

# プロジェクト名：モードの局在化を利用した振動低減に関する研究

プロジェクト代表者：佐藤 勇一（理工学研究科・教授）

## 1 研究背景

多自由度系において、1つの質量が他とわずかに異なることでモードの局在化が生じることがある。本研究ではモードの局在化を生じさせた状態で系に動吸振器を取り付けることにより、局在化が生じていない場合に比べ効果的に振動を抑制することを目的とし、局在化の有無による動吸振器の効果の違いを解析により調べた。

## 2 解析

図1に解析モデルを示す。6個の質量がばねで連結された6自由度の系について考える。各質量はばね定数  $k$  のばねで互いに繋がっており、また、ばね定数  $K$  のばねで固定面から支持されている。質量の番号は上から順に1~6とし、質量1だけを他の質量と異なる大きさにする。質量1を  $\tilde{m}$  とし、その他の質量を  $m$  とおくと、係数を無次元化した運動方程式は次式となる。

$$[\bar{M}]\{x\}^{(2)} + [\bar{K}]\{x\} = \{0\} \quad (1)$$

ここで 各行列と各パラメータは次式で表される。

$$[\bar{M}] = \begin{bmatrix} \mu & & & & & \\ & 1 & & & & \\ & & 1 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ 0 & & & & & 1 \end{bmatrix}, \quad [\bar{K}] = \begin{bmatrix} \kappa+1 & -\kappa & & & & 0 \\ -\kappa & 2\kappa+1 & -\kappa & & & \\ & -\kappa & 2\kappa+1 & -\kappa & & \\ & & -\kappa & 2\kappa+1 & -\kappa & \\ & & & -\kappa & 2\kappa+1 & -\kappa \\ 0 & & & & -\kappa & \kappa+1 \end{bmatrix},$$

$$\{x\} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6]^T, \quad \kappa = \frac{k}{K}, \quad "^{(i)}" = \frac{d^i}{d\tau^i}, \quad \tau = \omega_0 t, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}}. \quad (2)$$

$\kappa = 0.1$  と設定し、 $\mu = 1, \mu = 1.1$  の各条件において計算した系の1次の固有振動数  $\omega_{n1}$  と固有モードを図2に示す。図1と同様に図中の質量は上から順に1~6に対応し、■が質量  $\tilde{m}$  を表している。実際の変位は鉛直方向であるが、表記の都合上、変位を水平方向にとった。図から  $\mu = 1.1$  の場合に質量  $\tilde{m}$  の振幅が他の質量の振幅に比べ大きくなっており、モードの局在化が生じている様子が分かる。

次に強制外力が加わった場合について考える。質量6とばねで繋がった壁が  $u = U \sin \omega t$  で振動し、かつ、図3のように質量  $\tilde{m}$  に動吸振器を取り付けた場合について考える。したがって、動吸振器の設置位置は加振点(最下部)から最も遠い位置(最上部)となる。運動方程式は次式となる。

$$[\bar{M}^*]\{x^*\}^{(2)} + [\bar{K}^*]\{x^*\} = \{f\} \quad (3)$$

ここで、動吸振器の変位、質量、剛性をそれぞれ  $x_a, m_a, k_a$  とおくと 各行列と各パラメータは(4)式で表される。

$x_i = X_i \sin \omega t$  とおき、加振振動数が動吸振器設置前の系の1

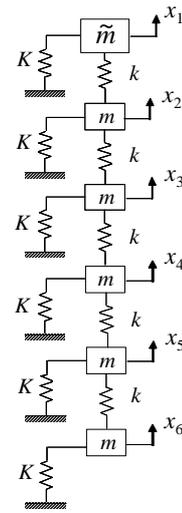


Fig.1 Analytical model

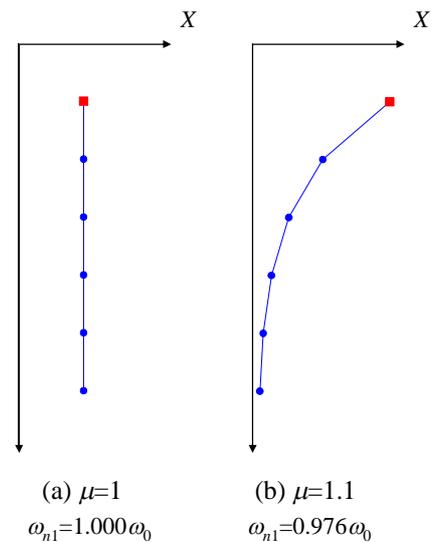


Fig.2 Natural frequency and vibration mode

次の固有振動数に一致した際の  $x_1 \sim x_6$  の振幅を計算し、図4に示した。図4(a)は  $\mu = 1$ , (b)は  $\mu = 1.1$  の結果である。図2と同様に図中の■が質量  $\tilde{m}$  を表し、上から順に  $x_1 \sim x_6$  を表す。動吸振器の質量比  $\mu_a$  は0.05とし、剛性比  $\kappa_a$  は動吸振器の固有振動数  $\sqrt{k_a/m_a}$  が系の1次の固有振動数と一致するように設定した。

$$[\bar{M}^*] = \begin{bmatrix} \mu & & & & & & 0 \\ & 1 & & & & & \\ & & 1 & & & & \\ & & & 1 & & & \\ & & & & 1 & & \\ & & & & & 1 & \\ 0 & & & & & & \mu_a \end{bmatrix}, \quad [\bar{K}^*] = \begin{bmatrix} \kappa + 1 + \kappa_a & -\kappa & 0 & 0 & 0 & 0 & -\kappa_a \\ -\kappa & 2\kappa + 1 & -\kappa & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\kappa & 2\kappa + 1 & -\kappa & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\kappa & 2\kappa + 1 & -\kappa & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\kappa & 2\kappa + 1 & -\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\kappa & \kappa + 1 & 0 \\ -\kappa_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \kappa_a \end{bmatrix},$$

$$\{x^*\} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_a]^T, \quad \{f\} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ u \ 0]^T, \quad \mu_a = \frac{m_a}{m}, \quad \kappa_a = \frac{k_a}{K}. \quad (4)$$

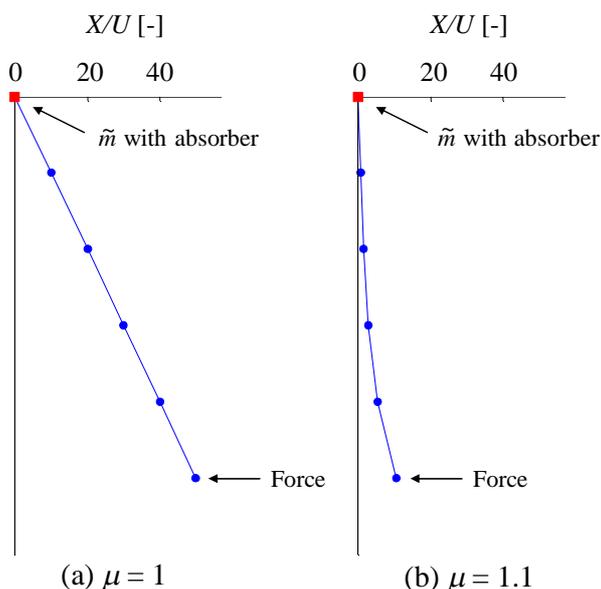
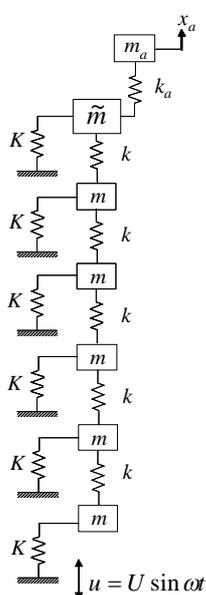


Fig.3 Analytical model with dynamic absorber

Fig.4 Dimensionless amplitude  $X/U$

図4から(a)の局在化が生じていない場合に比べて(b)の局在化が生じている場合の方が全体の振幅が非常に小さくなっていることが分かる。振幅が最も大きい  $x_6$  の値で比較すると局在化が生じている場合は生じていない場合に比べ 1/5 程度になっている。このことから局在化が生じている場合の方がより動吸振器が効果的に機能していると言える。ここでは質量  $\tilde{m}$  を最も加振点から遠い位置に設定した場合についての結果のみを示したが、その他の位置に付けた場合についても同様の傾向が得られた。

### 3 まとめ

系にモードの局在化を生じさせて動吸振器を設置することで、動吸振器の効果が高まることを解析により示した。

### 4 文献

- 1) C.H.Hodges., "CONFINEMENT OF VIBRATION BY STRUCTURAL IRREGULARITY," Journal of Sound and Vibration, (1982), **82**(3), 441-424.
- 2) A. Cummings, I.-J. Chang., "ACOUSTIC PROPAGATION IN POROUS MEDIA WITH INTERNAL MEAN FLOW", Journal of Sound and Vibration, (1987), **114**(3), 565-581.