Ⅰ-191　連結ダンパーのみを用いた動吸振アーチによる円弧アーチの振動制御について

石川島播磨重工(株)　正員○河原謙二郎
日産建設　福田　隆章
山口大学　正員　會田　忠義

１．まえがき　分布質量・分布剛性を持つはりに等しく分布した連結ダンパーのみを有する動吸振ばりについて、これまでにその制振理論及び制振効果が明らかにされてきたが[1]、本研究では対象構造物としてアーチ構造物を想定し、等しく分布した連結ダンパーのみを有する動吸振アーチを採用した。[case.1)] また、実構造物に適用するための１つの試みとして、有限個の連結ダンパーを有する場合についても考え[case.2)]、その制振理論及び制振効果を明らかにする。

２．運動方程式　Fig.1に示される対象アーチ(Main Arch,MA)と動吸振アーチ(Dynamic Absorbing Arch,MAA)の運動 方程式は式(1)で表される。

式中、m_1，m_2：対象アーチ及び動吸振アーチの単位長さ当たり質量、I_1，I_2：対象アー チ及び動吸振アーチの断面２次モーメント、A_1，A_2：対象アー チ及び動吸振アーチの断面積、c_r, c_θ 半径方 向及び接線方向の連結ダンパーの減衰係数δ： Diracのδ関数である。

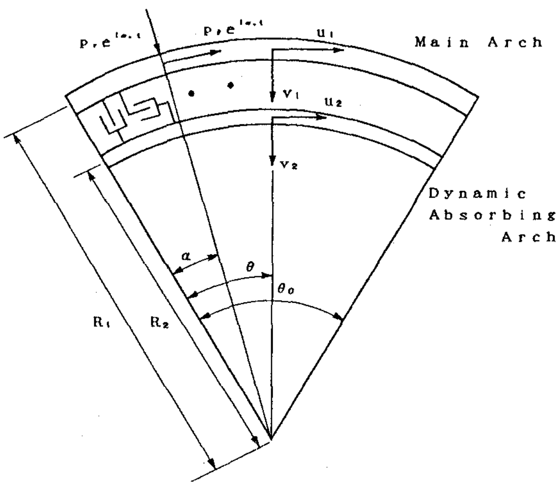

Fig.1　解析モデル

$$m_1R_1\ddot{u}_1-\frac{EI_1}{R_1^3}(v_1'''+u_1'')-\frac{EA_1}{R_1}(u_1''-v_1')+d_\theta=R_1p_\theta\delta(\theta-\alpha)e^{i\omega_0 t}$$

$$m_1R_1\ddot{v}_1+\frac{EI_1}{R_1^3}(v_1''''+u_1''')-\frac{EA_1}{R_1}(u_1'-v_1)+d_r=R_1p_r\delta(\theta-\alpha)e^{i\omega_0 t}$$

$$m_2R_2\ddot{u}_2-\frac{EI_2}{R_2^3}(v_2'''+u_2'')-\frac{EA_2}{R_2}(u_2''-v_2')-d_\theta=0$$

$$m_2R_2\ddot{v}_2+\frac{EI_2}{R_2^3}(v_2''''+u_2''')-\frac{EA_2}{R_2}(u_2'-v_2)-d_r=0 \qquad (1)$$

ここで、d_θ, d_r は下記の通りである。式中、β_sはcase.2の場合の連結ダンパー装着位置である。

case. 1　　case. 2

$$\begin{cases} d_\theta=c_\theta(\dot{u}_1-\dot{u}_2) \\ d_r=c_r(\dot{v}_1-\dot{v}_2) \end{cases} \qquad \begin{cases} d_\theta=c_\theta\sum_{s=1}^{S}(\dot{u}_1-\dot{u}_2)\,\delta(\theta-\beta_s) \\ d_r=c_r\sum_{s=1}^{S}(\dot{v}_1-\dot{v}_2)\,\delta(\theta-\beta_s) \end{cases} \qquad (2)$$

対象アーチと動吸振アーチの境界条件が等しく、$A_1R_1^2/I_1=A_2R_2^2/I_2$を満たす場合を想定すると両アーチの振動形は同一となり固有円振動数のみ異なることとなる。ここで、Modal Analysisの手法を応用して両アーチの振動変位を求めると次式で表される。

$$u_1=\sum_{i=1}^{N}\rho_{1i}(t)U_i(\theta) \qquad u_2=\sum_{i=1}^{N}\rho_{2i}(t)U_i(\theta)$$

$$v_1=\sum_{i=1}^{N}\rho_{1i}(t)V_i(\theta) \qquad v_2=\sum_{i=1}^{N}\rho_{2i}(t)V_i(\theta) \qquad (3)$$

式(3)を式(1)に代入して固有関数の直交条件を用いて整理すると式(4)のモード方程式となる。

$$m_1 R_1 \ddot{\rho}_{1j} + m_1 \omega_{1j}^2 \rho_{1j} + c\sum_{i=1}^{N}\Phi_{ij}\ (\dot{\rho}_{1i} - \dot{\rho}_{2i}) = R_1\ \{p_\theta U_j(\alpha) + p_r V_j(\alpha)\}\ e^{i\omega_0 t}$$

$$m_2 R_2 \ddot{\rho}_{2j} + m_2 \omega_{2j}^2 \rho_{2j} + c\sum_{i=1}^{N}\Phi_{ij}\ (\dot{\rho}_{2i} - \dot{\rho}_{1i}) = 0 \qquad (4)$$

ここで、

$$\begin{cases} \Phi_{ij} = \delta_{ij} & \text{case. 1} \\ \Phi_{ij} = \sum_{s=1}^{S}\{U_j(\beta_s)U_i(\beta_s) + V_j(\beta_s)V_i(\beta_s)\} & \text{case. 2} \end{cases} \qquad (5)$$

3．モード方程式の簡略化　式(4)及び式(5)から明らかなように、case.2では各モードが連成していることがわかる。式(5)のΦ_{ij}は数値計算によると、i=jの場合に比べi≠jは極めて小さい値をとるので、i=jの場合(Φ_{jj})のみ考慮することにより近似的に2質量2ばね1ダンパー系モデルに置換できる。そこで、この2質量2ばね1ダンパー系モデルの最適調整条件[1)]を適用することとした。

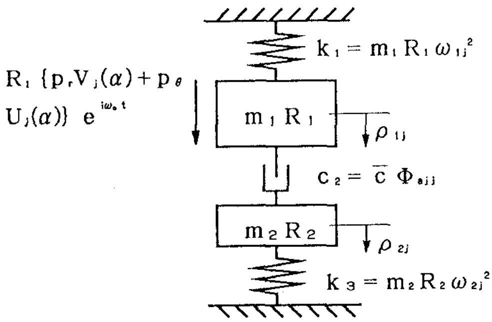

Fig.2　近似2質量2ばね1ダンパー系モデル

4．動吸振アーチの設計　外力の励振振動数がアーチのｊ次の固有振動数に近いとｊ次モードが卓越するので、このｊ次モードに注目した設計条件式とその順序を示す。①質量比μ及び対象アーチの制限振幅を決める。②Table.1を用いて固有振動数比ｆ、減衰比c_2/c_cを求める。③連結ダンパーの減衰係数及び動吸振アーチの断面積、断面2次モーメントを式(6)から求める。

$$m_2 = \mu m_1 \qquad c = \frac{2\ (c_2/c_c)\ f m_2 R_2 \omega_{1j}}{\Phi_{jj}}$$

$$A_2 = \mu\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 f^2 A_1 \qquad I_2 = \mu\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^4 f^2 I_1 \qquad (6)$$

Table.1　固有振動数比の値(μ＝0.2)

減衰比 (c_2/c_c)	固有振動数比 (f)	無次元振幅 (Y_1)
0.05	0.84386	64.62
0.10	0.76758	37.51
0.20	0.65658	23.18
0.40	0.52144	16.50
0.60	0.43462	14.21
0.80	0.37240	13.12

5．計算例　Table.2の諸元を持つ両端単純支持アーチを想定し、制振対象モードを1次、質量比μ=0.20，減衰比c_2/c_c=0.40とて連結ダンパーを等分布、9個装着した場合について、$1/4\theta_0$点、半径方向加振時のその同一点、同一方向の変位応答倍率の共振曲線をFig.3に示す。

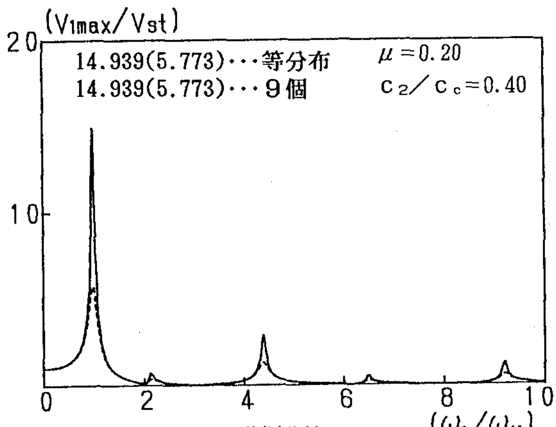

Fig.3　共振曲線

Table.2　対象ばりの諸元

R_1=65.0 (m)	m_1=4.12×10^2 (Ns^2/m^2)
I_1=2.76×10^{-3} (m^4)	A_1=5.25×10^{-2} (m^2)
θ_0=0.79 (rad)	

Table.3　動吸振ばりの諸元

R_2=65.0 (m)	m_2=8.24×10 (Ns^2/m^2)
I_2=1.50×10^{-4} (m^4)	A_2=2.86×10^{-3} (m^2)
c=3.82×10^4 ($Ns^2/m^2/rad$)	・・・・・ case.1
c=3.22×10^5 ($Ns^2/m/rad$)	・・・・・ case.2

【参考文献】　1）河原・會田：ダンパーのみを有する動吸振ばりによるはり構造物の振動制御、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集第1部、pp946～947，(1991.9)