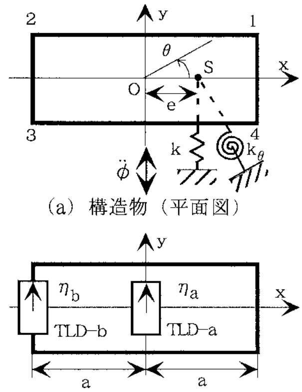
Ｉ－Ｂ474　振れを伴う構造物に設置したＴＬＤの最適動特性値

正会員　高 西　照 彦
大分工業高等専門学校　正会員　園 田　敏 矢



（ｂ）TLDの設置

図-１ TLD－構造物系

１.まえがき

重心と剛心とが異なる構造物が水平方向の地震入力を受けたときには，水平振動のみならず捩れ振動をも生ずる．このような構造物に対する制震対策として，２種類の同調液体ダンパー（TLD）を用いて，それぞれ主として水平振動及び捩れ震動を制震するとき，それらダンパーの最適動特性値（最適振動数比，最適減衰定数，２種類の TLD の質量比）を合理的に定める問題について考える．１自由度系構造物に設置された制震装置に対する最適動特性値の決定方法については，既に良く知られているが，２自由度以上の構造物に対するそれを取り扱った論文は余り多くないようである[1),2)]．図－１に示すように，剛心がｘ軸方向のみにずれている２自由度系構造物が，ｙ方向の地震入力を受けた場合，構造物のｙ方向最大変位は隅角部の点１或いは２において生じる．本論では，構造物の有効質量に対する TLD の総質量の比が一定であるという条件の下に，点１と２の加速度の最大値が等しくなるように２種類の TLD の動特性値を定める方法について述べる．

２．TLD の最適動特性値

図－１(a)に示す構造物の重心Oのｙ方向変位をy，回転角をθとし，ｓ次の基準座標をξ_S,振動形をY_S, Θ_S($s=1,2$) とすれば，ｙ方向の地震入力加速度$\ddot{\phi}(t)$を受ける TLD－構造物系の振動方程式は次のように表される．

$$y=\sum_{S=1}^{2}\xi_S Y_S, \qquad \theta=\sum_{S=1}^{2}\xi_S\Theta_S \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1a,b)$$

$$\ddot{\xi}_S+2h_S\omega_S\dot{\xi}_S+\omega_S^2\xi_S=Q_S/M_S \quad \cdots\cdots \quad (2). \qquad M_S=mY_S^2+J\Theta_S^2, \quad (s=1,2) \quad \cdots\cdots \quad (3)$$

ここに，m, J, ω_S, h_Sは構造物の質量，重心回りの慣性モーメント，ｓ次の固有円振動数，減衰定数である．また，Q_Sはｓ次の一般力で，次式のように表される．

$$Q_S=-m\ddot{\phi}Y_S+m_a(2h_an_a\dot{\eta}_a+n_a^2\eta_a)Y_S+m_b(2h_bn_b\dot{\eta}_b+n_b^2\eta_b)(Y_S-a\Theta_S) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

ここに，m_a, h_a, n_a及びm_b, h_b, n_bは TLD－ａ及びｂの等価質量，減衰定数，１次の固有円振動数（TLD については１次のみを採用）であり，ａは点Oと TLD－ｂ間の距離である．また，η_a, η_bは TLD－ａ,ｂの基準座標であり，それぞれ次の方程式を満たす．

$$\ddot{\eta}_a+2h_an_a\dot{\eta}_a+n_a^2\eta_a=-\ddot{\phi}-\sum\ddot{\xi}_S Y_S \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5)$$

$$\ddot{\eta}_S+2h_bn_b\dot{\eta}_b+n_b^2\eta_b=-\ddot{\phi}-\sum\ddot{\xi}_S(Y_S-a\Theta_S) \quad \cdots\cdots\cdots \quad (6).$$

$\ddot{\phi}$が与えられれば，式(１)～(６)から構造物の地震応答を求めることができる．いま，図－１(ａ)の点１,２におけるｙ方向の絶対変位に注目すれば，それは次式によって求められる．

$$y_1^*=y+a\theta+\phi, \qquad y_2^*=y-a\theta+\phi \quad \cdots\cdots \quad (7a,b)$$

さて，構造物の減衰は小さいとして，これを無視した場合について，点１,２における動的応答倍率曲線を求めるために，

$$\phi=\phi_0e^{i\omega t}, \qquad \xi_S=\Gamma_Se^{i\omega t}, \qquad \eta_S=\Psi_Se^{i\omega t} \quad \cdots\cdots \quad (8)$$

とおいて，式(２),(５)～(７)に代入すれば，Γ_Sに関する２元連立方程式が得られる．

$$D(\omega)\,\Gamma=\phi_0F(\omega) \quad \cdots\cdots \quad (9).$$

それを解けば，動的応答倍率が

$$DMF_1(\omega)=\left|y_1^*/\phi\right|, \qquad DMF_2(\omega)=\left|y_2^*/\phi\right| \quad \cdots\cdots\cdots \quad (10a,b)$$

のように求められる．本論では，上式を用いて，次のようにして TLD の最適動特性値を求めた．

（ａ）$n_y=\sqrt{k/m}$，$n_\theta=\sqrt{k_\theta/J}$として,本論では $n_\theta>n_y$の場合を考えると，構造物の１次振動においては，点２の加速度が最大になる場合が多いので，構造物の１次の振動数近傍の応答倍率曲線について，

キーワード：TLD，制震,２自由度系，最適動特性値．
連絡先：〒805-0035　北九州市八幡東区山路２丁目４－８．　℡ 093-652-0994．

$\omega_1 \cong n_a$, $\omega_2 \cong n_b$, $\omega_2/\omega_1 >> 1$の関係が成立するとし，さらに，ωについてはω_1の近傍のみを考えるとすれば，式(１０ｂ)はωの有理関数として表される．この式には２次振動の影響が剛性の増加という形で近似的に含まれている．式(１０ｂ)の曲線は定点A_1, A_2を有するから，この点の座標値がω_1に近いという近似を採用すれば，あとは，式(１０ｂ)を用いて１自由度系の場合と同様にして，最適振動数比ν_a,減衰定数h_aの表示式を求めることができる．

（ｂ）構造物の２次振動数近傍については，ωについてω_2の近傍のみを考えるとして，式(１０ａ)を用いて，この曲線が定点B_1, B_2を通ることを利用すれば，（ａ）の場合と同様にしてν_b, h_bの表示式を求めることができる．このとき式中には，１次振動の影響が慣性力の形で近似的に含まれている．

（ｃ）最適質量比m_b/m_aは式(１０)より　$DMF_1(B_2) = DMF_2(A_2)$　……　(11)　を用いて定めた．ν_a, ν_b, h_a, h_bの表示式はm_b/m_aを含み，m_b/m_aの表示式にはν_a, ν_b, h_a, h_bが含まれているので，最適値を定めるには，まず，m_b/m_aの値を仮定してν_a, ν_b, h_a, h_bを算出し，これらの値を用いてm_b/m_aを求める．得られた値が初めに仮定した値と必要な精度内に収まっていれば，求める最適動特性値が得られたことになる．もしそうでなければ，改めてm_b/m_aの値を仮定仕直して繰り返し計算を行う．

３．数値解析結果並びに検討　数値解析例として，構造物の有効質量$m = 2.0276 \times 10^4$ t,有効慣性モーメント$J = 1.3142 \times 10^7$ tm²,ばね定数$k = 8.6376 \times 10^4$ kN/m,回転ばね定数$k_\theta = 7.987 \times 10^7$kNm/rad, TLDの構造物に対する全質量比は$\mu = 0.01$とし，さらに，偏心距離はe=5m,重心ＯとTLD－ｂ間の距離はa=35mの場合の計算結果を示す．このとき$\omega_2/\omega_1 = 1.29$となる．図－２はTLDが最適動特性値を取るときの構造物の隅角部における動的応答倍率曲線を示したものである．このときの最適値はν_1=0.9912, ν_2=0.9967, h_1=0.0527, h_2=0.0223, $m_2/m_1 = 0.174$（したがって，TLD－ａの構造物に対する質量比は$\mu_a = 0.00852$となる）である．

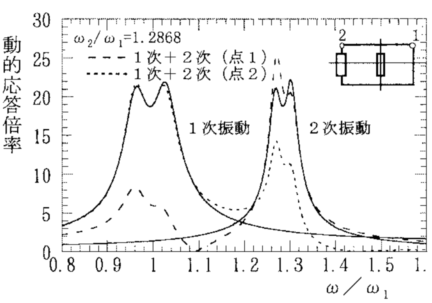


図-２ 構造物の隅角部における動的応答倍率

隅角部の応答倍率曲線は，一般に４つのピークを有する．したがって，これら４つのピーク値が等しく，それらが最小値を取るようにTLDの動特性値を選ぶことが理想的である．$\omega_2/\omega_1 \geq 2$の場合には，構造物の振動をモード分解して，各モード毎に１自由度系に対する理論を適用すれば，前述の理想に極めて近い制震装置の最適動特性値が得られる．本論の計算例における$\omega_2/\omega_1 = 1.29$の場合は，本理論の適用限界におけるそれを示すもので，図－２に見るように，４つのピークは必ずしも同じ値にはなっていないが，これら４つのピーク値の差はそれほど大きくはなく，実用的には許容できる範囲であるといえよう．

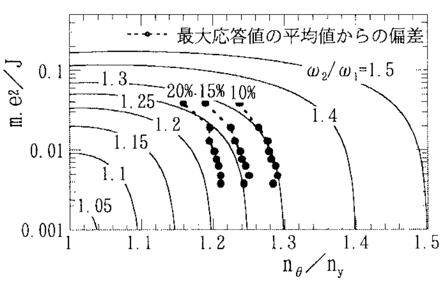


図-３ 構造物の固有振動数比の等高線と最大応答値の平均値からの偏差の最大値

本論の近似解の適用限界を明らかにするために，応答倍率曲線の４つのピーク値の平均値に対する各ピーク値の偏差の最大値の割合を，横軸にn_θ/n_yをとり，縦軸にme^2/Jをとって示したのが図－３中の●印である．平均値からの偏差に対して１０％程度の誤差を許せば，本論の近似解の適用限界は$\omega_2/\omega_1 \geq 1.3$の範囲であるといってもよいであろう．なお，図－３の実曲線は，構造物の固有振動数の比ω_2/ω_1の値を一定値に固定としたときのn_θ/n_yとme^2/Jとの関係を表したものである．

1) 背戸一登：動吸振器による多自由度系の制振（第１報），日本機会学会論文集（Ｃ編）．５０巻４５８号．昭５９．１０．
2) G.B.Warburton:Optimum absorber parameters for minimizing vibration response,Earthq.Eng.and Str.Dyn.,vol.9(1981).