

I - 597

有限個の連結ばね・ダンパーを有する動吸振シエルによる偏平シエルの振動制御

山口大学大学院 学生員 ○中本健二
山口大学 正 員 會田忠義
山口大学 正 員 麻生稔彦

1. まえがき 本研究の目的は、定常加振を受けるシエル構造の振動を制御するための一動吸振装置の提案である。制振対象となるシエル構造に対して同じ境界条件を有する相似のシエルを連結ばね・ダンパーにより装着する。これまで著者らは連結ばね・ダンパーを等分布に装着した場合¹⁾については言及してきたが、本研究では実用化を考え有限個のばね・ダンパーにより動吸振シエルを装着した場合を想定し、その制振理論と制振効果を明らかにする。本研究では、対象シエルに装着されるシエルを動吸振シエルと呼ぶ。

2. 運動方程式と制振理論 解析モデルとして図-1に示す様なZ軸方向の集中ばね・ダンパーにより連結された対象偏平シエルと動吸振シエルを想定する。ばね・ダンパーの装着位置を図-2の通りとすると両偏平シエル連結時の運動方程式は、次式で示される。

(対象偏平シエル)

$$m_1 \ddot{u}_1 - K_1 \{ u_{1xx} + (1-\nu) u_{1yy} / 2 + (1+\nu) v_{1xy} / 2 - (\rho_x + \nu \rho_y) w_{1x} - (1-\nu) \rho_{xy} w_{1y} \} = p_x(x, y, t) \quad (1)$$

$$m_1 \ddot{v}_1 - K_1 \{ v_{1yy} + (1-\nu) v_{1xx} / 2 + (1+\nu) u_{1xy} / 2 - (\rho_y + \nu \rho_x) w_{1y} - (1-\nu) \rho_{xy} w_{1x} \} = p_y(x, y, t) \quad (2)$$

$$m_1 \ddot{w}_1 + D_1 \{ w_{1xxxx} + 2 w_{1xxyy} + w_{1yyyy} \} - K_1 \{ (\rho_x + \nu \rho_y) u_{1x} + (\rho_y + \nu \rho_x) v_{1y} \} - K_1 \{ \rho_{xy} (1-\nu) (u_{1y} + v_{1x}) - (\rho_x^2 + 2(1-\nu) \rho_{xy}^2 + \rho_y^2 + 2\nu \rho_x \rho_y) w_{1z} \} + \{ c_z (\dot{w}_1 - \dot{w}_2) + k_z (w_1 - w_2) \} \delta \sum_{m=1}^J (x - a_m) \delta \sum_{n=1}^K (y - b_n) = p_z(x, y, t) \quad (3)$$

(動吸振シエル)

$$m_2 \ddot{u}_2 - K_2 \{ u_{2xx} + (1-\nu) u_{2yy} / 2 + (1+\nu) v_{2xy} / 2 - (\rho_x + \nu \rho_y) w_{2x} - (1-\nu) \rho_{xy} w_{2y} \} = 0 \quad (4)$$

$$m_2 \ddot{v}_2 - K_2 \{ v_{2yy} + (1-\nu) v_{2xx} / 2 + (1+\nu) u_{2xy} / 2 - (\rho_y + \nu \rho_x) w_{2y} - (1-\nu) \rho_{xy} w_{2x} \} = 0 \quad (5)$$

$$m_2 \ddot{w}_2 + D_2 \{ w_{2xxxx} + 2 w_{2xxyy} + w_{2yyyy} \} - K_2 \{ (\rho_x + \nu \rho_y) u_{2x} + (\rho_y + \nu \rho_x) v_{2y} \} - K_2 \{ \rho_{xy} (1-\nu) (u_{2y} + v_{2x}) - (\rho_x^2 + 2(1-\nu) \rho_{xy}^2 + \rho_y^2 + 2\nu \rho_x \rho_y) w_{2z} \} + \{ c_z (\dot{w}_2 - \dot{w}_1) + k_z (w_2 - w_1) \} \delta \sum_{m=1}^J (x - a_m) \delta \sum_{n=1}^K (y - b_n) = 0 \quad (6)$$

式中 $(\dot{}) = \partial / \partial t$, $()_x = \partial / \partial x$, $()_y = \partial / \partial y$ δ : ディラックの δ 関数、 m_1, m_2 は対象偏平シエル及び動吸振シエルの単位面積質量、 K_1, K_2 は両シエルの伸縮剛性、 D_1, D_2 は両シエルの曲げ剛性を表す。対象シエルと動吸振シエルの境界条件が同一で剛性が相似である両シエルの固有関数は同一な関数で表される。ここで i 次モードの固有関数を U_i, V_i, W_i で表し、両シエルの振動変位を次式で表す。

(対象シエル)

(動吸振シエル)

$$\begin{aligned} u_1 &= \sum_{i=1}^M U_i(x, y) \rho_{1i}(t) & u_2 &= \sum_{i=1}^M U_i(x, y) \rho_{2i}(t) \\ v_1 &= \sum_{i=1}^M V_i(x, y) \rho_{1i}(t) & v_2 &= \sum_{i=1}^M V_i(x, y) \rho_{2i}(t) \\ w_1 &= \sum_{i=1}^M W_i(x, y) \rho_{1i}(t) & w_2 &= \sum_{i=1}^M W_i(x, y) \rho_{2i}(t) \end{aligned} \quad (7) \quad (8)$$

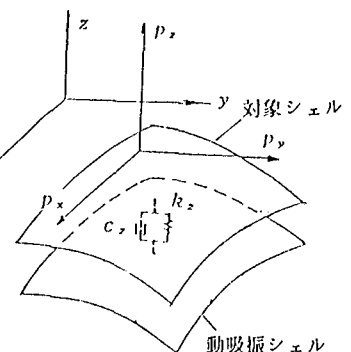


図-1 解析モデル

式(7)及び(8)を式(1) - (6)に代入し直交条件を用いて整理すると以下のモード方程式を得る。

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{\rho}_{1i} + m_1 \omega_{1i}^2 \rho_{1i} + \frac{c}{dx dy} \sum_{j=1}^M (\dot{\rho}_{1i} - \dot{\rho}_{2i}) \frac{\Phi_{ij}}{\gamma} + \frac{k}{dx dy} \sum_{j=1}^M (\rho_{1i} - \rho_{2i}) \frac{\Phi_{ij}}{\gamma} \\ = \frac{1}{\gamma} \{ p_x U_i(r, s) + p_y V_i(r, s) + p_z W_i(r, s) \} e^{i\omega t} \quad (9) \end{aligned}$$

$$m_2 \ddot{\rho}_{2i} + m_2 \omega_{2i}^2 \rho_{2i} + \frac{c}{dx dy} \sum_{i=1}^M (\dot{\rho}_{2i} - \dot{\rho}_{1i}) \frac{\Phi_{ij}}{\gamma} + \frac{k}{dx dy} \sum_{i=1}^M (\rho_{2i} - \rho_{1i}) \frac{\Phi_{ij}}{\gamma} = 0 \quad (10)$$

ここで十分に多くの連結ばね・ダンパーを装着すれば上式中の Φ_{ij} は近似的に以下の関係を有する。

$$\Phi_{ij} \doteq \int_0^a \int_0^b W_i(x, y) W_j(x, y) dx dy \doteq \begin{cases} \gamma & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (11)$$

この関係を用いて整理すると式(9)及び(10)は図-3に示す2質量3ばね系からなる2自由度系の挙動を示している。したがって集中ばね・ダンパーを用いた場合でも2質量3ばね系における動吸振器の調整法を適用することが可能である。動吸振シエルの最適調整理論は Den Hartog の定点理論により明かにされた2質量3ばね系における動吸振器の調整理論に基づく。²⁾

3. 動吸振シエルの近似調整式 周期荷重の励振振動数がシエルの j 次の固有振動数に近いと j 次モードが卓越する。よってこの卓越モードを極小化することにより動吸振シエルを調整することができる。制振対象モードを j 次としたときの動吸振シエルの近似調整式を以下に示す。

$$K_2 = \mu K_1 \left(1 - \frac{1}{Y_{1P}} \sqrt{\frac{2+\mu}{\mu}} \right) \quad (12)$$

$$D_2 = \mu D_1 \left(1 - \frac{1}{Y_{1P}} \sqrt{\frac{2+\mu}{\mu}} \right) \quad (13)$$

$$k = \frac{m_1 \omega_{1j}^2 \sqrt{\mu(2+\mu)}}{Y_{1P}(1+\mu)^2} dx dy \quad (14)$$

$$c = 2\mu h m_1 \omega_{1j} dx dy \quad (15)$$

4. 適用例 150×150 cmのアルミニウム製の4辺単純支持円筒シエルを想定する。制振対象モードを1次モード(図-5参照)とし近似調整条件式より動吸振シエルを設計した。図-4に示す解析モデルの矢印の位置に鉛直方向の周期荷重を载荷しこの位置を観測点とし対象シエルの動的応答を求めた。図-6に等分布装着の対象シエルの共振曲線を図-7に集中装着した場合の対象シエルの共振曲線を示す。縦軸は、無次元振幅、横軸は外力の励振振動数を対象シエルの固有円振動数で除して自乗したものである。これらの図より制振効果は明かである。

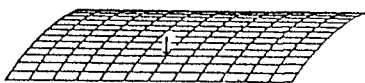


図-4 円筒シエル解析モデル



図-5 円筒シエル1次モード

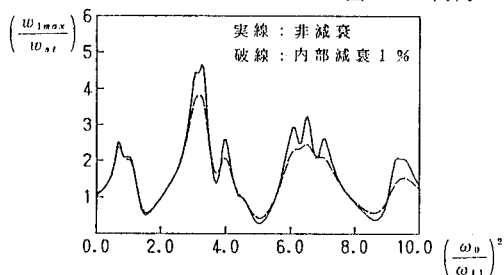


図-6 等分布装着時の対象シエル共振曲線

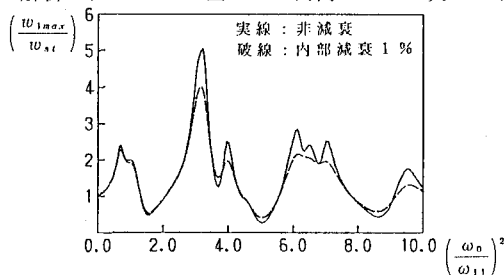


図-7 集中ばね・ダンパー装着時の対象シエルの共振曲線

【参考文献】

- 1) 中本・會田：動吸振シエルを用いた偏平シエルの振動制御、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第1部、pp664-665 (1993.9)
- 2) T.aida, et al: Vibration Control of Beams by Beams-type Dynamic Vibration Absorbers, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 118, No. 2, pp248-258