

I - B158

構造物の揺れ振動成分に対する MTLD の制振効果

大分工業高等専門学校 正会員 園田 敏矢
 九州工業大学工学部 正会員 高西 照彦
 同上 正会員 多田 浩

1. まえがき

近年、超高層ビルやタワー等が数多く建設されているが、それらが強い地震や風を受けると大きな揺れを生じる。この揺れを軽減する目的で当該構造物に液体の動揺振動を利用した同調液体ダンパー (TLD) が設置されることがある。TLD はその内容液の動揺振動の固有周期を構造物のそれに同調させることによって制振効果を発揮する装置であるから、構造物が並進振動をしているような場合についてはその制振効果を期待できるが、重心と剛心とが一致せず、構造物に揺れ振動が生ずるような場合には一般に並進と揺れ振動とが生じ両者の固有周期が異なるので、TLD の制振効果が期待できず、場合によってはそれは揺れ振動を助長するように働くことが有り得ることも考えられる。本論は構造物の揺れ振動成分を抑制するためにマルチプル TLD (以降 MTLD という) を利用することを考えて、簡単な振動モデルを用いた数値解析によって、MTLD の制振効果を明らかにすることを目的としている。

2. 構造物 - TLD 系の振動解析理論

簡単のため、構造物を図-1(a) に示すように水平2方向と回転の1質点3自由度を有する振動系にモデル化した場合について考える。同図中 O は重心、S は剛心の位置を表す。この構造物に図-1(b) に示すように TLD (T_i) を設置する。図-1の構造物-TLD系が x, y 方向に $\ddot{\varphi}_x(t), \ddot{\varphi}_y(t)$ の地震加速度を受けたときの振動方程式は次式のように表される。

$$m\ddot{x} + c_x\dot{x} + k_x x = -m\ddot{\varphi}_x + c_x e_y \dot{\theta} + k_x e_y \theta + \sum_{i=1}^N \{c_{\xi i} \dot{\xi}_i + k_{\xi i} \xi_i\} \quad (1)$$

$$m\ddot{y} + c_y\dot{y} + k_y y = -m\ddot{\varphi}_y - c_y e_x \dot{\theta} - k_y e_x \theta + \sum_{i=1}^N \{c_{\eta i} \dot{\eta}_i + k_{\eta i} \eta_i\} \quad (2)$$

$$J_\theta \ddot{\theta} + c_\theta \dot{\theta} + k_\theta \theta = c_x e_y \dot{x} + k_x e_y x - c_y e_x \dot{y} - k_y e_x y - (c_x e_y^2 + c_y e_x^2) \dot{\theta} - (k_x e_y^2 + k_y e_x^2) \theta - \sum_{i=1}^N \{c_{\xi i} y_i \dot{\xi}_i + k_{\xi i} y_i \xi_i - c_{\eta i} x_i \dot{\eta}_i - k_{\eta i} x_i \eta_i - c_{\phi i} \dot{\phi}_i - k_{\phi i} \phi_i\} = 0 \quad (3)$$

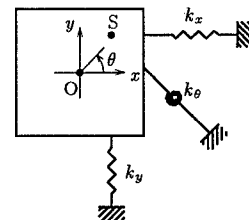
$$m_{\xi i} \ddot{\xi}_i + c_{\xi i} \dot{\xi}_i + k_{\xi i} \xi_i = -m_{\xi i} \ddot{\varphi}_x - m_{\xi i} \ddot{x} + m_{\xi i} y_i \ddot{\theta} \quad (4)$$

$$m_{\eta i} \ddot{\eta}_i + c_{\eta i} \dot{\eta}_i + k_{\eta i} \eta_i = -m_{\eta i} \ddot{\varphi}_y - m_{\eta i} \ddot{y} - m_{\eta i} x_i \ddot{\theta} \quad (5)$$

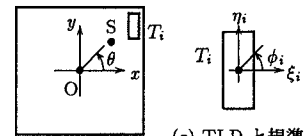
$$J_{\phi i} \ddot{\phi}_i + c_{\phi i} \dot{\phi}_i + k_{\phi i} \phi_i = -J_{\phi i} \ddot{\theta} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (6)$$

上式で式(1)~(3)は構造物の、式(4)~(6)はTLD (T_i) の振動方程式である。また、 m, J_θ は構造物の質量、慣性モーメント、 $c_x, k_x, c_y, k_y, c_\theta, k_\theta$ は構造物の x, y, θ 方向の減衰係数、バネ定数であり、 $m_{\xi i}, c_{\xi i}, k_{\xi i}, m_{\eta i}, c_{\eta i}, k_{\eta i}, J_{\phi i}, c_{\phi i}, k_{\phi i}$ はTLD (T_i) を等価振動系で表したときの ξ_i, η_i, ϕ_i 方向の等価質量、等価減衰係数、等価バネ定数である。 N はTLDの個数である。

$\ddot{\varphi}_x(t)$ 及び $\ddot{\varphi}_y(t)$ が与えられれば、式(1)~(6)から図-1に示す構造物-TLD系の時刻歴応答を求めることができる。



(a) 構造物の振動モデル (平面図)



(b) TLDを設置した構造物の振動モデル

図1: 構造物-TLD系の振動モデル

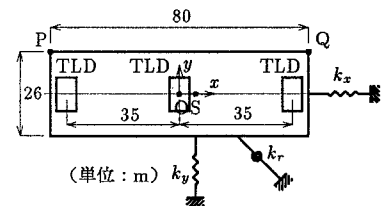


図2: 超高層ビル (47階) の振動モデル

3. 数値計算結果及び考察

計算対象としては47階の超高層ビルを選び、これを図-1(a)のように3自由度系にモデル化した。モデルの大きさは図-2に示す通りである。このとき、 $m = 1.0967 \times 10^6 \text{ kg}$ 、 $J = 6.4667 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 、 $k_x = 4.5052 \times 10^6 \text{ N/m}$ 、 $k_y = 2.3415 \times 10^6 \text{ N/m}$ 、 $k_\theta = 2.3443 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$ であり、減衰定数は $h_x = 1.8\%$ 、 $h_y = 0.5\%$ 、 $h_\theta = 1.1\%$ とした。また、 N 個のTLDの等価質量と構造物の質量比 μ は0.01とした。このときのTLDと構造物の固有振動数比 γ およびTLDの減衰定数 h は次式によって与えられる値を用いる。

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1+\mu}} = 0.995, \quad h = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu/2)}} = 0.061 \quad (7)$$

TLDの配置としてはCASE-1、CASE-2の2種類を考えた。CASE-1ではTLDの長手方向の固有周期を構造物の1次（ y 方向）振動のそれに同調させ、図-2に示すように両端に配置した。そのTLDの大きさは長手方向1.769m、短手方向1.238m、水深6.5cmとし、個数は $N=48$ 個 $\times 2$ 箇所とした。CASE-2では、半数はTLDの長手方向の固有周期を構造物の3次（ θ 方向）振動のそれに同調させ両端に13個ずつ配置し、残りの半数はCASE-1と同じものを用いて中央に48個配置した。CASE-2で両端に配置したTLDはCASE-1と同じ大きさで水深を12.5cmとした。TLDの減衰定数はCASE-1、2共、 $h_{\xi i} = h_{\eta i} = h_{\phi i} = 0.061$ とした。TLDの等価質量と等価バネ定数は著者らの示した式¹⁾を用いて算出した。式(1)~(6)において $\ddot{\varphi}_x(t) = 0$ 、 $\ddot{\varphi}_y(t) = \omega^2 \varphi_{0y} e^{i\omega t}$ 、偏心距離 $e_x = 5\text{m}$ とおき、振動モデルに対する共振曲線を求めた。得られた結果を図-3, 4, 5に示す。それぞれ、重心（O点）、構造物の左上（P点）、構造物の右上（Q点）の y 方向応答を示している。太い実線はCASE-2の場合、太い破線はCASE-1の場合、細い破線は構造物だけの場合である。図の横軸は、加振円振動数を構造物の y 方向固有円振動数で割った無次元量で、縦軸は構造物の y 方向絶対変位を入力変位で割った無次元量である。図-6, 7は、それぞれ1, 3次の共振点における構造物の応答変位図を示したものである。これらの結果より、3次ではCASE-2（MTLD）の方が制振効果大きい、1次では逆に小さくなっている。これは、1次振動に同調する構造物中央に設置したTLDの質量比が小さすぎたためと考えられる。現在、構造物の両端と重心とに配置するTLDの配分割合について検討中である。

1) 高西照彦他：2方向入力を受けるTLD付き3層ラーメン模型の応答特性、構造工学論文集 Vol.42A, 1996.3.

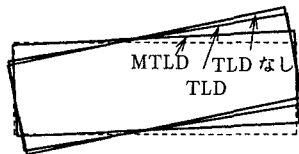


図 7: 3 次の共振点における応答変位図

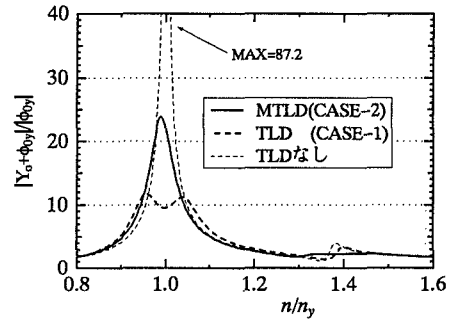


図 3: 構造物重心の共振曲線

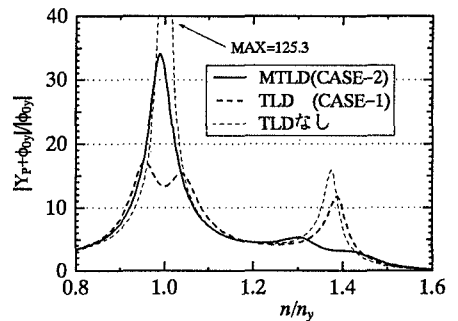


図 4: 構造物左上（P点）の共振曲線

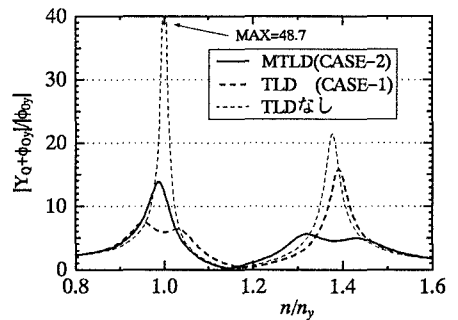


図 5: 構造物右上（Q点）の共振曲線

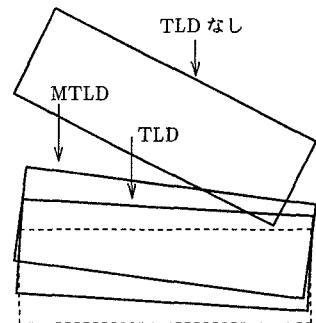


図 6: 1 次の共振点における応答変位図