

I - 5 多層構造物の防振についての研究

東北工業大学 正 高橋龍夫
東北工業大学 正〇山田俊次

まえがき

昨今、土木あるいは建築の分野を問わず構造物の防振（制振、免振）対策として、動吸振器（TMD）に代表される防振装置の研究がさかに行なわれ、実際の構造物への適用例も見られるようになった。本研究は、従来の振り子型動吸振器に改良を加えた装置を提案し、この装置を多層構造物へ適用する場合の導入部として、運動方程式を導き、更に2層の模型実験を行ない、そのデータを提示したものである。

改良型振り子式TMD

図-1は改良型振り子式TMDの概略図を示したものである。質量の位置を変化させて、装置の振動周期を変化させる形式であるから、質量の取り付け方法は必ずしも図示された方法に限らない。しかし、粘性抵抗力を加える装置は、直接型粘性ダンパーあるいは粘性ダッシュポットと呼ばれるような速度比例型の抵抗力を発生させるものでなくてはならない。

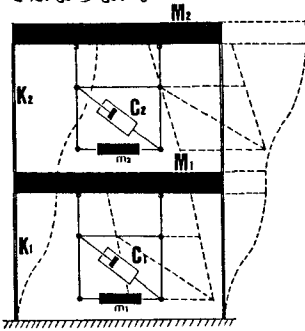


図-3

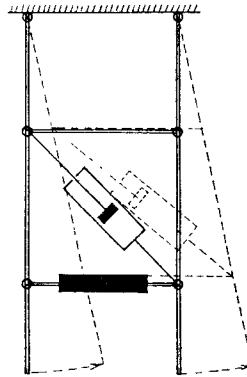


図-1

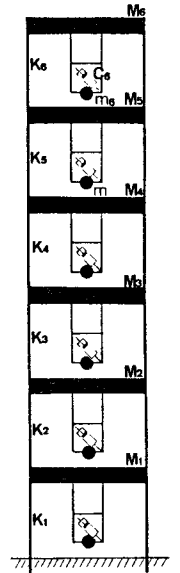


図-2

運動方程式

図-2に示されるように、質量 M_i 、バネ係数 K_i 、をもつ各層に各々、TMD (m_i, c_i) が取り付けられているものとすれば各層毎に次の2つの運動方程式が成立する。

$$M_i \ddot{x}_i + K_i (x_i - x_{i+1}) + K_{i+1} (x_i - x_{i+1}) + C_i (\dot{x}_i - \dot{y}_i) - m_i g \left(\frac{y_i - x_i}{l_i} \right) = 0 \quad \text{①}$$

$$m_i \ddot{y}_i + C_i (\dot{y}_i - \dot{x}_i) + m_i g \left(\frac{y_i - x_i}{l_i} \right) = 0 \quad \text{②}$$

但し、地震等の外力が作用した場合には、この項を加えればよく、n層であれば2n個の方程式を連立させればよい。(x:各層の水平変位、y:振り子の質量の水平変位、 l_i :振り子の腕の長さ、g:重力の加速度、 m_i :振り子の質量)

今、この式を図-3に示される2層の構造へ適用すると、次の4式を得る。

$$\ddot{x}_1 + \omega_1^2 x_1 + \gamma \omega_1^2 (x_1 - x_2) + \frac{2\beta_1 \omega_{1P}}{m_{11}} (\dot{x}_1 - \dot{y}_1) + \frac{\omega_{1P}^2}{m_{11}} (y_1 - x_1) = 0 \quad \text{③}$$

$$\ddot{y}_1 + 2\beta_1 \omega_{1P} (\dot{y}_1 - \dot{x}_1) + \omega_{1P}^2 (y_1 - x_1) = 0 \quad \text{④}$$

$$\ddot{x}_2 + \omega_2^2 (x_2 - x_1) + \frac{2\beta_2 \omega_{2P}}{m_{22}} (\dot{x}_2 - \dot{y}_2) + \frac{\omega_{2P}^2}{m_{22}} (y_2 - x_2) = 0 \quad \text{⑤}$$

$$\ddot{y}_2 + 2\beta_2 \omega_{2P} (\dot{y}_2 - \dot{x}_2) + \omega_{2P}^2 (y_2 - x_2) = 0 \quad \text{⑥}$$

$$\text{但し、 } \omega_i = \sqrt{\frac{K_i}{M_i}} \quad \omega_{1p} = \sqrt{\frac{g}{l_i}} \quad m_{11} = \frac{M_1}{m_2} \quad m_{22} = \frac{M_2}{m_2}$$

$$\gamma = \frac{M_2}{M_1} \quad \beta_i = \frac{C_{ci}}{C_i} \quad (\text{Cci:Critical D.C.})$$

③～⑥式より振動数方程式は次のような複素行列式で表される。

$$\begin{vmatrix} 0 & a_{12} & 0 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & 0 & a_{24} \\ a_{31} & 0 & a_{33} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 0 \end{vmatrix} = 0$$

$$a_{12} = -2\beta_2 \omega_{2p} s - \omega_{2p}^2, \quad a_{14} = s^2 + 2\beta_2 \omega_{2p} s + \omega_{2p}^2, \quad a_{21} = -\omega_2^2$$

$$a_{22} = s^2 + \frac{2\beta_2 \omega_{2p}}{m_{22}} s + \omega_2^2 - \frac{\omega_{2p}}{m_{22}}, \quad a_{33} = s^2 + 2\beta_1 \omega_{1p} s + \omega_{1p}^2$$

$$a_{24} = \frac{2\beta_2 \omega_{2p}}{m_{22}} s + \frac{\omega_{2p}^2}{m_{22}}, \quad a_{31} = -2\beta_1 \omega_{1p} s - \omega_{1p}^2, \quad a_{42} = -\gamma \omega_1^2$$

$$a_{41} = s^2 + \frac{\beta_1 \omega_{1p}}{m_{11}} s + \omega_1^2 (1 + \gamma) + \frac{\omega_{1p}^2}{m_{11}}, \quad a_{43} = -\frac{2\beta_1 \omega_{1p}}{m_{11}} s - \frac{\omega_{1p}^2}{m_{11}}$$

模型実験

$M_1 \cdot g = M_2 \cdot g = 300\text{kg}$, 1次円振動数 $\omega_1 = 4.14$, の2層の模型に質量比 $m/M=1/100$ の質量を持つ改良型振り子式TMDを取り付け粘性抵抗係数を $C=2.28\text{g}\cdot\text{sec}\cdot\text{cm}^{-1}$ とした場合の制振実験値を図-4に示す。縦軸は2層構造模型の1次の減衰振動における対数減衰率をとり、横軸には2層構造模型の振動数とTMDの振動数の比 (ω/ω_p) がとってある。図中、▲印は2階部にのみTMDを取り付けた場合、△印は、1階部にのみTMDを取り付けた場合である。質量比が1/100程度でもtuningさえ適切にすれば、大きな制振能力を発揮していることがわかる。

振り子式TMDの固有振動数

振り子式TMDの振動数は、振り子の腕の長さLの1/2乗に逆比例し、短い周期を持つTMDの制作が困難である。この欠点を補うため当東北工大では更に改良した振り子型式TMDを開発中である。

参考文献

高橋龍夫他：剪断変形型振り子ダンパーの防振効果について、土木学会東北支部講演概要1988
 高橋龍夫他：塔状構造物の防振に関する考察、土木学会年次学術講演概要1984
 高橋龍夫他：橋梁主塔用防振器の主構造への応用1986

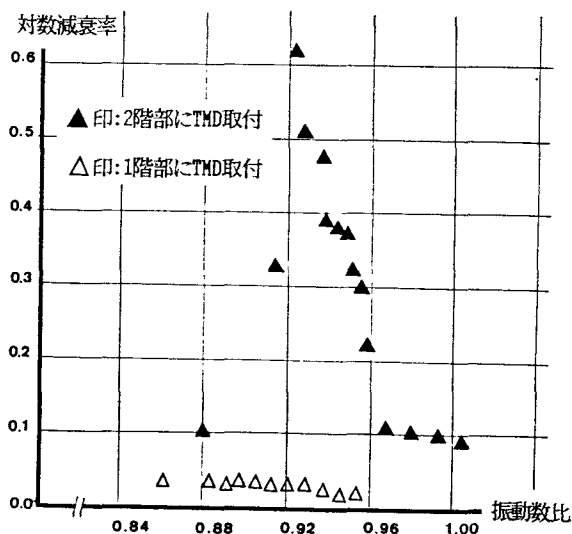


図-4