

文章编号:1000-582X(2006)07-0146-03

层间隔震底层框架砌体房屋动力计算方法*

黄文, 杨佑发

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400030)

摘要: 底层框剪结构多层砖房在城市建设中应用广泛, 这种房屋的特点是由2种承重和抗侧力体系构成的, 但是这类房屋的抗震性能较差. 为此, 提出把隔震橡胶垫放置在上部砌体与底层框架结构之间的隔震措施, 它依靠隔震层较大的变形和耗能能力, 大大削弱了地震对建筑结构的影响. 由于上部砖房的刚度比隔震垫与底层框架的刚度大得多, 因此可以将隔震房屋模拟成具有2个自由度的系统. 并分析了此类房屋的动力特性, 与隔震振型的参与系数相比, 非隔震振型的参与系数非常小, 隔震振型控制了系统的反应, 得到了用来求解此类房屋动力计算的实用方法. 为建立实用设计方法、推广层间隔震结构的应用提供了有效途径.

关键词: 底层框架砖房; 层间隔震; 动力计算

中图分类号: TU311.4

文献标识码: A

底层框架砖房在城市建设中应用广泛, 这种房屋造价较低且能够满足建筑多功能的使用要求, 但是这类房屋的抗震性能较差^[1]. 隔震结构的使用标志着结构抗震设计概念的一个大转换, 即从传统的“硬抗”变成“软耗”, 它依靠隔震层较大的变形和耗能能力, 大大削弱了地震对建筑结构的影响^[2]. 笔者提出把隔震橡胶垫放置在上部砌体与底层框架结构之间的隔震措施^[3], 假定隔震房屋在底部固定, 由于上部砖房的刚度比隔震垫与底层框架的刚度大得多, 因此, 可以将隔震房屋模拟成具有2个自由度的系统, 并得到了用来求解此类房屋动力计算的实用方法.

1 算法原理

隔震房屋计算模型如图1所示. 其中 m_2, m_1 分别为隔震支座下面的底层框架和上面砖房的集中质量, k_2, k_1 分别为底层框架的弹性刚度和隔震支座的有效刚度, y_2, y_1 分别为底层框架梁和上部砖房相对于地面的侧向位移, c_2, c_1 分别为底层框架的粘性阻尼系数和隔震支座的等效粘性阻尼系数.

$$m_1 \ddot{y}_1(t) + K_1 [y_1(t) - y_2(t)] = 0,$$

$$m_2 \ddot{y}_2(t) - K_1 [y_1(t) - y_2(t)] + K_2 y_2(t) = 0, \quad (1)$$

设 $y_1(t) = A_1 \sin \omega t,$

$$y_2(t) = A_2 \sin \omega t. \quad (2)$$

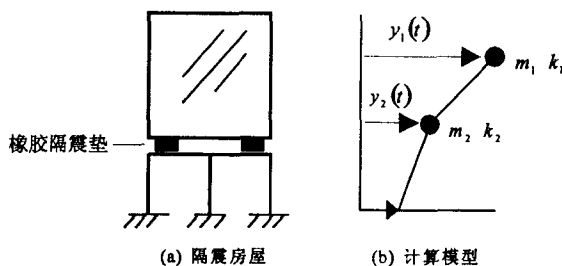


图1 隔震房屋计算模型

体系的运动方程为:

代入式(1)中, 经化简得:

$$(K_1 - m_1 \omega^2) A_1 - K_1 A_2 = 0,$$

$$-K_1 A_1 + (K_1 + K_2 - m_2 \omega^2) A_2 = 0. \quad (3)$$

这一齐次方程有非零解的情况是系数行列式 $f(\omega)$ 为零, 而

$$f(\omega) = (K_1 - m_1 \omega^2)(K_1 + K_2 - m_2 \omega^2) - K_1^2, \quad (4)$$

由此可以得到 $f(\omega)$ 的2个根:

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{a+c}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a-c}{2}\right)^2 + bc}, \quad (5)$$

其中 $a = \frac{K_1 + K_2}{m_2}, b = \frac{K_1}{m_2}, c = \frac{K_1}{m_1}.$

由式(4)表示的 $f(\omega)$ 是 ω^2 的二次抛物线方程, 曲线与 ω^2 轴的2个交点即为双自由度体系的2个自振圆频率 ω_1^2 和 ω_2^2 . 并且有:

* 收稿日期: 2006-02-05

作者简介: 黄文(1963-), 男, 重庆人, 重庆大学工程师, 主要从事工程结构分析方面的研究.

$$\omega_1^2 < \frac{K_1}{m_1}, \frac{K_1 + K_2}{m_2} < \omega_2^2,$$

下面讨论 K_1, K_2, m_1, m_2 的取值在什么范围内的下面近似关系成立^[4]:

$$\omega_1^2 \approx \frac{K_1}{m_1}, \omega_2^2 \approx \frac{K_1 + K_2}{m_2}.$$

将 $f(\omega)$ 对 ω^2 求一次微商

$$\frac{df(\omega)}{d(\omega^2)} = -m_1(K_1 + K_2 - m_2\omega^2) - m_2(K_1 - m_1\omega^2), \quad (6)$$

$$\left. \frac{df(\omega)}{d(\omega^2)} \right|_{\omega^2 = \frac{K_1}{m_1}} = -m_1 \left(K_1 + K_2 - m_2 \frac{K_1}{m_1} \right). \quad (7)$$

则 $f(\omega)$ 在 $\omega^2 = \frac{K_1}{m_1}$ 处的切线方程 $f_1(\omega)$ 为

$$f_1(\omega) = -m_1 \left(K_1 + K_2 - m_2 \frac{K_1}{m_1} \right) \omega^2 + \left(K_2 - m_2 \frac{K_1}{m_1} \right) K_1, \quad (8)$$

$f_1(\omega)$ 与横坐标的交点为:

$$\bar{\omega}_1^2 = \frac{\left(K_2 - m_2 \frac{K_1}{m_1} \right) K_1}{\left(K_1 + K_2 - m_2 \frac{K_1}{m_1} \right) m_1}. \quad (9)$$

因为 $\bar{\omega}_1^2 < \omega_1^2 < \frac{K_1}{m_1}$,

对层间隔震底层框架砖房: $K_2 \gg K_1$, 显然有

$$\bar{\omega}_1^2 \approx \frac{K_1}{m_1}.$$

因此 $\omega_1^2 \approx \frac{K_1}{m_1}$,

$$\left. \frac{df(\omega)}{d(\omega^2)} \right|_{\omega^2 = \frac{K_1 + K_2}{m_2}} = -m_1 \left(K_1 - m_1 \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right). \quad (10)$$

则 $f(\omega)$ 在 $\omega^2 = \frac{K_1 + K_2}{m_2}$ 处的切线方程 $f_2(\omega)$ 为

$$f_2(\omega) = -m_2 \left(K_1 - m_1 \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right) \omega^2 + K_1 K_2 - \frac{m_1}{m_2} (K_1 + K_2)^2. \quad (11)$$

$f_2(\omega)$ 与横坐标的交点为

$$\bar{\omega}_2^2 = \frac{K_1 K_2 - \frac{m_1}{m_2} (K_1 + K_2)^2}{\left(K_1 - m_1 \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right) m_2}. \quad (12)$$

对层间隔震底层框架砖房^[5]: $K_2 \gg K_1$, 且 $\frac{K_1 + K_2}{m_2} \gg$

$\frac{K_1}{m_1}$, 显然有

$$\bar{\omega}_2^2 \approx \frac{(K_1 + K_2)}{m_2}, \quad (13)$$

又因为 $\frac{K_1 + K_2}{m_2} < \omega_2^2 < \bar{\omega}_2^2$,

因此有 $\omega_2^2 \approx \frac{K_1 + K_2}{m_2}$. (14)

综合上面的讨论, 对层间隔震底层框架砖房有

$$K_2 \gg K_1, \text{ 且 } \frac{K_1 + K_2}{m_2} \gg \frac{K_1}{m_1}, \quad (15)$$

$$\text{则 } \omega_1^2 \approx \frac{K_1}{m_1}, \quad (16)$$

$$\omega_2^2 \approx \frac{K_1 + K_2}{m_2} \approx \frac{K_2}{m_2}. \quad (17)$$

将式(5)计算的 ω_1^2 和 ω_2^2 分别代入式(3)得:

$$\begin{aligned} \frac{A_{11}}{A_{21}} &= \frac{K_1}{K_1 - m_1 \omega_1^2} = \frac{K_1 + K_2 - m_2 \omega_1^2}{K_1}, \\ \frac{A_{12}}{A_{22}} &= \frac{K_1}{K_1 - m_1 \omega_2^2} = \frac{K_1 + K_2 - m_2 \omega_2^2}{K_1}. \end{aligned} \quad (18)$$

2 动力计算

设 $R_d = k_1/k_2$ 为隔震支座的有效刚度对底层框架的弹性刚度的比值^[6].

$$\begin{aligned} \text{则 } \omega_s^2 &= k_1/m_1, \\ \omega_d^2 &= k_2/(m_2 + m_1), \\ \beta &= m_2/(m_2 + m_1), \\ c_1 &= 2m_1 \xi_d \omega_s, \\ c_2 &= 2(m_1 + m_2) \xi_d \omega_d. \end{aligned}$$

振型参与系数随隔震系统阻尼比的变化如图 2 所示, 组合阻尼比随刚度比的变化如图 3 所示, 组合阻尼比随质量比的变化如图 4 所示. 与隔震振型的参与系数相比, 非隔震振型的参与系数是非常小的, 隔震振型控制了系统的反应.

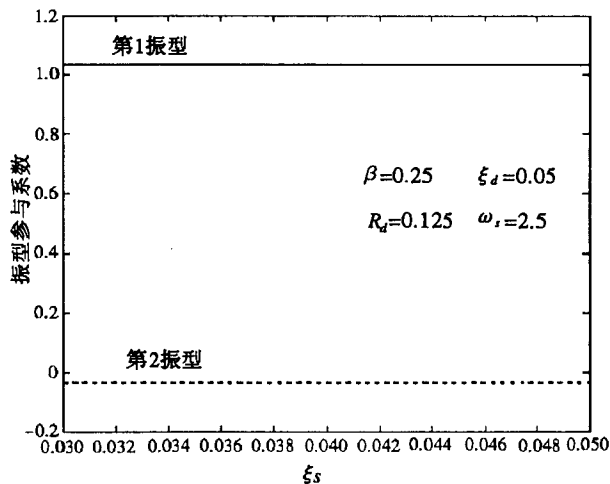


图 2 振型参与系数随隔震系统阻尼比的变化

3 结论

1) 对层间隔震底层框架砖房而言,体系参数满足式(15),由式(18)显然有 $A_{21} \approx 0$ 及 $A_{12} \approx 0$,这时双自由度体系第1振型为 m_2 质点不动,只有 m_1 质点以频率 $\sqrt{\frac{K_1}{m_1}}$ 作自由振动;而第2振型相当于 m_1 质点不振

动,只有 m_2 质点以频率 $\sqrt{\frac{K_1 + K_2}{m_2}}$ 作自由振动.

2) 如果第1振型(隔震振型)与第2振型(非隔震振型)能很好地进行分离,则与隔震振型的参与系数相比,非隔震振型的参与系数非常小.结果表明,隔震振型控制了系统的反应.

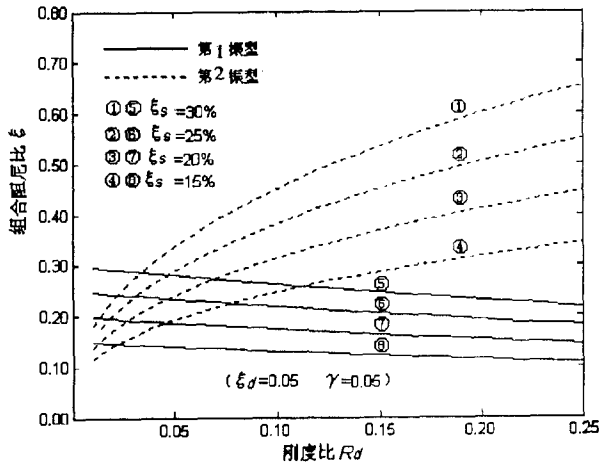


图3 组合阻尼比随刚度比的变化

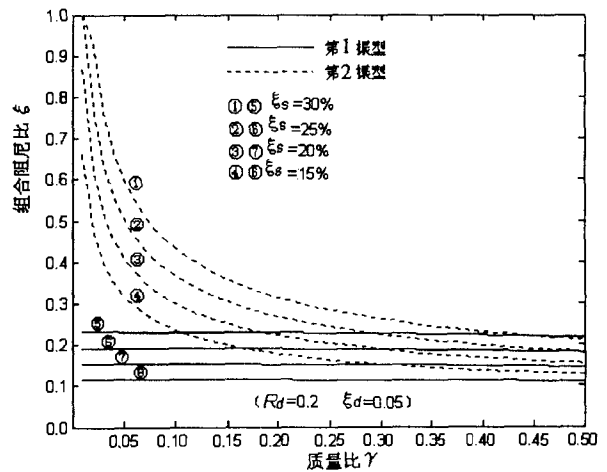


图4 组合阻尼比随质量比的变化

参考文献:

- [1] 杨佑发. 底部框剪砌体房屋抗震及隔震性能研究[D]. 长沙: 湖南大学土木工程系, 1998.
- [2] 周福霖. 工程结构减震控制[M]. 北京: 地震工业出版社, 1997.
- [3] 施卫星, 王群. 层间隔震原理和设计方法[J]. 工程抗震, 1997, 18(4): 20-22.
- [4] 姜俊平, 邵长荣. 振动计算与隔震设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1976.
- [5] 杨佑发, 邹银生. 底部两层框剪砌体房屋抗震性能研究[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2000, 23(2): 82-87.
- [6] 杨佑发, 邹银生. 底部框剪砌体房屋空间弹塑性地震反应分析[J]. 振动与冲击, 2003, 22(1): 20-23.

Practical Method for Dynamical Analysis to the Interlayer Seismic Isolation Masonry Building with Frame Structure in the First Storey

HUAN Wen, YANG You-fa

(College of Civil Engineering, Chongqing University Chongqing 400030, China)

Abstract: Masonry buildings with R/C frame - shear wall in the bottom storey have been widely used in city construction, which include two kinds of lateral force resistant system. However, the seismic behavior of the building is poor. Based on the characteristics that the rigidity of the upper masonry structure is much bigger than the rigidity of laminated rubber bearings and frame structure. It can be referred to as system having a two degree of freedom. The dynamic behavior of this building is analyzed, the isolated vibration mode controls the response of system. The authors give a practical method for dynamical analysis to masonry building with frame structure in the first storey with laminated rubber bearings between the first and second storey, which submits efficient path to found applicable design means and to generalize interlayer seismic isolation structure.

Key words: masonry building with frame structure in the first storey; interlayer seismic isolation; dynamical analysis

(编辑 姚飞)