

I - B 468

超高層ビルの揺れ振動に同調する付加 TLD の制振効果

大分工業高等専門学校 正会員 園田 敏矢

正会員 高西 照彦

九州工業大学工学部

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体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。一般に、構造物の重心と剛心が一致する場合は、水平方向に同調した TLD を設置すれば制振効果を期待できるが、構造物の重心と剛心が一致しない場合は、揺れ振動の影響が無視できなくなり、水平方向に同調した TLD だけでは揺れを軽減できない場合も考えられる。著者らは、前論¹⁾で x 及び y 方向に偏心した構造物が斜め方向から入力加速度を受けた場合の揺れ (θ 方向) 振動を抑制することを目的として、マルチプル TLD（以降 MTLD という）を利用することを提案してその制振効果について述べた。制振効果に影響を及ぼすパラメーターとしては、構造物系の 1 次と 2 次の固有振動数に対する MTLD の振動数比、構造物系及び MTLD の減衰定数、構造物の質量に対する MTLD の質量比、MTLD 相互の質量比、構造物系の偏心率、構造物系の 1 次と 2 次の固有振動数比、MTLD の設置位置等が考えられる。本論は、構造物系の揺れ振動を制振するために新たに TLD を設置する必要があるかどうかについての判断をする基準となる条件を、上記の各パラメーターの値を用いて明らかにすることをその目的としている。本論では、まず、偏心距離及び構造物の揺れ振動の減衰定数 h_θ が MTLD の制振効果に与える影響について検討を行った。

2. 数値計算結果及び考察

構造物を図-1(a) に示すように水平方向 y と回転 θ の 1 質点 2 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。この構造物系にそれぞれ図-1(b) 及び (c) に示すように TLD を設置した場合について、構造物系に対する TLD の制振性について検討する。CASE-1 は構造物系のスウェイ振動に同調する TLD-A を設置した場合、CASE-2 は揺れ振動に同調する TLD-B を同時に設置した場合である。

TLD-A, B の設置位置の座標はそれぞれ $(x_1, 0), (x_2, 0)$ とするが、今回、TLD-A は原点に設置しているので $x_1 = 0$ となる。図-1 の構造物-TLD 系が y 方向に $\ddot{\phi}(t)$ 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。

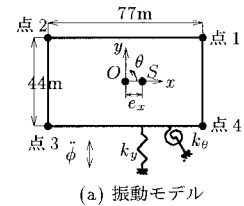
$$m\ddot{y} + c_y\dot{y} + c_y e_x \ddot{\theta} - c_{\eta 1} \dot{\eta}_1 - c_{\eta 2} \dot{\eta}_2 + k_y y + k_y e_x \theta - k_{\eta 1} \eta_1 - k_{\eta 2} \eta_2 = -m\ddot{\phi} \quad (1)$$

$$J\ddot{\theta} + c_y e_x \dot{y} + (c_\theta + c_y e_x^2) \ddot{\theta} - c_{\eta 1} x_1 \dot{\eta}_1 - c_{\eta 2} x_2 \dot{\eta}_2 + k_y e_x y + (k_\theta + k_y e_x^2) \theta - k_{\eta 1} x_1 \eta_1 - k_{\eta 2} x_2 \eta_2 = 0 \quad (2)$$

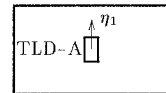
$$m_{\eta 1} \ddot{y} + m_{\eta 1} x_1 \ddot{\theta} + m_{\eta 1} \dot{\eta}_1 + c_{\eta 1} \dot{\eta}_1 + k_{\eta 1} \eta_1 = -m_{\eta 1} \ddot{\phi} \quad (3)$$

$$m_{\eta 2} \ddot{y} + m_{\eta 2} x_2 \ddot{\theta} + m_{\eta 2} \dot{\eta}_2 + c_{\eta 2} \dot{\eta}_2 + k_{\eta 2} \eta_2 = -m_{\eta 2} \ddot{\phi} \quad (4)$$

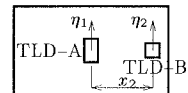
上式で式 (1), (2) は構造物の、式 (3), (4) はそれぞれ TLD-A 及び B の振動方程式である。計算対象としては 36 階の超高層ビルを選び、これを図-1(a) に示すように 2 自由度系にモデル化した。ビルの高さは 147m、



(a) 振動モデル



(b) CASE-1



(c) CASE-2

図1: 超高層ビル (36 階)

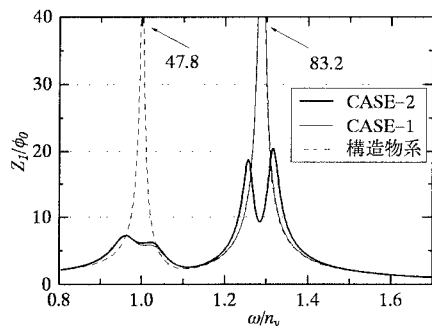


図2: 点1の共振曲線

(e_x = 5.0 m, h_θ = 0.003)

床面積は $44\text{m} \times 77\text{m}$ 、総質量は 59598t である。また、構造物の有効質量 $m=2.0276 \times 10^4\text{t}$ 、有効慣性モーメント $J=1.3142 \times 10^7\text{t}\cdot\text{m}^2$ 、構造物の y 方向の減衰係数 $h_y=0.006$ 、構造物の y 方向のバネ定数 $k_y=8.6376 \times 10^4\text{kN/m}$ 、構造物の θ 方向のバネ定数 $k_\theta=7.9870 \times 10^7\text{kN}\cdot\text{m/rad}$ である。 $m_{\eta 1}, m_{\eta 2}, c_{\eta 1}, c_{\eta 2}, k_{\eta 1}, k_{\eta 2}$ はそれぞれ TLD を等価振動系で表したときの η_1, η_2 方向の等価質量、等価減衰係数、等価バネ定数である。TLD の等価質量と等価バネ定数は著者らの示した式²⁾を用いて算出した。また、全 TLD の等価質量と構造物の質量の比 μ は 0.01 とした。TLD-A の減衰定数 h_A は TLD-A と構造物の質量比 μ_A を次式に代入して与えられる値を用いた。TLD-B の減衰定数 h_B も同様に求めた値を用いた。

$$h_A = \sqrt{3\mu_A/8(1+\mu_A/2)} \quad (5)$$

数値計算は構造物系の場合及び CASE-1 と CASE-2 の 3 種類について行った。構造物の θ 方向の減衰定数 h_θ は $0.003, 0.006, 0.009, 0.012, 0.015$ の 5 種類、 x 方向の偏心距離 e_x は $1.67, 3.33, 5.0\text{m}$ の 3 種類とした。このとき、偏心率 e'_x はそれぞれ $0.055, 0.110, 0.164$ となる。なお、偏心率 e'_x は建築基準法施行令より次式で与えられる。

$$e'_x = e_x/r_x, \quad r_x (\text{回転半径}) = \sqrt{k_\theta/k_y} \quad (6)$$

構造物系の 1 次と 2 次の固有振動数比は e_x の値に応じて $1.206 \sim 1.287$ となる。TLD-A の固有振動数は、重心位置における構造物系の 1 次の共振振動数付近に存在する構造物-TLD 系の共振曲線の 2 つのピーク値が等しくなるように定めた。また、TLD-B の固有振動数は構造物系の 2 次の共振振動数付近に存在する構造物-TLD 系の共振曲線の 2 つのピーク値が等しくなるように定めた。CASE-2 における TLD-A と TLD-B の質量比は上記の 4 つのピーク値が等しくなるように定めた。図-2 に $h_\theta=0.003$ 、 $e_x=5.0\text{m}$ の場合の図-1(a) の点 1 の共振曲線を示す。太い実線は CASE-2、細実線は CASE-1 の場合、細破線は構造物系の場合である。図の横軸は、構造物系の 1 次の固有円振動数に対する加振円振動数の比、縦軸は入力変位振幅に対する点 1 の y 方向絶対変位振幅である。同図の $\omega/n_y=1.3$ 付近における細実線と太実線との比較から、TLD-B の設置が有効なことが判る。図-3 は e_x をパラメータとして、 h_θ の値によって TLD-B の有効性がどのように変わるかを示した図であり、図-4, 5 は h_θ をパラメータとして、 e_x の値によって TLD-B の有効性がどのように変わるかを示した図である。上図の縦軸にはいずれも構造物系の 1 次の共振点付近に存在する構造物-TLD 系の共振曲線の大きい方のピーク値に対する構造物系の 2 次のそれとの比を採っている。同図において、同じ h_θ 或いは e_x の値における黒塗り印 (CASE-1) と白抜き印 (CASE-2) の値の比の大きさが、TLD-B の有効性の大きさを示しているといえよう。白抜き印 (CASE-2) の値が 1 に等しいときは TLD-A と TLD-B とが共に理想的に働いていることを示しており、その値が 1 より大きいときには TLD-B の利きを、1 より小さいときは TLD-A の利きを新に増大させるように配慮すべきことを示唆していることになる。

【参考文献】1) 園田敏矢他：超高層ビルの振れ振動に対する MTLTD の制振性、土木学会西部支部研究発表会、1998.3.
2) 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.

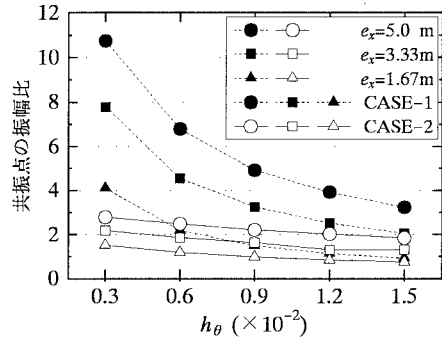


図 3: 点 1 における共振点の振幅比 ($h_y=0.006$)

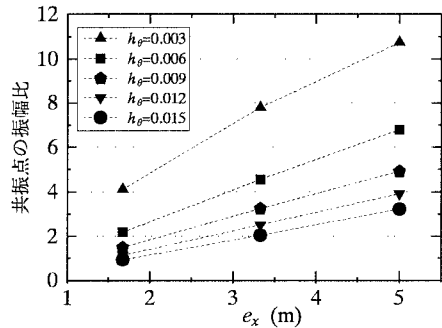


図 4: 点 1 における共振点の振幅比 (CASE-1)

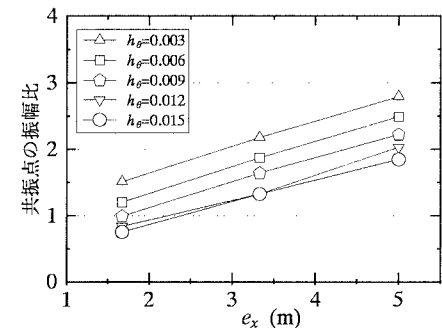


図 5: 点 1 における共振点の振幅比 (CASE-2)