

I-193

有限個の連結ばね・ダンパーを有する動吸振板による平板構造物の振動制御

日本鉄塔工業(株) 正員 ○川添啓示
 山口大学 正員 會田忠義
 間組(株) 吉井英明

1. まえがき 本研究の目的は2次元分布質量、分布剛性を持つ平板構造物の曲げ振動を制御するための動吸振装置の提案である。制振対象板と同一の境界条件の動吸振板を連結ばね・ダンパーにより取り付ける。これまで連結ばね・ダンパーを等分布に装着した場合¹⁾については言及されているが、本研究では有限個の連結ばね・ダンパーにより取り付けた場合を想定し、その制振理論と制振効果、実構造物への適用の可能性を明かにする。

2. 運動方程式 Fig.1に示す対象板(Main Plate;MP)と動吸振板(Dynamic Absorbing Plate;DAP)の運動方程式は、式(1),(2)で表される。

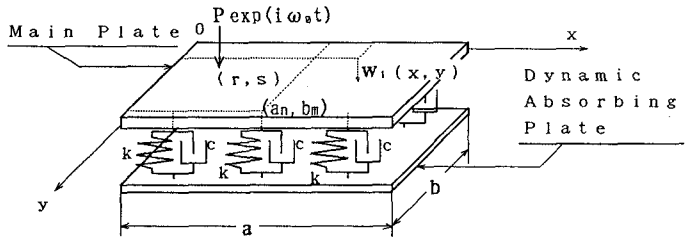


Fig.1 解析モデル

式中、

m_1, m_2 ; MP, DAPの単位面積質量、

k ; 連結ばねのばね定数、

c ; 連結ダンパーの減衰定数、 D_1, D_2 ; MP, DAPの板剛度、 δ ; Diracの δ 関数

$$m_1 \ddot{w}_1 + D_1 \Delta \Delta w_1 + c (\dot{w}_1 - \dot{w}_2) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \delta(x - a_m)(y - b_n) + k (w_1 - w_2) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \delta(x - a_m)(y - b_n) = P e^{i\omega \cdot t} \delta(x - r)(y - b) \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{w}_2 + D_2 \Delta \Delta w_2 + c (\dot{w}_2 - \dot{w}_1) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \delta(x - a_m)(y - b_n) + k (w_2 - w_1) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \delta(x - a_m)(y - b_n) = 0 \quad (2)$$

$$(\cdot) = \frac{\partial}{\partial t}, \quad \Delta = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right), \quad (n = 1, 2, \dots, N, m = 1, 2, \dots, M)$$

MPとDAPの動吸振板の境界条件を同一にすると両平板の固有関数は同一な関数で表される。ここでModal Analysisの手法を応用し、 (i, j) 次モードの固有関数を $\phi_{ij}(x, y)$ で表すと、両平板の振動変位は次式で表す事ができる。

$$w_1(x, y, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \rho_{1ij}(t) \phi_{ij}(x, y), \quad w_2(x, y, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \rho_{2ij}(t) \phi_{ij}(x, y) \quad (3)$$

式(3)を式(1),(2)に代入して両辺に $\phi_{pq}(x, y)$ をかけて板全体について積分し、固有関数の直交条件を用いて整理すると、式(4),(5)のモード方程式を得る。式中 $\omega_{1ij}, \omega_{2ij}$; MP, DAPの固有円振動数。

$$m_1 \ddot{\rho}_{1ij} + m_1 \omega_{1ij}^2 \rho_{1ij} + c (\dot{\rho}_{1pq} - \dot{\rho}_{2pq}) \sum_{m,n} \Phi_{ij,pq}(a_m, b_n) + k (\rho_{1pq} - \rho_{2pq}) \sum_{m,n} \Phi_{ij,pq}(a_m, b_n) = P e^{i\omega \cdot t} \phi(r, s)$$

$$m_2 \ddot{\rho}_{2ij} + m_2 \omega_{2ij}^2 \rho_{2ij} + c (\dot{\rho}_{2pq} - \dot{\rho}_{1pq}) \sum_{m,n} \Phi_{ij,pq}(a_m, b_n) + k (\rho_{2pq} - \rho_{1pq}) \sum_{m,n} \Phi_{ij,pq}(a_m, b_n) = 0$$

($i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots$)

$$\sum_{p,q} = \sum_{p=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty}, \quad \sum_{m,n} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N, \quad \Phi_{ij,pq} = \phi_{ij}(a_m, b_n) \phi_{pq}(a_m, b_n)$$

式(4)、(5)はモード間の連成が起るために等分装着の場合の様に非連成にならず2質量3ばね系モデルに置換できないが、十分に多く連結ばね・ダンパーを装着すれば $ij=pq$ の時、 $ij \neq pq$ の時に比べて $\Phi_{ij, pq}$ は大きくなる。このことから $\Phi_{ij, ij}$ のみを考慮すれば近似的に解析モデルは2質量3ばね系モデルに置換され、2質量3ばね系モデルの最適調整条件¹⁾を適用できる。Fig.2に近似的2質量3ばね系モデルを示す。

3. 最適調整条件式 周期荷重の励振振動数が板の (i, j) 次の固有振動数に近いと (i, j) 次モードが卓越する。よって制振対象モードを (i, j) 次としたとき2質量3ばね系モデルの最適調整条件¹⁾より

$$k = \frac{m_1 \omega_{ij}^2 \sqrt{\mu(2+\mu)}}{\Phi_{ij, ij} Y_{1P} (1+\mu)^2} \quad (6) \quad c = \frac{2\mu h m_1 \omega_{ij}}{\Phi_{ij, ij}} \quad (7)$$

$$D_2 = \mu D_1 \left(1 - \frac{1}{Y_{1P}} \sqrt{\frac{2+\mu}{\mu}} \right) \quad (8) \quad h = \frac{1}{2} (h_p^2 + h_q^2) \quad (9)$$

$$\frac{h_p^2}{h_q^2} = \frac{(3+2\mu) \mp 2\sqrt{\mu(2+\mu)}}{4(1+\mu)^3 Y_{1P} \{ (1+\mu) Y_{1P} - \sqrt{\mu(2+\mu)} \mp 1 \}} \quad (10)$$

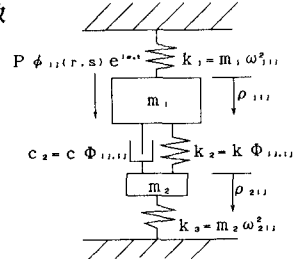
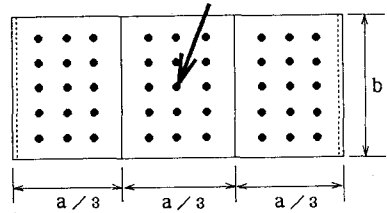


Fig.2 近似的2質量3ばね系モデル

4. 適用例 Fig.3に示すモデル(3連続板、長辺自由)を最適設計する。

モデルの諸元をTable.1に示す。制振対象モードを $(1, 1)$ 次、最適調整条件を $\mu=0.2, Y_{1P}=4.0$ として最適調整した動吸振板の諸元Table.2に示す。Fig.4に、平板中央に荷重を載荷させ、その同一点での変位応答倍率の共振曲線を示す。さらに比較のために連結ばね・ダンパーが等しく分布した場合(理論値)の動吸振板の最適調整値をTable.3に、共振曲線をFig.5に示した。図を比較してみると高次モードで理論値との違いが出ているが制振対象モードである $(1, 1)$ 次モードについては理論値と大差がないことより動吸振板は実構造物にも十分適用可能であることが認められた。



● 連結ばね・ダンパーの取り付け位置

Fig.3 設計モデル

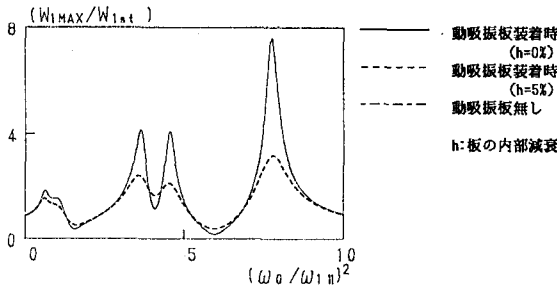


Fig.4 共振曲線

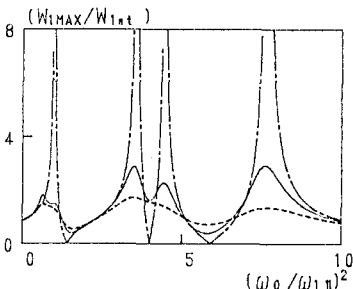


Fig.5 共振曲線(理論値)

Table.1 対象平板の諸元

$a=270.0$ (Cm) $b=150.0$ (Cm)
 $m_1=2.8 \times 10^{-3}$ (Ns²/Cm²) $D_1=69727.12$ (Ncm)

Table.2 動吸振板の調整値(有限個装着)

$k=10.36$ (N/Cm) $c=1.03$ (Ns/Cm)
 $m_2=5.2 \times 10^{-4}$ (Ns²/Cm²) $D_2=2382.49$ (Ncm)

Table.3 動吸振板の調整値(理論値)

$k=1.14 \times 10^{-2}$ (N/Cm²) $c=1.12 \times 10^{-3}$ (Ns/Cm³)
 $m_2=5.2 \times 10^{-4}$ (Ns²/Cm²) $D_2=2382.49$ (Ncm)

【参考文献】

- 1) 川添・坂本・會田：動吸振板による平板の振動制御について 土木学会第46回年次学術講演開講演概要集第1部、pp942~pp943, (1991.9)
- 1) T.Aida, et al: vibration Control of Beams by Beam-type Dynamic Vibration Absrbers, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.118, No2, pp248-258.