

# 单层突出物收进结构的地震反应

谢 阔 生      麦 淑 良

(土木工程系)

## 摘 要

本文分析了单层收进结构的动力参数,提出了插入频的概念。从频域的角度上讨论了这些参数和收进结构反应的关系,从随机过程的角度,导出了一种计算收进结构反应而形式上和 SRSS 相似的改进 SRSS 法。同时,文中还讨论了上下部结构的相互作用。

## 前 言

在实际工程中,有不少结构在顶层带有突出物。我们称这类结构为收进结构。

大量的震害表明,收进结构在地震中往往导致严重的破坏。这一现象早就引起了地震工作者的注意,并作了一定的研究。

R. I. Skinner, D. W. Skilton 和 D. A. Law 早在 1965 年在文〔1〕中对单层突出物的收进结构进行了弹性分析,认为这一类结构由于刚度的突变将产生很大的地震反应。

J. L. Humar 和 E. W. Wright 在文〔4〕中用杆系模型对多层突出物的钢结构进行了弹塑性定性分析。

J. Penzien 和 A. Chopra<sup>[2]</sup> 对这类结构进行了弹性分析,发现当突出物的自振频率接近于下部结构的自振频率时,突出物将产生很大的反应。同时,指出 SRSS 法(开平方法)计算的结果和地震反应有较大的误差。他们假定在突出物质量很小的情况下,可以略去它对下部结构的影响。在这个前提下,提出了用二维反应谱来近似地确定突出物相应地震荷载的近似方法。但是 J. Penzien 等指出,建立二维反应谱是一件相当麻烦的事。在文〔3〕中 J. Penzien 又把这个方法推广到突出物为多个自由度的情况。

我国现行抗震规范在确定这类结构相应地震荷载时规定:“验算突出建筑物顶面的屋顶间,女儿墙烟囱等的抗震强度时,其水平地震荷载可以取公式(4)计算结果的3倍。”《工业民用建筑抗震设计手册》推荐计算这类结构突出物的地震荷载公式为:

$$P_{n+1} = Z \frac{W_{n+1} H_{n+1}}{\sum_{k=1}^{n+1} W_k H_k} Q$$

本文 1985 年 7 月 4 日收到。

$$Z = 3.5(1 - A'/A)$$

$$Z \leq 3$$

式中,  $A'$ ——局部突出部份平面轮廓面积

$A$ ——主体结构平面轮廓面积

本文系统地比较了这类结构动力参数和均匀结构动力参数的异同点。提出了一种用于对这类结构分析的改进 SRSS 法。本文和以往对这类结构分析的不同点, 是它还讨论了突出物对下部结构的反馈作用。

该文仅讨论剪切型收进结构, 突出物对称地位于下部结构中间, 不考虑扭转效应。

为了使分析结果更具有广泛的实用性, 本文不同于以往对这类结构的分析——仅取对结构输入某一指定的地震记录的计算结果。而是以我国抗震设计现行规范 8 度, II 类场地上的标准反应谱为目标谱, 用 ASWE 程序发生 10 条持时为 15 秒的人工地震波, 每条波与目标谱经过两次迭代, 对结构输入, 取计算结果的平均值。

### 频率和振型系数的分析

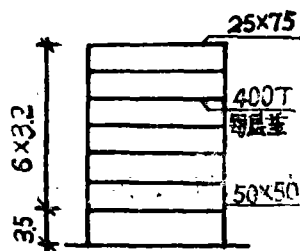
由动力学的基本理论可知,  $j$  振型  $i$  质点的最大地震荷载为:

$$(p_{i,j})_{\max} = m_i \phi_{i,j} \eta_j S_j = m_i r_{i,j} S_j \quad (1)$$

式中  $m_i$  为第  $i$  层质量;  $\eta_j = \sum_{i=1}^n m_i \phi_{i,j} / \sum_{i=1}^n m_i \phi_{i,j}^2$  称为振型参与系数;  $r_{i,j} = \eta_j \phi_{i,j}$  称为振型系数;  $S_j$  为加速度反应谱。

由式 (1) 可见, 在  $m_i$  和  $S_j$  固定的情况下,  $r_{i,j}$  和  $(p_{i,j})_{\max}$  成正比。

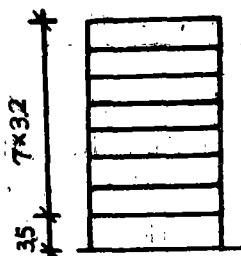
计算模型如图 1 所示。图 1a 为七层均匀结构。图 1b 为八层均匀结构。在七层均匀结构上做一单层的突出物即为图 1c 所示的八层收进结构。每种结构的频率和振型系数符号分别如相应的图所示。



(a) 七层均匀结构

$\omega_i'$ ——七层均结构的频率

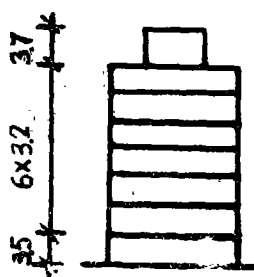
$r_{i,j}'$ ——七层均匀结构的振型系数



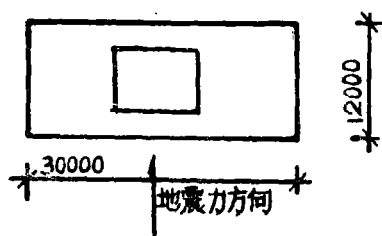
(b) 八层均匀结构

$\omega_i''$ ——八层均匀结构的频率

$r_{i,j}''$ ——八层均匀结构的振型系数



(c) 八层收进结构

 $\omega_e$ —突出物的频率 $\omega_1$ —进结构根的频率 $r_i, f_j$ —收进结构的振型系数

(d) 收进结构平面

图 1 结构计算模型图

在顶层将突出物按重量分为三种情况,  $W = 10T$ ,  $40T$  和  $200T$ 。在固定质量下、考虑突出物的刚度发生变化, 使得其频率  $\omega_e$  也相应地发生变化。

调整突出物的刚度, 使突出物的频率  $\omega_e = 11$ 。同时算出下部均匀结构的频率  $\omega_1', \omega_2'$  分别为 6.7616 和 19.99。这时收进结构的频率如表 1。

表 1 插入频率分析

突 出 物		$\frac{\omega_e}{11}$		
七层均匀结构		$\frac{\omega_1'}{6.716}$		$\frac{\omega_2'}{19.99}$
八层收进结构		$\omega_1$	插入频率 $\omega_2$	$\omega_3$
$\omega_e = 1$ 在 $\omega_1'$ ~ $\omega_2'$ 之间	200T	6.1539	11.6345	20.58
	40T	6.6258	11.2105	20.0961
	10T	6.7203	11.053	20.027

表 2  $\omega_e$  和  $\omega_2$  的比值

W	$\frac{\omega_2}{\omega_e}$
200T	1.058
40T	1.018
10T	1.005

当  $\omega_e'$  落入  $\omega_1' \sim \omega_2'$  之间时, 收进结构中的  $\omega_2$  与  $\omega_e$  相差很少。而  $\omega_1'$  (即以后的  $\omega_1$ ),  $\omega_2$  (即以后的  $\omega_3$ ) 也变化很小。这时  $\omega_2$  和  $\omega_e$  的比值如表 2。

比值与 1 很接近。我们称与  $\omega_e$  相对应的频率  $\omega_2$  为插入频率。插入频率  $\omega_2$  好象是由突出物的频率  $\omega_e$  对下部结构的频率插入而得到的。

当  $\omega_e$  取其它值时, 插入频率  $\omega_2$  和  $\omega_e$  的比值变化如何呢? 本文把计算结果画在图 2 上。 $\omega_1/\omega_e$  的比值均在 1 的附近摆动。这表明当  $\omega_e$  取其它不同值时, 突出物的频率对下部结构频率的插入性质依然存在。这种性质随着  $\omega_e$  接近  $\omega_1$  程度的增加减弱 ( $\omega_1/\omega_e$  偏离 1 的程度相对大点)。

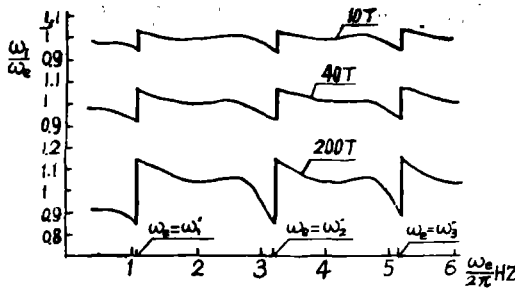


图 2 插入频率变化比值

在插入频率的区域里，结构的频率间隔和均匀结构相比变小了。特别当上下结构的频率重合时，结构出现了一对频率密集区。如表 3。

表 3  $\omega_e = \omega_1'$  的频率

$\omega_e = \omega_1'$	$\omega_1$	$\omega_2$
200T	5.6091	8.027
40T	6.2228	7.3174
10T	6.4885	7.0388
八层均匀结构	5.769	17.7

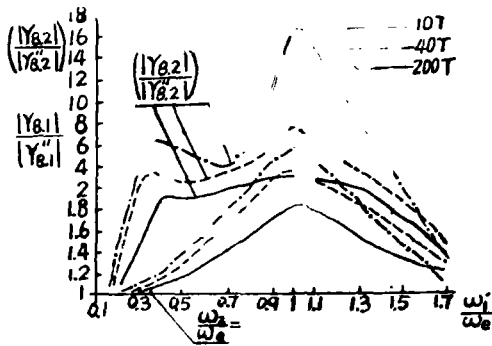


图 3 第一第二振型系数放大值

收进结构的振型系数和均匀结构的振型系数相比，有显著的放大。计算结果如图 3。纵坐标为突出物的振型系数  $r_{g,j}$ ，比上相应层的均匀结构的振型系数  $r''_{g,j}$ 。

其比值均大于 1。当上下结构频率接近时，放大来的更显著。并且这种放大还随着突出物质量的减小而增加。

动力反应的频域分析

在结构动力学中，弹性体系在地震作用下的位移反应可以表示为：

$$Y_i(t) = \sum_{j=1}^N r_{i,j} x_j(t) \tag{2}$$

$$x_j = \left( \frac{1}{\omega_j} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{1-\xi_j^2}} e^{-\xi_j \omega_j (t-\tau)} \sin(\omega_j \sqrt{1-\xi_j^2} (t-\tau)) \ddot{y}_g(\tau) d\tau \right)$$

$y_i(t)$  为第  $i$  层的位移值。

对结构输入平稳白噪声过程, 可得到结构输出的功率谱密度函数和结构输入功率谱密度函数的关系为:

$$S_{y_i}(\omega) = \sum_k \sum_j r_{i,k} \cdot r_{i,j} H_k(-i\omega) \cdot H_k(i\omega) \cdot S_{o\delta g} \quad (3)$$

$S_{o\delta g}$  是地震输入功率谱密度函数

$S_{y_i}(\omega)$  是结构位移反应的功率谱密度函数

$H(i\omega)$  是单位脉冲反应函数  $h(t)$  的富里叶变换

$$\sigma_{y_i}^2 = 2R_e \int_0^\infty \left( \sum_j r_{i,j}^2 |H_j(i\omega)|^2 S_{o\delta g} + 2 \sum_{j=1}^N \sum_k r_{i,k} \cdot r_{i,j} H_k(-i\omega) H_j(i\omega) \cdot S_{o\delta g} \right) d\omega \quad (4)$$

其中,

$$\begin{aligned} & 2R_e \int_0^\infty H_k(-i\omega) H_j(i\omega) S_{o\delta g} d\omega \\ &= \frac{8\zeta_k(\zeta_k + \zeta_j c)}{(1-c^2)^2 + 4\zeta_k\zeta_j c(1+c^2) + 4(\zeta_k^2 + \zeta_j^2)c^2} \cdot \frac{\pi S_{o\delta g}}{2\zeta_k \omega_k^3} \\ &= b_{i,k} \frac{\pi S_{o\delta g}}{2\zeta_k \omega_k^3} \\ & c = \frac{\omega_{k+1}}{\omega_k} \end{aligned}$$

$b_{j,k}$  是阻尼系数和频率比的函数, 由文献〔5〕在小阻尼的情况下,  $b_{j,k}$  随着频率差的增大而迅速下降。对一般均匀结构第一频率和第二频率大体上有  $\omega_2/\omega_1 = 2 \sim 4$ , 甚至更大。这里设定阻尼系数为  $\zeta_j = 0.05 (j=1, 2, \dots, N)$ ,  $\omega_k/\omega_j = 0.3$ , 则  $b_{i,j} \approx 10^{-2}$ 。由此可见, 对一般均匀结构而言, 互谱密度即可略去不计。当  $\omega_k/\omega_j = 1$  时,  $b_{j,k} = 1$ 。

由前文对收进结构的动力参数分析可知, 突出物的频率对下部结构的插入性质导致收进结构的频率间隔在插入区较均匀结构为小。特别当  $\omega_e = \omega_j'$  时, 收进结构的频率间隔变得很密集, 而且这种密集区只可能发生在一对频率间。于是 (4) 可以简化为,

$$\sigma_{y_i}^2 = R_e 2 \left[ \int_0^\infty \left( \sum_{j=1}^N r_{i,j}^2 |H_j(i\omega)|^2 S_{o\delta g} \right) + 2r_{i,k+1} r_{i,k} H_{k+1}(-i\omega) H_k(i\omega) S_{o\delta g} \right] d\omega \quad (5)$$

(当  $\omega_{k+1}$  接近  $\omega_k$  时)

$$\begin{aligned} & R_e 4 \int_0^\infty r_{i,k} r_{i,k+1} S_{o\delta g} H_k(-i\omega) H_{k+1}(i\omega) d\omega \\ &= \left( \frac{16 \cdot \zeta_k(\zeta_k + \zeta_{k+1}) r_{i,k+1}/r_{i,k}}{(1-c^2)^2 + 4\zeta_k\zeta_{k+1}c(1+c^2) + 4(\zeta_k^2 + \zeta_{k+1}^2)c^2} \right) \cdot \frac{\pi r_{i,k}^2 S_{o\delta g}}{2\zeta_k \omega_k^3} \\ &= L_{k,k+1} \frac{\pi r_{i,k}^2 S_{o\delta g}}{2\zeta_k \omega_k^3} \end{aligned}$$

设  $\zeta_j = \zeta (j=1, 2, \dots, N)$

$$L_{k,k+1} = \frac{16\zeta^2 r_{i,k+1}/r_{i,k}}{(1+c) \left( \sqrt{(1-\sqrt{c^2})^2 + 4\zeta^2 \sqrt{c^2}} \right)^2}$$

$$\text{令 } \mu_r = \frac{1}{\sqrt{(1 - \sqrt{c^2})^2 + 4\xi^2 \sqrt{c^2}}}$$

$$L_{k,k+1} = \frac{16\xi^2 u^2 r_{i,k+1}}{(1+c)r_{i,k}}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{y,i}^2 &= \sum_{j=1}^N \frac{\pi r_{i,j}^2 S_{o\ddot{\theta}\theta}}{2\xi\omega_i^3} + L_{k,k+1} \frac{\pi r_{i,k}^2 S_{o\ddot{\theta}\theta}}{2\xi\omega_k^3} \\ &= \sum_{j=1}^N \sigma_{y,i,j}^2 + L_{k,k+1} \sigma_{y,i,k}^2 \\ &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^N \sigma_{y,i,j}^2 + (1 + L_{k,k+1}) \sigma_{y,i,k}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

(当  $\omega_{k+1}$  接近于  $\omega_k$  时)

对一般均匀结构有,

$$\sigma_{y,i}^2 = \sum_{j=1}^N \sigma_{y,i,j}^2 \quad (7)$$

结构的层间位移为,

$$\begin{aligned} \Delta_i &= y_i - y_{i-1} = \sum_j (y_{i,j} x_j - y_{i-1,j} x_j) \\ &= \sum_j x_j (r_{i,j} - r_{i-1,j}) = \sum_j x_j r'_{i,j} \end{aligned}$$

令

$$r'_{i,j} = r_{i,j} - r_{i-1,j}$$

结构的第  $i$  层层间剪力为,

$$Q_i = k_i \Delta_i = k_i \sum_j x_j r'_{i,j}$$

层间剪力方差为,

$$\begin{aligned} \sigma_{Q,i}^2 &= R_e 2 \int_0^\infty \left[ \sum_{j=1}^N k_i^2 r_{i,j}'^2 |H_j(i\omega)|^2 S_{o\ddot{\theta}\theta} \right. \\ &\quad \left. + 2 r_{i,k}' r_{i,k+1}' k_i^2 \cdot H_k(-i\omega) H_{k+1}(i\omega) S_{o\ddot{\theta}\theta} \right] d\omega \\ \sigma_{Q,i}^2 &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^N \sigma_{Q,i,j}^2 + (1 + L'_{k,k+1}) \sigma_{Q,i,k}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

(当  $\omega_{k+1}$  接近  $\omega_k$  时)

$$L'_{k,k+1} = \frac{16\xi^2 u^2 r'_{i,k+1}}{(1+c)r'_{i,k}}$$

对一般均匀结构有,

$$\sigma_{Q,i}^2 = \sum_{j=1}^N \sigma_{Q,i,j}^2 \quad (9)$$

剪力系数均匀方差为,

$$\sigma_{j,i} = \frac{\sigma_{0,i}}{\sum W_i}$$

我们取  $\zeta = 0.05$ , 计算当略去相关系数项  $L'_{k,k+1}$  和不略去相关系数项  $L'_{k,k+1}$  这两种情况的剪力系数均方差. 计算结果如图 4. 纵坐标为收进结构均方差和均匀结构均方差的比值.

当略去  $L'_{k,k+1}$  时, 剪力系数的最大相对误差如表 4

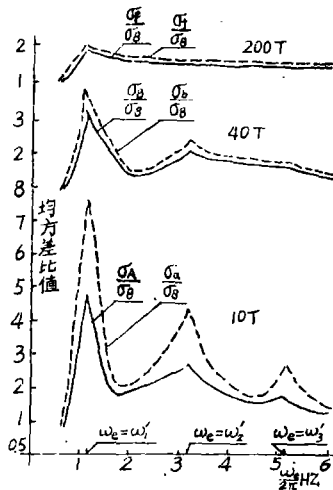


表 4 略去  $L'_{k,k+1}$  的最大相对误差

$\frac{ \sigma_a - \sigma_A }{\sigma_A}$	$\frac{ \sigma_b - \sigma_B }{\sigma_B}$	$\frac{ \sigma_f - \sigma_F }{\sigma_F}$
58%	18%	3.6%

可见略去  $L'_{k,k+1}$  项, 会给均方差分析带来一定的误差, 特别当突出物的质量相对较小时, 这种误差将是很显著的.

图 4 均方差比值

$\sigma_f, \sigma_b, \sigma_a$  为略去  $L'_{k,k+1}$  的层间剪力系数均方差  
 $\sigma_F, \sigma_B, \sigma_A$  为不略去  $L'_{k,k+1}$  的层间剪力系数均方差

## 改进 SRSS 法的推导

鉴于大多数国家都把平均加速度反应谱列入规范这一实际情况, 本文拟利用平均加速度谱导出便于工程人员运用的改进 SRSS 法.

众所周知, 地震地面加速度在整个持续时间内, 开始的一落时间逐渐增大, 中间的一段时间加速度振幅相对比较平稳, 最后则加速度振幅逐渐衰减. 因此实际地震加速度  $\delta_0(t)$  可以看成是一个非平稳过程, 但大部份地震在振动较强烈的中段相对平稳, 而弹性结构反应的峰值也绝大多数发生在上述时间内. 因此, 它对弹性结构的作用可视为平稳过程.

通常地震的持续时间较结构周期长得多, 而且  $\delta_0(t)$  的功率谱的密度函数是一个慢变的宽带功率谱密度函数<sup>[6]</sup>. 所以, 以上得到的式 (46), (48) 进一步近似成立.

均方差  $\sigma_{0,i}$  和平均反应谱  $R_{0,i}$  的关系可以由峰值因子  $P_i$  来联系,

$$R_{0,i} = P_i \sigma_{0,i}$$

$$R_{0,i,j} = P_{i,j} \sigma_{0,i,j}$$

如果以平均值为零的平稳高斯过程  $\delta_0(t)$  来表示地面加速度, 仅考虑单自由度弹性反应过程  $x(t)$  的平稳阶段, 并视它超过一定界限  $R$  的次数为泊松过程, 可以得到其极值的概率分

布函数为<sup>[6]</sup>,

$$F_R = \text{EXP}[-2\nu_0 t \text{EXP}(-r^2/2)]$$

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi} (\sigma_{\ddot{x}}/\sigma_x)^{\frac{1}{2}} \quad r = \frac{R}{\sigma_x}$$

Vavenport 得出峰值因子为,

$$P \doteq (2L_n(\nu_0))^{\frac{1}{2}} + 0.5772 / (2L_n(\nu_0 t))^{-\frac{1}{2}}$$

近似假定  $P_i \approx P_{i,j}$ , 于是,

$$\begin{aligned} R_{Q,i} &= P_i \sigma_{Q,i} \doteq \left( \sum_{j=1, j \neq k}^N R_{Q,i,j}^2 \frac{P_{i,j}^2}{P_{i,j}^2} + (1 + L'_{k,k+1}) R_{Q,i,k}^2 \frac{P_{i,k}^2}{P_{i,k}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &\doteq \left( \sum_{j=1, j \neq k}^N R_{Q,i,j}^2 + (1 + L'_{k,k+1}) R_{Q,i,k}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

(当  $\omega_{k+1}$  接近于  $\omega_k$  时)

这就是改进 SRSS 法。同理对位移均方差也有,

$$R_{y,i} \doteq \left( \sum_{j=1, j \neq k}^N R_{y,i,j}^2 + (1 + L_{k,k+1}) R_{y,i,k}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

(当  $\omega_{k+1}$  接近  $\omega_k$  时)

如果体系的阻尼很小或频率间隔较大, 则可以进一步简化为人们熟悉的 SRSS 法,

$$R_{Q,i} \doteq \left( \sum_{j=1}^N R_{Q,i,j}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

比较 SRSS 法和改进 SRSS 法可知, 当  $\omega_{k+1}$  接近于  $\omega_k$  时, 由于  $L'_{k,k+1}$  的影响成为一个不可忽略的量, 这时改进 SRSS 法的  $R_{Q,i,k}^2$  项前的系数不是 1 而是  $(1 + L'_{k,k+1})$ 。

本文自编程序 PIP, 用改进 SRSS 法对收进结构进行计算。为了比较, 同时也用规范提供的方法进行计算。

方法 1 为改进 SRSS 法。

方法 2 为 SRSS 法。

方法 3 为步步积分法。

方法 4 为《工业民用建筑抗震设计手册》推荐的方法。

$$P_{n+1} = z \left( W_{n+1} H_{n+1} / \sum_{k=1}^{n+1} W_k H_k \right) Q \quad (14)$$

$$z = 3.5(1 - A'/A) \quad z \leq 3$$

通常质量和它的覆盖面积成正比。本文中设  $W = 200T$ ,  $A'/A = 1/2$ ,  $W = 40T$ ,  $A'/A = 1/10$ ,  $W = 10T$ ,  $A'/A = 1/40$ 。

当  $W = 40T, 10T$  时 (14) 的计算结果和规范 19 条的规定一样  $z = 3$ 。

当  $W = 200T$  时,  $z = 1.75$ 。同时本文还考虑了  $W = 200T$  对基频的影响。

1. 由计算结果图 5—7 可见, 对突出物改进 SRSS 法和步步积分法最为接近。各种方法



和步步积分法的最大相对误差为,  $[ ( |R_i - R_0| / |R_0| ) \max \%, i = 1, 2, 4$   $R_i$  表示第  $i$  种方法]

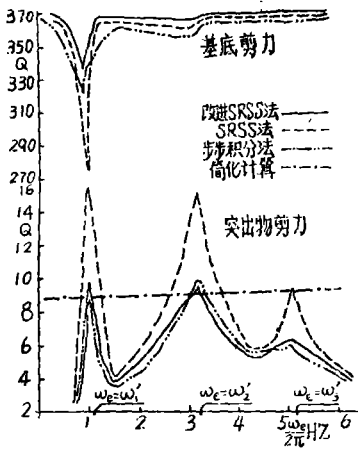


图 5

$W = 10T$ , 多种方法计算的基底及突出物剪力

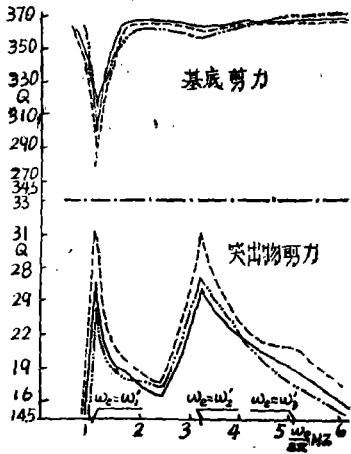


图 6

$W = 40T$ , 多种方法计算的基底及突出物剪力

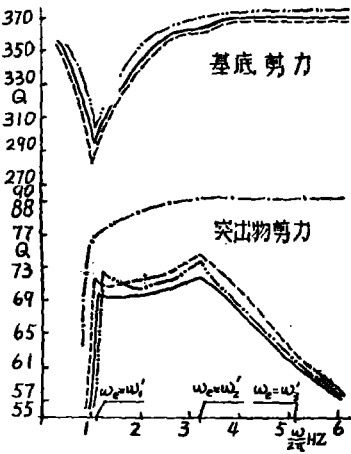


图 7  $W = 200T$ , 多种方法计算的基底及突出物剪力

表 5

三种方法和步步积分法比较的最大相对误差

方法	改进SRSS法	SRSS法	简化法
W			
10T	11%	78%	322%
40T	14%	33%	200%
200T	4.4%	8.7%	97%

当  $W = 10T$  时, SRSS 法和步步积分法相比在  $\omega_0$  接近于  $\omega_1'$  时有很大的误差。当  $W = 200T$  时, SRSS 法和步步积分法的误差显著地下降了。这反映了随着质量的增加, 系数  $L'_{k, k+1}$  对结构反应的影响也逐渐减少。

在图中还可以看到《工业与民用建筑抗震设计手册》推荐的计算公式产生了很大的误差。当  $W = 10T$  时, 在  $\omega_0 = \omega_1'$  和  $\omega_0 = \omega_2'$  的小领域内低估了地震剪力, 而在其它领域内则估高了地震剪力。当  $W = 40T, 200T$  时, 方法 4 计算的结果总是大于步步积分的结果。

2. 对基底剪力我们用改进 SRSS 法及 SRSS 法与步步积分法比较。用改进 SRSS 法对

基底剪力的计算结果总是大于用 SRSS 计算的结果。这一情况恰恰和这两种方法对突出物分析的结果相反。

这两种方法和步步积分法相比的最大相对误差如表 6。

表 6 两种方法和步步积分法相比的最大相对误差

方 法 W	改进SRSS法	SRSS法
10T	4.5%	14.3%
40T	4.7%	6.2%
200T	3.0%	4.0%

这种误差与对突出物分析的误差一样随着质量的增大而下降。

3.当  $\omega_e$  落在  $\omega_1$  的付近时，上下结构的相互影响很显著，这种影响对基底剪力而言，是减小基底剪力。

结 束 语

1.收进结构的顶层振型系数与均匀结构相比有显著的增大。突出物的频率对下部结构的频率具有插入性质。这一性质在突出物为一固定质量的情况下，随着  $\omega_e$  接近  $\omega_1'$  的程度增加而减弱，在突出物取不同质量的情况下，则随着突出物质量的降低而显著。当  $\omega_1'/\omega_e = 1$  时收进结构中出现了两个很接近的自振频率。

2.均方差分析表明。在  $\xi = 0.05$  的情况下，当结构中出现一频率密集区，如略去  $L'_{k,k+1}$  项，将对均方差的分析带来一定的误差，这种误差当突出物的质量相对较小时将是很显著地。

3.本文提出的改进 SRSS 法，不管对突出物还是对基底剪力计算的结果都与多条步步积分计算的结果的平均值符合良好。该法为较精确地估计收进结构等具有类似密集频段体系的反应提供了较为简单的途径。

本论文承陈忠汉讲师和建筑研究院陈永祁工程师的帮助，在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] R. I. skinner, D. W. skilton and D. A. Law, Unbalanced buildings and buildings with Lighttowers under earthquake forces, Pro. 3rd world Conf. Earthq. Engng., (1965)
- [2] J. penzien and A. chopra, Earthquake response of Appendage on multistory buildings, Pro 3rd world Conf. Earthq. Engng. , (1965).
- [3] J. Penzien, Earthquake response of irregularly shaped buildings, Pro, 4rd world Conf. Eorthq. Engng. , (1969).
- [4] J. L. Humar and E. W. Wright, Earthquake response of steel-framed multistorey buildings with set-back, Earthquake Engineering and structural dynamics, 5, (1977), 15—39.
- [5] A. H-S, Ang, Probability concepts in Earthquake Engineering, (1974).
- [6] R. W. Clough and J. penzien, Dynamics of structure, Mcgraw-Hill Book Co., Inc. , New York, N. Y. , (1975).

## Earthquake Response of Structure with Set-Back Tower of SDOF

Xie Minsheng    Mai Sullang

### Abstract

The paper deals with the dynamic parameters of structure with set-back tower for one degree of freedom, proposes interposition frequency concept and discusses the relationship between seismic responses and dynamic parameter in frequency domain. A formula computing the kinds of structures' seismic responses is presented by random process, which is called improving SRSS method. Furthermore, the influence of under structure to upper structure is discussed, and Vice Versa.