)$$

考虑框架柱的轴向变影响时,可近似取最外边两根柱的影响。则框架由边柱轴向变形所引起的位移实际上相当于把框架左右边柱看成一个整体悬臂,由其弯曲引起的变形,因此,可以用剪力墙的计算公式(3.1~3.4)计算 $[D_F]_N$ 。

由此,框架的约化刚度矩阵为:

$$[K_F] = ([D_F]_M + [D_F]_N)^{-1} \quad (3.10)$$

(三)、结构的总刚度矩阵

将各层楼面的平面坐标系原点放在各层的质心处,则由于各层楼面的质量中心不一定在同一根竖直线上,所以,如将各层楼面的质量中心连接起来,就可能成为如图3.3所示的曲轴形。

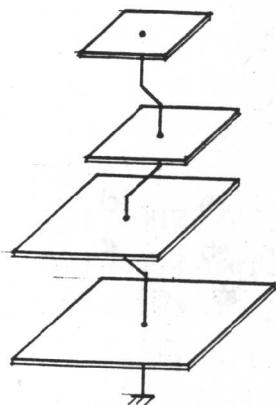


图 3.3

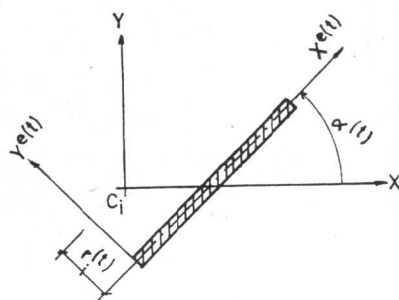


图 3.4

因为各榀抗侧力结构在平面的位置是不变的,所以,它们在各层楼面的平面坐标系中的坐标值就不再是常量,将随楼层坐标原点(即该层的质心 C_i)的位置而变。

设 i 楼层质心 C_i 点在坐标轴 X 及 Y 方向的水平位移为 U_i 及 V_i , i 层楼面的水平扭转角为 Φ_i , 则任第 t 榀抗侧力结构 (图 3.4) 在 i 层楼面处沿其自身平面内的水平位移 $U_i^{e(t)}$ 可由下式计算:

$$U_i^{e(t)} = U_i \cos \alpha^{(t)} + V_i \sin \alpha^{(t)} + \Phi_i \gamma_i^{(t)} \quad (3.11)$$

式中 $\alpha^{(t)}$ 为从 X 轴至局部坐标 $X^{e(t)}$ 的夹角, 以反时针方向为正; $\gamma_i^{(t)}$ 为质心 C_i 在局部坐标系中的 $\gamma^{e(t)}$ 坐标值。各右肩注 e 为表明属于局部坐标系的。

令该榀抗侧力结构于各层楼面处沿其自身的纵向的水平力向量及水平线位移向量分别为 $\{X^{e(t)}\}$ 及 $\{U^{e(t)}\}$, 则

$$[K^{(t)}] \{U^{e(t)}\} = \{X^{e(t)}\} \quad (3.12)$$

式中 $[K^{(t)}]$ 为第 t 榀抗侧力结构的约化刚度矩阵:

$$\{U^{e(t)}\} = [U_1^{e(t)}, U_2^{e(t)}, \dots, U_{nf}^{e(t)}]^T \quad (3.13)$$

$$\{X^{e(t)}\} = [X_1^{e(t)}, X_2^{e(t)}, \dots, X_{nf}^{e(t)}]^T \quad (3.14)$$

nf 为该榀抗侧力结构的最高层数。

由式 (3.11), 用各层楼面的坐标原点 C_i , 按总坐标系纵向的及横向的水平位移向量 $\{U\}$, $\{V\}$ 与各层楼面的水平扭转角向量 $\{H\}$ 表达, 则得到:

$$\{U^{e(t)}\} = \{U\} \cos \alpha^{(t)} + \{V\} \sin \alpha^{(t)} + [\gamma^{(t)}] \{H\} \quad (3.15)$$

式中

$$[\gamma^{(t)}] = \text{Diag}[\gamma_1^{(t)}, \gamma_2^{(t)}, \dots, \gamma_{nf}^{(t)}] \quad (3.16)$$

$\{X^{e(t)}\}$ 可以分解成沿总坐标系坐标轴方向的水平力向量 $\{X^{(t)}\}$ 及 $\{Y^{(t)}\}$, 并可算出它对各层楼面的总体坐标系的原点 C_i 的扭转力矩向量 $\{M_T^{(t)}\}$:

$$\left. \begin{aligned} \{X^{(t)}\} &= \{X^{e(t)}\} \cos \alpha^{(t)} \\ \{Y^{(t)}\} &= \{X^{e(t)}\} \sin \alpha^{(t)} \\ \{M_T^{(t)}\} &= [\gamma^{(t)}] \{X^{e(t)}\} \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

以公式 (3.15), (3.12) 代入, 得:

$$\{X^{(t)}\} = [K^{(t)}] \cos^2 \alpha^{(t)} \{U\} + [K^{(t)}] \sin \alpha^{(t)} \cos \alpha^{(t)} \{V\} + [K^{(t)}] [\gamma^{(t)}] \sin \alpha^{(t)} \{H\} \quad (3.18)$$

$$\{Y^{(t)}\} = [K^{(t)}] \sin \alpha^{(t)} \cos \alpha^{(t)} \{U\} + [K^{(t)}] \sin^2 \alpha^{(t)} \{V\} + [K^{(t)}] [\gamma^{(t)}] \sin \alpha^{(t)} \{H\} \quad (3.19)$$

$$\{M_T^{(t)}\} = [\gamma^{(t)}] [K^{(t)}] \cos \alpha^{(t)} \{U\} + [\gamma^{(t)}] [K^{(t)}] \sin \alpha^{(t)} \{V\} + [\gamma^{(t)}] [K^{(t)}] [\gamma^{(t)}] \{H\} \quad (3.20)$$

公式 (3.18), (3.19), (3.20) 可合写成

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ V \\ H \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ M_T \end{Bmatrix} \quad (3.21)$$

当装配总刚度 $[S]$ 时, 斜向 ($\alpha^{(t)} = 0^\circ$ 或 90° 时, 分别相应于纵向和横向) 各榀抗侧

力结构对[S]的贡献为：

$$\left. \begin{aligned}
 (S11)_{ij} &= \sum_{t=1}^N K_{ij}^{(t)} \cos^2 \alpha^{(t)} \\
 (S22)_{ij} &= \sum_{t=1}^N K_{ij}^{(t)} \sin^2 \alpha^{(t)} \\
 (S33)_{ij} &= \sum_{t=1}^N K_{ij}^{(t)} \gamma_i^{(t)} \gamma_j^{(t)} \\
 (S12)_{ij} &= (S21)_{ij} = \sum_{t=1}^N K_{ij}^{(t)} \sin \alpha^{(t)} \cos \alpha^{(t)} \\
 (S13)_{ij} &= (S31)_{ij} = \sum_{t=1}^N K_{ij}^{(t)} \gamma_j^{(t)} \cos \alpha^{(t)} \\
 (S23)_{ij} &= (S32)_{ij} = \sum_{t=1}^N K_{ij}^{(t)} \gamma_j^{(t)} \sin \alpha^{(t)}
 \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

(四)、结构的抗震计算

在程序中,共有四种不同的抗震计算,即:按两个主轴方向用简化公式计算;按两个主轴方向用振型组合法(SRSS)计算;按指定的任意方向用振型组合法(CQC)计算和按指定的任意方向用时程分析法计算。四种情况都从结构的总约化刚度矩阵[S]的逆,即总柔度矩阵出发。结构的总柔度矩阵:

$$[D] = [S]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{S11}{S21} & \frac{S12}{S22} & \frac{S13}{S23} \\ \frac{S21}{S31} & \frac{S22}{S32} & \frac{S23}{S33} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{D11}{D21} & \frac{D12}{D22} & \frac{D13}{D23} \\ \frac{D21}{D31} & \frac{D22}{D32} & \frac{D23}{D33} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

总柔度矩阵的阶数为 $3n$,其中 n 为结构的总层数或质点数。

1. 按底部剪力法

按底部剪力法计算是在结构的两个主轴方向分别进行的,因此,总坐标系的X、Y轴应该相应于(或大体相应于)结构的两个主轴方向。计算时,分别取总坐标系矩阵中的子块D11和D22作为主轴方向的柔度矩阵。它们是 n 阶的。

设柔度矩阵的元素为 δ_{ij} , ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, n$), 则基本自振周期可按下式计算:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{B_2} \quad (3.24)$$

式中

$$\begin{aligned}
 B_2 = & M_1^2 \delta_{11}^2 + M_2^2 \delta_{22}^2 + \dots + M_n^2 \delta_{nn}^2 + 2[M_1 M_2 \delta_{12}^2 + M_2 M_3 \delta_{23}^2 + \dots + \\
 & M_{n-1} M_n \delta_{n-1, n}^2] + M_1 (M_2 + \dots + M_{n-1} + M_n) \delta_{1n}^2 + M_2 (M_3 + \dots + M_{n-1} + M_n) \delta_{2n}^2 + \dots + \\
 & M_{n-1} (M_n) \delta_{n-1, n}^2 \quad (3.25)
 \end{aligned}$$

$M_1, \dots, M_n$ 为各楼层处的质量。

水平地震作用按抗震规范第 4.2.1 条底部剪力法。

2. 按振型组合法(SRSS)计算

与底部剪力法相同,同样取D11和D22作为结构两个主轴方向的柔度矩阵。

特征值和特征向量的求法用雅可比法。

值得注意的是目前有的高层建筑设计程序中取 $[S11]^{-1}$ 和 $[S22]^{-1}$ 作为结构两个主轴方向的柔度矩阵来计算周期和振型的,这等于在建筑的两个方向都加上了防止扭转的支承。这样使整个结构的刚度加大,周期减短,地震作用也相应加大。对于基本上没有扭转的结构, $[S11]^{-1}$ 、 $[S22]^{-1}$ 和 $[D11]$ 、 $[D22]$ 的区别不大,否则将会有较大的出入。当然,如果结构有较大的扭转,按两个方向分别计算而不考虑扭转耦合作用本来是不恰当的。但在计算周期和振型时取消了扭转的可能,而在计算位移和内力时又考虑了扭转,不能不认为是一个矛盾。本程序则分别取考虑扭转后在两个主轴方向的分量作为各自的柔度矩阵,比较更为合理。

3. 按振型组合法(CQC)计算

按CQC组合时,要按 $3n$ 个自由度计算结构的自振周期和振型。程序直接取结构的总柔度矩阵 $[D]$ 计算。质量矩阵则取 $3n$ 阶的对角阵如下:

$$[M] = \begin{bmatrix} M_1 & & \\ & M_n & \\ & & M_1 \\ & & & M_n \\ & & & & M_1 \\ & & & & & M_n \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

式中的 M_i 为第 i 层的平移质量; M_{Ii} 为第 i 层对于穿过楼层质量中心的竖轴的楼层转动质量惯性矩。

特征值和特征向量的求法用雅可比法。

水平地震作用的计算和效应按抗震规范第4.2.5条。

4. 按时程分析法计算

按时程分析法计算时,结构的自由度仍取 $3n$ 个。

动力方程的求解采用拟静力法。动力方程采用半增量形式表达时为:

$$[M]\{\ddot{X}\}_{i+1} + [C]\{\dot{\Delta X}\}_{i+1} + [K]\{\Delta X\}_{i+1} + \{Q\}_i = -[M]\{\ddot{U}_0\}_{i+1} \quad (3.31)$$

式中 $\{Q\}_i = \{Q\}_{i-1} + [K]\{\Delta X\}_{i-1} + [C]\{\dot{\Delta X}\}_{i-1}$

$$\{Q\}_0 = \{0\} \quad (3.32)$$

用中点加速度法求解式(3.31)时的计算公式为:

$$\begin{aligned} [K^*] &= [K] + \frac{4}{\Delta t^2}[M] + \frac{2}{\Delta t}[C] \\ \{\Delta P^*\}_{i+1} &= -[M]\{\ddot{U}_0\}_{i+1} + \left(\frac{4}{\Delta t}[M] + 2[C]\right)\{\dot{X}\}_i + [M]\{\ddot{X}\}_i - \{Q\}_i \\ \{\ddot{X}\}_{i+1} &= \frac{4}{\Delta t^2}\{\Delta X\}_{i+1} - \frac{4}{\Delta t}\{\dot{X}\}_i - \{\ddot{X}\}_i \\ \{\dot{X}\}_{i+1} &= \frac{2}{\Delta t}\{\Delta X\}_{i+1} - \{\dot{X}\}_i \\ \{X\}_{i+1} &= \{X\}_i + \{\Delta X\}_{i+1} \end{aligned} \quad (3.33)$$

$$\text{阻尼矩阵} \quad [C] = \alpha [M] + \beta [K] \quad (3.34)$$

阻尼参数 α 、 β 按下式

$$\alpha = \frac{2\omega_i\omega_j(\xi_j\omega_i - \xi_i\omega_j)}{(\omega_i^2 - \omega_j^2)} \quad (3.35)$$

$$\beta = \frac{2(\xi_i\omega_i - \xi_j\omega_j)}{(\omega_i^2 - \omega_j^2)}$$

程序中取 $i=1, j=9, \xi_i = \xi_j = \xi$ 。

$$\{\ddot{U}_0\} = [\ddot{U}_0(t), \ddot{U}_0(t), \dots, \ddot{U}_0(t)]^T \quad (3.36)$$

$\ddot{U}_0(t)$ 是输入的水平地震加速度记录。

在计算结构的9个最小自振频率 $\omega_1 \sim \omega_9$ 时, 由于不需要计算振型值, 因此, 程序采用了二分法计算最小的9个特征值。

由于采用了 $3n$ 个自由度的计算模型, 因此, 只要对程序稍加修改, 就可以同时输入二维水平地震波的作用。

四、程序的使用说明

(一)、数据文件的准备

用户在启动程序前, 应先建立原始数据的数据文件。数据文件名由用户自取。程序将通过屏幕要求用户键入数据文件名。

全部数据按自由格式输入, 不分整型数和实型数, 也不要求行列格式。用户可按照自己的习惯和检查、阅读的方便自由安排。每两个数据之间用逗号“, ”分隔, 两行之间用回车符“ $\backslash$ ”分隔。

建立数据文件前, 用户首先要对结构平面设定参考坐标系。参考坐标系的原点可设为用户认为方便的任意一点。程序在建立结构刚度矩阵时将自动把坐标系原点转移到每层的质心处。对于按底部剪力法计算和按振型组合法(SRSS)计算, 由于动力计算是分别按参考坐标系X、Y两个坐标轴方向进行的, 因此, 在建立参考坐标系时, 应使X、Y轴分别相应于建筑物的两个主轴方向。其它情况则无此要求。

(二)、数据文件的内容

1. 总信息

NS, NSS, NDW, NTW, NDWF, NDCF, NTF, NFR, NDIR

其中: NS-----总层数;

NSS-----计算质点数;

NSS $\leq$ NS, 当按时程分析法计算时, 只允许 NSS=NS。

NDW-----不同类型的剪力墙种类数;

NTW-----全部剪力墙的总片数;

NDWF-----不同类型的壁式框架种类数;

在计算框—剪结构中剪力墙部分承受的结构底部地震弯

矩占结构底部总地震弯矩的百分比时, 壁式框架所承受的结构底部地震弯矩将计入剪力墙承受的弯矩内。

NDCF-----不同类型的普通框架种类数;

NTF-----全部框架(包括壁式框架和普通框架)的总榀数;

NFR-----要求计算的振型数;

当计算风荷载时, NFR=0;

当用底部剪力法计算地震作用时, NFR=3~8, 一般取 NFR=3~5;

当用振型分解反应谱法计算地震作用并考虑扭转地震效应时,

NFR=9~3*NSS, 一般取 NFR=9~15;

当用时程分析法计算时, NFR=0。

NDIR-----要求计算的方向数。

当计算风荷载作用、用底部剪力法计算地震作用、用振型分解反应谱法计算地震作用时, NDIR $\leq$ 2;

当用振型分解反应谱法计算地震作用并考虑扭转地震效应时,

NDIR $\geq$ 1;

当用时程分析法计算时, NDIR=0, 方向由运行中屏幕显示人机对话方式输入。

2. 楼层层高

按相同的楼层高度从下到上分组输入, 形式为:

I1, I2, H

.....

其中H为层高(m), I1为楼层高度为H的起始层层号, I2为楼层高度为H的终止层层号。当此种层高只有一层时, I1=I2。

I1必须从1开始, 最后一个I2必须等于NS。

以下数据输入格式均同此含义,不再一一说明。

3. 竖向构件(墙、柱)混凝土强度等级

I1, I2, CV

.....

CV为混凝土强度等级, C20填20, C30填30。

4. 水平构件(梁)混凝土强度等级

I1, I2, CH

.....

5. 剪力墙数据(NDW=0时不输入)

(1). 按不同剪力墙类型依次输入各类剪力墙的截面尺寸,共NDW组。

I1, I2, b, h, b1, h1, b2, h2

.....

对于矩形截面,取

$b1=b2=b$, $h1, h2=0$;

$b=0$ 表示该层及以上无墙,以后的5个截面数据不再输入,此时I2应等于NS。

各截面尺寸单位取 mm。

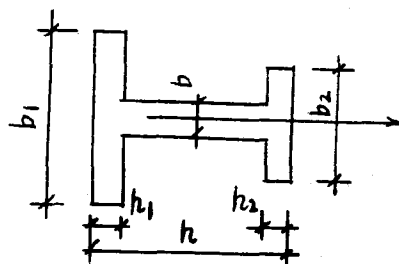


图 4.1

(2). 各片墙的截面类型号及本身主轴上任意两点的坐标值,共NTW组:

ID, X1, Y1, X2, Y2

.....

各坐标值的单位取 m。

6. 框架数据(NDWF和NDCF均为零时不输入)

(1). 各类框架(先壁式框架,后普通框架)的柱列数,共NDWF+NDCF个数

NC1, NC2,, NC(NDWF+NDCF)

(2). 按不同的框架类型(先壁式框架,后普通框架)输入各类框架的跨度、柱截面、梁截面,共NDWF+NDCF组。

L1, L2,, L_{NC-1}

I1, I2, J1, J2, K, b, h, (, b1, h1, b2, h2)

.....

.....

I1, I2, J1, J2, b, h

.....

.....

.....

对柱截面：

I1, I2 表示层号, J1, J2 表示柱列号；

K=1 表示柱截面为矩形,只输入 b,h；

K=2 表示柱截面为T形或工字形,输入 b,h,b1,h1,b2,h2；

J1=0 表示从I1层起为虚层,以下的的数据不再输入；

K=0 表示J1~J2列柱为虚柱,以下的的数据不再输入；

K=负值 表示J1~J2列柱与-K列相同,以下的的数据不再输入。

对梁截面：

I1, I2 表示层号, J1, J2 表示跨号；

梁截面只有矩形一种；

J1=0 表示从I1层起为虚层,以下的的数据不再输入；

b=0 表示J1~J2跨为虚梁,h不输入；

跨度单位取m, 截面尺寸单位取mm。

(3). 各框架的截面类型号及框架本身轴线上任意两点的坐标值,共NTF组

ID, X1, Y1, X2, Y2

.....

各坐标值的单位取m。

7. 地震参数(时程分析时不输入)

DE(, IS, AO)

其中：DE-----抗震设防烈度及近震远震信息。形式为 X.△；

对计算风荷载作用,DE=0,以下IS,AO不输入；对计算地震作用,X表示
设防烈度,填6、7、8或9,△=1表示近震,△=2表示远震。

IS-----场地类别 1、2、3 或 4；

AO-----自振周期折减系数 AO≤1。

8. 凝缩质点所在的层号(NSS=NS时不输入),共NSS个数

I1, I2,, I_{NSS}

9. 要求计算的方向,共NDIR个数(NDIR=0时不输入)

D1, D2,, D_{NDIR}

分别为从X轴算起逆时针向计算的度数。

对 NDIR=1,只能为 0;

对 NDIR=2,只能为 0,90;

对 NDIR>3,可以为从0~180间的任意数。

10. 风荷载及其作用线的坐标值,或计算地震作用时结构的重力荷载代表值即层重量、层重量惯性矩及质心的坐标值

I1, I2 FX(G)[, FY(J)], X, Y

.....

其中:

FX,FY-----沿X、Y轴方向作用的风荷载(KN);

G-----层重量(KN);

J-----层重量惯性矩($\text{KN}\cdot\text{m}^2$);

X,Y-----风荷载作用线或质心的坐标值(m)。

11. 数据文件结束标记:一个大数 1E30。

当作时程分析计算且为用户自己输入地震波时,另行准备地震波数据文件。

IHTYP-----地震波类型,当输入的各地面加速度数据为定时间间隔时为1, 变时间间隔时为0;

HDT-----当 IHTYD=1,即当为定时间间隔时输入地震波数据的时间间(秒);
当 IHTYD=0时不输入。

以下分两种不同的情况输入地面加速度值:

如为定时间间隔时,输入从时间为0秒起,每隔HDT秒的各地面加速度值(gal)。

如为变时间间隔时,输入从时间为0秒起,各时间点的时间(秒)和地面加速度值(gal)。

输入的地面加速度数据的总时间长度应大于要求计算的时程分析总响应时间(在屏幕输入,见下节)。

地震波数据文件结束标记: 一个大数 1E30。

(三)、程序的启动和运行

程序的运行将有频繁的内、外存交换。为了加快运算速度,建议将数据文件和打印输出文件放在软盘上,而用硬盘运算。或将数据文件建在硬盘上,全部用硬盘运行。

以下为硬盘运行,而输入、输出文件在软盘上时的运行步骤(假定目标程序已在硬盘):

C>FW06

此时屏幕将显示要求输入数据文件名: