

並進と捩れ振動を伴う構造物に設置した同調ダンパーの
最適動特性値

正会員 高西 照彦

1. まえがき

重心と剛心が一致していないような、いわゆる偏心を有する構造物は、並進振動のみならず捩れ振動をも生ずる。これら2種類の振動に対してそれぞれ同調系ダンパーを用いてその振動を効率よく制振しようとする場合、ダンパーの動特性値（振動数比，減衰定数，2個のダンパーの質量比）が最適な値になるように調整することが必要になる。構造物の固有円振動数が $n_2/n_1 > 2$ のときには、実用的にモード解析法を用いて各モード毎にそれぞれのダンパーに対する最適動特性値を定めることができるが、 $n_2/n_1 < 2$ のときには、2つのモードの応答が互いに影響し合う割合が多くなるので、この方法を適用することができなくなる。本論では、 $n_2/n_1 < 2$ の場合をも含めて、一般に、これら2つのダンパーの最適動特性値を定めることができる理論を提案し、さらに、数値計算を行ってその結果を示すことにした。

2. 解析方法

図-1に示すように、 x 方向のみに偏心を有する構造物が y 方向の地震入力 $\phi(t)$ を受ける場合を考える。

このとき、構造物に対する振動方程式は

$$m\ddot{y} + k(y + e\theta) - (k_a\eta_a + C_a\dot{\eta}_a) - (k_b\eta_b + C_b\dot{\eta}_b) = -m\ddot{\phi} \quad (1)$$

$$J\ddot{\theta} + k_\theta\theta + ke(y + e\theta) + a(k_b\eta_b + C_b\dot{\eta}_b) = 0 \quad (2)$$

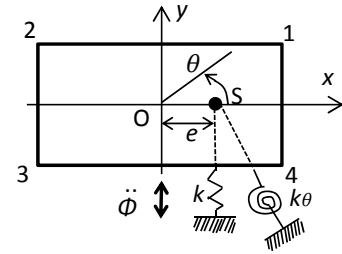
また、構造物に設置したダンパーに対する振動方程式は次の通りである。

$$m_a\ddot{\eta}_a + C_a\dot{\eta}_a + k_a\eta_a = -m_a(\ddot{y} + \ddot{\phi}) \quad (3)$$

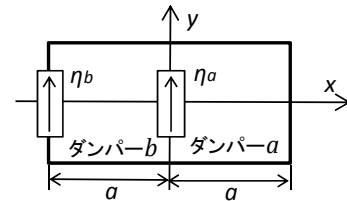
$$m_b\ddot{\eta}_b + C_b\dot{\eta}_b + k_b\eta_b = -m_b(\ddot{y} - a\ddot{\theta} + \ddot{\phi}) \quad (4)$$

上式において、 m, k, J, k_θ は構造物の質量，ばね定数，慣性モーメント，回転ばね定数であり， y, θ は y 方向変位及び回転角， $2a, e$ は x 方向の長さとお偏心距離である。また， η_a, m_a, C_a, k_a はダンパー a の変位，質量，減衰係数，ばね定数であり，下付添字 b はダンパー b のそれを表す。なお，構造物に対する減衰は一般に小さいとしてこれを無視した。

さて，構造物が円振動数 ω の調和波入力を受けたときの点1，2の絶対応答変位を \bar{y}_1, \bar{y}_2 とすれば，その振



(a) 構造物(平面図)



(b) ダンパーの設置

図-1 構造物-ダンパー系

動数応答倍率の絶対値は次式によって与えられる。

$$|\bar{y}_1/\phi| = |(y_1 + a\theta + \phi)/\phi| \quad (5)$$

$$|\bar{y}_2/\phi| = |(y_2 - a\theta + \phi)/\phi| \quad (6)$$

いま，2つのダンパーと構造物の質量比

$\mu = (m_a + m_b)/m$ が与えられた場合，上記の応答倍率を支配する動特性値は $\mu_a (= m_a/m), \gamma_a (= n_a/n_1), \gamma_b$

($= n_b/n_2$), h_a, h_b (ダンパー a, b の減衰定数) の5つである。したがって，最適動特性値を定めるには式(5),(6)

の最大応答値を最小にするような，上記の5つの動特性値を求めればよいことになる。そのために必要な条件式を定式化すればそれは次のように表すことができる。

すなわち，式(5),(6)の応答曲線は一般に4つの極大値 $\omega_1 \sim \omega_4$ を持つが， \bar{y}_1 については $\omega = \omega_3, \omega_4$ において， \bar{y}_2 については $\omega = \omega_1, \omega_2$ においてそれぞれ最大値を取ることを考慮して，

$$F_1 = \bar{y}_1(\omega_3) - \bar{y}_1(\omega_4) \quad (7)$$

$$F_2 = \bar{y}_2(\omega_1) - \bar{y}_2(\omega_2) \quad (8)$$

$$F_3 = \bar{y}_1(\omega_3) + \bar{y}_1(\omega_4) - \{\bar{y}_2(\omega_1) + \bar{y}_2(\omega_2)\} \quad (9)$$

$$F_4 = \bar{y}_{1h_a}(\omega_3) + \bar{y}_{1h_a}(\omega_4) + \bar{y}_{2h_a}(\omega_1) + \bar{y}_{2h_a}(\omega_2) \quad (10)$$

$$F_5 = \bar{y}_{1h_b}(\omega_3) + \bar{y}_{1h_b}(\omega_4) + \bar{y}_{2h_b}(\omega_1) + \bar{y}_{2h_b}(\omega_2) \quad (11)$$

とおけば、次式のように書くことができる。

$$F_i = 0, \quad (i = 1 \sim 5) \quad (12)$$

上式で下付添字 h_a, h_b は偏微分を表している。

本論では、式(12)を用いてダンパーに対する最適動特性値を求めるのに、 $\mu_{a0}, \gamma_{a0}, \gamma_{b0}, h_{a0}, h_{b0}$ を初期値として $\mu_a = \mu_{a0} + \Delta\mu_a$ 及び $\gamma_a = \gamma_{a0} + \Delta\gamma_a, h_a = h_{a0} + \Delta h_a, (a = a, b)$ とおき、式(12)を

$$F_i = F_{i0} + F_{i\mu_a}\Delta\mu_a + F_{i\gamma_a}\Delta\gamma_a + F_{i\gamma_b}\Delta\gamma_b + F_{ih_a}\Delta h_a + F_{ih_b}\Delta h_b \quad (13)$$

のように展開した後、ニュートンの近似法を用いて、微量である μ_a 等を未知量として5元の連立方程式を解いて μ_a 等が無視できるまで繰返し計算を行うことによってそれらの値を得た。

3. 数値解析

図-2は構造物の固有振動数比 n_2/n_1 をパラメータとして n_θ/n_y と me^2/J との関係を示したものである。ここに、 $n_\theta = \sqrt{k_\theta/J}, n_y = \sqrt{k/m}$ である。同図は、構造物の諸元が与えられたとき、その固有振動数比を知るとき及び当該構造物に設置するダンパーの最適動特性値を定めるときに参照すると便利である。

数値計算例として採用した諸元及び諸定数は次の通りである。 $m = 2.0276 \times 10^4 t, k = 8.6376 \times 10^4 kN/m, J = 1.3142 \times 10^7 tm^2, a = 35m, e = 5m, \mu = 0.01$ 。

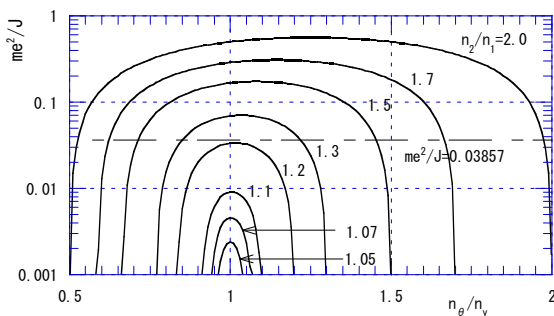


図-2 $n_\theta/n_y - me^2/J$ 図 (パラメータ n_2/n_1)

図-3は数値計算結果の一例として $n_\theta/n_y = 0.9$ の場合を示したものである。このときの最適動特性値として $\mu_a = 8.781 \times 10^{-3}, \gamma_a = 1.252, \gamma_b = 0.787, h_a = 0.0797, h_b = 0.0584$ が得られた。

図-4は me^2/J の値を0.03857としたとき(図-2中の一点鎖線上)、 n_θ/n_y をいろいろ変えた場合について、構造物の点1, 2の最大応答倍率を示したものである。赤の実線は本論による解を、黒の実線はモード解析法

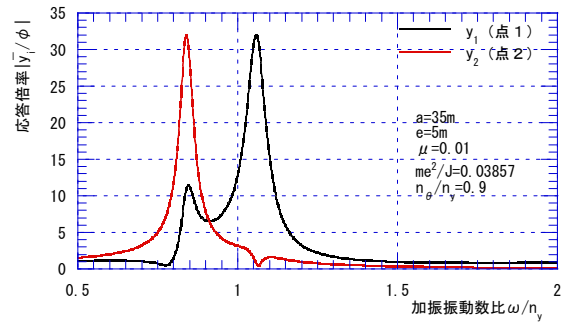


図-3 構造物隅角部の振動数応答曲線

を用いて得られた結果を示している。図-2を参照すれば $n_2/n_1 \geq 2$ の範囲では両者の結果は殆ど一致していると云ってもよいが、 n_2/n_1 が1.2~1.3近傍では両者の差が著しくなっていることが分かる。

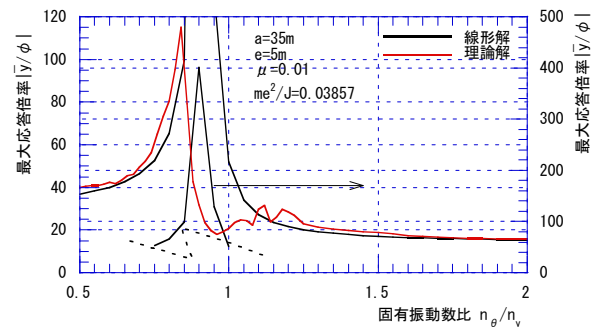


図-4 最大応答倍率

図-5は、図-4に示したように、構造物の応答倍率が最小値をとるときの最適動特性値の内、 μ_a の値を示したものである。赤の実線は本論による解を、黒の実線はモード解析法を用いて得られた結果を示している。図-4の場合と同じく、 $n_2/n_1 \geq 2$ の範囲では両者の結果は殆ど一致していると云ってもよい。また、 n_θ/n_y が0.7~1.25の範囲では、 μ_a は不規則に振動しながら全体として大きくなり $\mu = 0.01$ に近付いている。

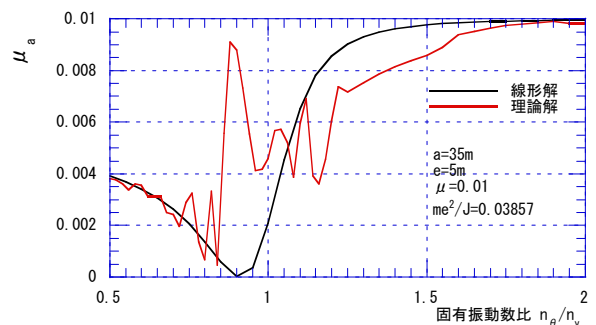


図-5 最適動特性 μ_a