

## (219) 2方向地震入力を受けるTLD付き構造物の制振特性

九州共立大学 工学部 小坪清真  
九州工業大学 工学部 ○高西照彦  
九州工業大学 工学部 多田 浩  
九州共立大学 工学部 成富 勝

1. まえがき 近年、長大橋梁の主塔や高層建築物、あるいは高いタワーなどに、同調液体ダンパー（TLD）と呼ばれる制振装置を設置することによって、当該構造物の地震や風に対する振動を低減しようとする試みがなされ始めており、既にいくつかの実用例がある。従来、TLDの構造物に対する制振性については、当該構造物の第1次の水平振動のみが取り上げられて、それについて理論的、実験的検討がなされてきた。しかし、地震入力は水平2方向、上下方向の3成分を有するので、ここでTLD付き構造物の水平2方向入力に対する制振性に関して検討を加えておくことも、無駄なことではないと考えられる。本論では、まず長方形TLDが、図-1に示すように、それぞれx, y, z軸に平行に及び各軸まわりに振動する場合に対してその等価振動系を示し、つぎに、図-2に示すように、TLDを設置した高層建築物が地震入力をうけたときの振動方程式を求め、これに振動形解析法を適用することによって、構造物の各振動形に応じてその地震応答を求めることができるように、規準座標に関する振動方程式を導いた。さらに、図-2に示すように、TLDを設置した高層建築物が直角2方向の入力をうけた場合について、構造物の定常及び非定常応答（地震応答）を求めて、2方向に振動するTLDが、高層建築物の制振性に及ぼす影響に関する検討を行った。

### 2. TLDに対する等価振動系 2.1 動揺振動モードに対する等価振動系

図-1に示すような、長さL、奥行きD、水深Hの長方形液体貯槽の自由振動について考える。貯槽は剛であるとし、その内容液は非圧縮、非粘性であり、運動は非回転であると仮定する。さらに、本論では、振動はすべて線形振動である場合を取り扱うことにする。内容液の動水圧を $\sigma$ とすれば、その自由振動に対する基礎方程式は、次式のようになる。

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \sigma}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

境界条件式は、両側壁において、それぞれ次式のように表される。

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} \Big|_{x=-\frac{L}{2}} = \frac{\partial \sigma}{\partial x} \Big|_{x=\frac{L}{2}} = 0, \quad \frac{\partial \sigma}{\partial y} \Big|_{y=-\frac{D}{2}} = \frac{\partial \sigma}{\partial y} \Big|_{y=\frac{D}{2}} = 0 \quad (2)$$

底面と自由表面における境界条件式は、次式の通りである。

$$\frac{\partial \sigma}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, \quad \left( \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2} + g \frac{\partial \sigma}{\partial z} \right) \Big|_{z=H} = 0 \quad (3)$$

上式(1)~(3)を満足する解 $\sigma$ を用いて、壁面動水圧及び壁面動水圧モーメントを求め、等価振動系の理論<sup>1),2)</sup>に従えば、それぞれ水平、上下及び回転振動に対する内容液の等価振動系が、次式に示すように得られる。いまの場合、等価振動系は、それぞれx, y, z方向に完全に分離された形で得られるので、それらは利用するのに便利である。

$$\lambda_{2i-1} = \frac{2i-1}{L} \pi, \quad \mu_{2j-1} = \frac{2j-1}{D} \pi, \quad \kappa_{2i-1,2j-1} = \sqrt{\lambda_{2i-1}^2 + \mu_{2j-1}^2} \quad (4)$$

$$n_{w2i-1}^z = \sqrt{g \lambda_{2i-1} \tanh \lambda_{2i-1} H}, \quad n_{w2j-1}^y = \sqrt{g \mu_{2j-1} \tanh \mu_{2j-1} H}, \quad n_{w2i-1,2j-1}^z = \sqrt{g \kappa_{2i-1,2j-1} \tanh \kappa_{2i-1,2j-1} H} \quad (5)$$

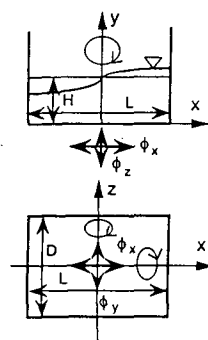


図-1 TLDの振動 (6自由度)

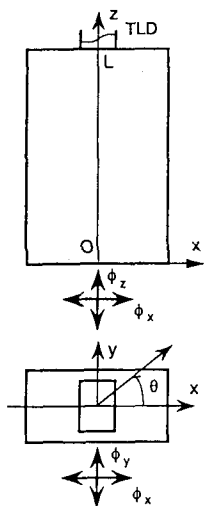


図-2 TLD-高層建築物系

$$m_{w2i-1}^x = 8\rho LDH \left(\frac{H}{L}\right)^2 \frac{\tanh \lambda_{2i-1} H}{(\lambda_{2i-1} H)^3}, \quad m_{w2j-1}^y = 8\rho LDH \left(\frac{H}{D}\right)^2 \frac{\tanh \mu_{2j-1} H}{(\mu_{2j-1} H)^3}, \quad m_{wi}^z = 0 \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} J_{w2i-1}^x &= 8\rho LDH \left(\frac{H^2}{L}\right)^2 \frac{(\lambda_{2i-1} H \tanh \lambda_{2i-1} H - 1 + \frac{2}{\cosh \lambda_{2i-1} H})^2}{(\lambda_{2i-1} H)^5 \tanh \lambda_{2i-1} H} \\ J_{w2j-1}^y &= 8\rho LDH \left(\frac{H^2}{D}\right)^2 \frac{(\mu_{2j-1} H \tanh \mu_{2j-1} H - 1 + \frac{2}{\cosh \mu_{2j-1} H})^2}{(\mu_{2j-1} H)^5 \tanh \mu_{2j-1} H} \\ J_{w2i-1,2j-1}^z &= 64\rho LDH \left(\frac{LD}{H}\right)^2 \left\{ \frac{(\frac{2j-1}{2i-1})^2 - (\frac{D}{L})^2}{(\frac{2i-1}{2i-1})^2 + (\frac{D}{L})^2} \right\}^2 \frac{\kappa_{2i-1,2j-1} H \tanh \kappa_{2i-1,2j-1} H}{\{(2i-1)(2j-1)\pi^2\}^4} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$k_{w2i-1}^x = (n_{w2i-1}^x)^2 m_{w2i-1}^x, \quad k_{w2j-1}^y = (n_{w2j-1}^y)^2 m_{w2j-1}^y, \quad k_{wi}^z = 0 \quad (8)$$

$$k_{w\theta 2i-1}^x = (n_{w2i-1}^x)^2 J_{w2i-1}^x, \quad k_{w\theta 2j-1}^y = (n_{w2j-1}^y)^2 J_{w2j-1}^y, \quad k_{w\theta 2i-1,2j-1}^z = (n_{w2i-1,2j-1}^z)^2 J_{w2i-1,2j-1}^z \quad (9)$$

$$H_{w2i-1}^x = H \left\{ 1 - \frac{\cosh \lambda_{2i-1} H - 2}{\lambda_{2i-1} H \sinh \lambda_{2i-1} H} \right\}, \quad H_{w2j-1}^y = H \left\{ 1 - \frac{\cosh \mu_{2j-1} H - 2}{\mu_{2j-1} H \sinh \mu_{2j-1} H} \right\} \quad (10)$$

上式において、 $n_{w2i-1}^x, n_{w2j-1}^y, n_{w2i-1,2j-1}^z$  は内容液の x, y 方向及び z 軸まわり振動に対する固有円振動数で、下付添字  $2i-1$  等は振動次数を表す(以下同じ)。 $m_{w2i-1}^x, m_{w2j-1}^y, m_{wi}^z$  は x, y, z 方向振動に対する等価質量、 $J_{w2i-1}^x, J_{w2j-1}^y, J_{w2i-1,2j-1}^z$  は x, y, z 軸まわりの回転振動に対する等価慣性モーメント、 $k_{w2i-1}^x$  等は  $m_{w2i-1}^x$  等に対する等価ばね定数である。また、 $H_{w2i-1}^x, H_{w2j-1}^y$  は図-3 に示すように等価質量の作用点の高さである。

## 2. 2 剛振動モードと固定水

長方形液体貯槽が、図-1 に示すように、それぞれ x, y, z 方向及び各軸まわりの調和波入力にもとづく強制振動  $\phi(t) = a \sin \omega t$  をうけた場合について考える。このときの解を  $\bar{\sigma}_0$  とすれば、それらは式(1)の基礎式をそれぞれの振動形式に応ずる境界条件の下で解くことによって得られる。解は  $\bar{\sigma}_0 = -\bar{\Lambda}(x, y, z, \omega) \phi(t)$  の形に書くことができるので、ここで、 $\omega \rightarrow 0$  としたときの  $\bar{\Lambda}$  の極限  $\Lambda$  を用いれば、貯槽内容液の剛振動モードに対する解が  $\sigma_0 = -\Lambda(x, y, z) \phi(t)$  として得られる。この  $\sigma_0$  を用いて壁面動水圧及び壁面動水圧モーメントを算出し、これと 2. 1 の解の内、入力加速度に比例する壁面動水圧及び動水圧モーメントとを加え合わせるによって、内容液の固定水としての等価質量及び等価慣性モーメントを求めることができる。以下にその結果を示す。

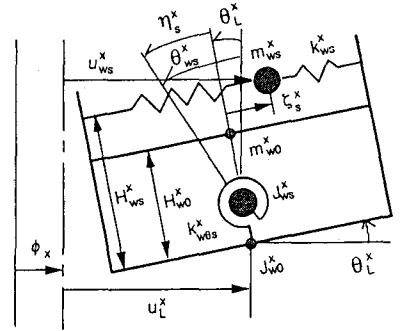


図-3 TLDの等価振動系(x方向)

$$m_{w0}^x = \rho LDH - \sum_{i=1} m_{w2i-1}^x, \quad m_{w0}^y = \rho LDH - \sum_{j=1} m_{w2j-1}^y \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} J_{w0}^x &= 8\rho LDH \left(\frac{H}{L}\right) \left[ \frac{1}{192} \left(\frac{L}{H}\right) \left\{ 5 + \left(\frac{L}{H}\right)^2 \right\} + \sum_{s=1,3,\dots} \left\{ 3 \frac{\tanh \frac{s\pi L}{2H}}{(s\pi)^5} + \frac{H}{L} \frac{2 \cosh \lambda_s H - 1}{(\lambda_s H)^5 \sinh \lambda_s H} \right\} \right] - \sum_{i=1} J_{w2i-1}^x \\ J_{w0}^y &= 8\rho LDH \left(\frac{H}{D}\right) \left[ \frac{1}{192} \left(\frac{D}{H}\right) \left\{ 5 + \left(\frac{D}{H}\right)^2 \right\} + \sum_{s=1,3,\dots} \left\{ 3 \frac{\tanh \frac{s\pi L}{2H}}{(s\pi)^5} + \frac{H}{L} \frac{2 \cosh \mu_s H - 1}{(\mu_s H)^5 \sinh \lambda_s H} \right\} \right] - \sum_{j=1} J_{w2j-1}^y \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$J_{w0}^z = \frac{32\rho H}{\pi^5} \sum_{s=1} \frac{1}{(2s-1)^5} \left\{ L^4 \tanh \frac{\lambda_{2s-1} D}{2} + D^4 \tanh \frac{\mu_{2s-1} L}{2} \right\} - \frac{1}{12} \rho LDH (L^2 + D^2) - \sum_{i=1} \sum_{j=1} J_{w2i-1,2j-1}^z \quad (13)$$

上式で、下付添字 0 が固定水に関する物理量を表している。なお、z 軸方向振動に対する底面動水圧は、貯槽の入力加速度と入力変位に比例する項とから成っている。いま、それを

$$P_{w0}^z = -m_{w0}^z \ddot{\phi}_z - k_{w0}^z \phi_z \text{ と書けば } m_{w0}^z = \rho LDH, \quad k_{w0}^z = \rho LDg \quad (14)$$

## 3. TLD-高層建築物系の振動方程式

図-2 に示すように、TLD-高層建築物系が、x, y, z 方向の地震入力加速度  $\ddot{\phi}_x, \ddot{\phi}_y, \ddot{\phi}_z$  をうけたときの振動方程式は、次式のように書くことができる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_w \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{u}}_s + \ddot{\phi}_s \\ \ddot{\zeta}_w + \ddot{\phi}_w \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{C}_w \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{u}}_s \\ \dot{\zeta}_w \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_w \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_s \\ \zeta_w \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_s \\ \mathbf{F}_w \end{Bmatrix} \quad (15)$$

ここに、 $M_s, C_s, K_s$ は高層建築物をL個の多質点系に置換したときの質量、減衰、剛性行列であり、 $6L \times 6L$ の正方行列である。 $M_w, C_w, K_w$ はTLDの等価振動系に対する質量、減衰、剛性行列で、 $6P$ 個の等価質量を採用した場合には次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} M_w &= \text{diag}(m_{w1}^x \ m_{w1}^y \ 0 \ J_{w1}^x \ J_{w1}^y \ J_{w1}^z \ \cdots \ m_{w2P-1}^x \ m_{w2P-1}^y \ 0 \ J_{w2P-1}^x \ J_{w2P-1}^y \ J_{w2P-1}^z \ J_{w2P_1-1,2P_2-1}^z) \\ C_w &= \text{diag}(C_{w1}^x \ C_{w1}^y \ 0 \ C_{w\theta 1}^x \ C_{w\theta 1}^y \ C_{w\theta 1,1}^z \ \cdots \ C_{w2P-1}^x \ C_{w2P-1}^y \ 0 \ C_{w\theta 2P-1}^x \ C_{w\theta 2P-1}^y \ C_{w\theta 2P_1-1,2P_2-1}^z) \\ K_w &= \text{diag}(k_{w1}^x \ k_{w1}^y \ 0 \ k_{w\theta 1}^x \ k_{w\theta 1}^y \ k_{w\theta 1,1}^z \ \cdots \ k_{w2P-1}^x \ k_{w2P-1}^y \ 0 \ k_{w\theta 2P-1}^x \ k_{w\theta 2P-1}^y \ k_{w\theta 2P_1-1,2P_2-1}^z) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$u_s$ は高層建築物の変位ベクトル、 $\zeta_w$ はTLDの規準座標から成る行列である。

$$u_s = (u_1^x \ u_1^y \ u_1^z \ \theta_1^x \ \theta_1^y \ \theta_1^z \ \cdots \ u_L^x \ u_L^y \ u_L^z \ \theta_L^x \ \theta_L^y \ \theta_L^z)^T \quad (17)$$

$$\zeta_w = (\zeta_1^x \ \zeta_1^y \ 0 \ \zeta_{\theta 1}^x \ \zeta_{\theta 1}^y \ \zeta_{\theta 1,1}^z \ \cdots \ \zeta_{2P-1}^x \ \zeta_{2P-1}^y \ 0 \ \zeta_{\theta 2P-1}^x \ \zeta_{\theta 2P-1}^y \ \zeta_{\theta 2P_1-1,2P_2-1}^z)^T \quad (18)$$

$$\phi_s, \phi_w \text{は入力地震加速度で } \phi_s = (\phi_x \ \phi_y \ \phi_z \ 0 \ 0 \ 0 \ \cdots \ \phi_x \ \phi_y \ \phi_z \ 0 \ 0 \ 0)^T, \text{ (要素数 } 6L) \quad (19)$$

$$\phi_w = (\phi_x \ \phi_y \ \phi_z \ 0 \ 0 \ 0 \ \cdots \ \phi_x \ \phi_y \ \phi_z \ 0 \ 0 \ 0)^T, \text{ (要素数 } 6P) \quad (20)$$

$F_s, F_w$ は構造物及びTLDに対する外力で、それらは次のように表すことができる。

$$F_s = (000000 \cdots 000000 F_L^x F_L^y F_L^z F_{L\theta}^x F_{L\theta}^y F_{L\theta}^z)^T, \text{ (要素数 } 6L) \quad (21)$$

$$F_w = -M_w \ddot{u}_L, \quad u_L = (u_L^x \ u_L^y \ u_L^z \ \theta_L^x \ \theta_L^y \ \theta_L^z \ \cdots \ u_L^x \ u_L^y \ u_L^z \ \theta_L^x \ \theta_L^y \ \theta_L^z)^T, \text{ (要素数 } 6P) \quad (22)$$

ここに、 $u_L^z$ 等は節点Lにおける変位成分である。また、 $F_L^z$ 等は、TLDを設置した節点Lに働く外力であり、TLDの慣性力等に起因するもので、次式によって与えられる。

$$\left. \begin{aligned} F_L^x &= N \sum_{i=1}^P (k_{w2i-1}^x \zeta_{2i-1}^x + C_{w2i-1}^x \dot{\zeta}_{2i-1}^x) - N m_{w0}^x (\ddot{u}_L^x + \ddot{\phi}_x - \ddot{\theta}_L^x H_{w0}^x), \quad x = x, y \\ F_L^z &= N m_{w0}^z (\ddot{u}_L^z + \ddot{\phi}_z) + N k_{w0}^z (u_L^z + \phi_z), \quad N: \text{TLDの個数} \\ F_{L\theta}^x &= N \sum_{i=1}^P (k_{w\theta 2i-1}^x \zeta_{\theta 2i-1}^x + C_{w\theta 2i-1}^x \dot{\zeta}_{\theta 2i-1}^x) - N J_{w0}^x \ddot{\theta}_L^x - N \sum_{i=1}^P (k_{w2i-1}^x \zeta_{2i-1}^x + C_{w2i-1}^x \dot{\zeta}_{2i-1}^x) H_{w2i-1}^x \\ &\quad - N \{-m_{w0}^x (\ddot{u}_L^x + \ddot{\phi}_x - \ddot{\theta}_L^x H_{w0}^x) H_{w0}^x\}, \quad x = x, y \\ F_{L\theta}^z &= N \sum_{i=1}^{P_1} \sum_{j=1}^{P_2} (k_{w\theta 2i-1,2j-1}^z \zeta_{\theta 2i-1,2j-1}^z + C_{w\theta 2i-1,2j-1}^z \dot{\zeta}_{\theta 2i-1,2j-1}^z) - N J_{w0}^z \ddot{\theta}_L^z \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

TLDの等価振動系の変位と構造物の節点Lの変位との間には、次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} u_{w2i-1}^x &= u_L^x - \theta_L^x H_{w2i-1}^x + \zeta_{2i-1}^x, \quad x = x, y \\ u_{wi}^z &= u_L^z + \zeta_i^z \quad (u_{wi}^x = \zeta_i^x = 0) \\ \theta_{w2i-1}^x &= \theta_L^x + \zeta_{\theta 2i-1}^x, \quad x = x, y \\ \theta_{w2i-1,2j-1}^z &= \theta_L^z + \zeta_{\theta 2i-1,2j-1}^z \end{aligned} \quad \left\{ \begin{aligned} u_{w0} &= u_L^z - \theta_L^z H_{w0}^z, \quad x = x, y \\ u_{w0}^z &= u_L^z \\ \theta_{w0}^x &= \theta_L^x, \quad x = x, y, z \\ & \quad i, j = 1, 2, \dots, P \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

4. 振動形解析法を用いたTLD-高層建築物の振動方程式 式(15)において、 $\phi_s, F_s, C_s$ をすべて0とおけば、構造物のみ非減衰自由振動方程式  $M_s \ddot{u}_s + K_s u_s = 0$  が得られる。これを解いて、固有振動数  $n_s$ 、振動形  $Y_s$ を求める。構造物の規準座標ベクトルを  $\xi_s$ 、振動形行列を  $Y$ として

$$\begin{Bmatrix} u_s \\ \zeta_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Y & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_s \\ \zeta_w \end{Bmatrix}, \quad E: \text{単位行列} \quad (25)$$

とにおいて、式(15)に代入し、同式の左から  $\begin{bmatrix} Y & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix}^T$ を掛ければ、

$$\begin{bmatrix} \bar{M}_s & 0 \\ 0 & M_w \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\xi}_s \\ \ddot{\zeta}_w \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{C}_s & 0 \\ 0 & C_w \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\xi}_s \\ \dot{\zeta}_w \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{K}_s & 0 \\ 0 & K_w \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_s \\ \zeta_w \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} Y^T M_s \ddot{\phi}_s \\ M_w \ddot{\phi}_w \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} Y^T F_s \\ F_w \end{Bmatrix} \quad (26)$$

を得る。ここに、 $\bar{M}_s = Y^T M_s Y$ ,  $\bar{C}_s = Y^T C_s Y$ ,  $\bar{K}_s = Y^T K_s Y$ 。また、 $n_s = \bar{M}_s^{-1} \bar{K}_s$ とおく。 (27)

$\bar{M}_s, \bar{K}_s, \bar{n}_s$ は対角行列となるが、 $\bar{C}_s$ は一般に対角行列とはならない。いま、 $\bar{C}_s$ の対角要素が他と比べて大きいとして、 $\bar{C}_s$ を近似的に対角行列と仮定すれば、式(26)の左辺は各規準座標 $\xi_s, \zeta_w$ に関する6(L+P)個の2階の常微分方程式に還元されることがわかる。同式の右辺の外力項は

$$\mathbf{Y}^T \bar{\mathbf{M}}_s \ddot{\phi}_s = \ddot{\phi}_x \mathbf{Y}^T \bar{\mathbf{M}}_s \mathbf{I}_1 + \ddot{\phi}_y \mathbf{Y}^T \bar{\mathbf{M}}_s \mathbf{I}_2 + \ddot{\phi}_z \mathbf{Y}^T \bar{\mathbf{M}}_s \mathbf{I}_3, \quad \mathbf{Y}^T \bar{\mathbf{F}}_s = (\bar{F}_1 \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_{6L-1} \bar{F}_{6L})^T \quad (28)$$

ここに、 $\mathbf{I}_1, \mathbf{I}_2, \mathbf{I}_3$ はそれぞれ6i-5, 6i-4, 6i-3番目の要素が1で、他は0であるようなベクトルである。また、

$$\bar{F}_s = Y_{6L-5,s} F_L^x + Y_{6L-4,s} F_L^y + Y_{6L-3,s} F_L^z + Y_{6L-2,s} F_{L\theta}^x + Y_{6L-1,s} F_{L\theta}^y + Y_{6L,s} F_{L\theta}^z, \quad s = 1, 2, \dots, 6L \quad (29)$$

振動方程式(26)は、式(29)より、外力項 $\mathbf{Y}^T \bar{\mathbf{F}}_s$ においてのみ規準座標 $\xi_s, \zeta_w$ に関係する連成項を含むことになる。地震入力加速度 $\ddot{\phi}_x, \ddot{\phi}_y, \ddot{\phi}_z$ が与えられると、式(26)を用いて刻々の構造物の応答を求めることができる。

**5. 数値計算例並びに考察** 高層建築物として、霞ヶ関ビルを取り上げ、これにTLDが設置されている場合を考えて、この建物がその短辺方向から $\theta$ の角度を有する入力加速度をうけたときの応答を求め、建物の制震性に及ぼす入射角の影響について検討を行った。なお本論では、建物の水平振動のみを取扱うことにして、振り振動等については考慮しないことにした。また、計算では短辺及び長辺方向の第1次振動のみを考慮した。入力加速度の最大値はすべて100Galとした。建物の大きさは42.4×84.0×141.4m、全質量は65198tである。短辺及び長辺方向の固有振動数は0.2956, 0.3748Hz、減衰定数は0.0092, 0.0189、TLD設置点の振動形の大きさを1としたときの有効質量は16280, 16310t、刺激係数は1.5666, 1.5656である。建物の屋上のL点に設置したTLDについては、その質量が建物の有効質量の1% (質量比 $\alpha = 0.01$ ) になるように選んだ。TLDの全個数は362個で、1個の大きさは建物の短辺方向2m、長辺方向1.57m、水深0.143mである。TLDは建物の短辺及び長辺方向の固有振動数に同調する大きさや水深を選んでいる。また、計算ではTLDの長手及び短手方向の第1次振動のみを採用した。建物の両方向の振動に対して最適なTLDの大きさや水深を厳密に

定めることは困難であるが、試算によって最適値に非常に近い値を選ぶことは可能である。TLD内容液の減衰定数としては、短辺方向の定常応答に対する最適値0.0545を採用した。円振動数を $\omega$ とし、 $\phi = \Phi e^{i\omega t}$ で表される調和波入力が、建物の短辺方向に対して $\theta$ の角度で入射したときのTLD付きあるいはTLDなしの高層建築物屋上のx, y方向に対する変位の動的応答倍率の最大値 $U_{Lx}^x/\Phi, U_{Ly}^y/\Phi$ あるいは $U_{Lx}^y/\Phi, U_{Ly}^x/\Phi$ を、 $\theta$ を横軸にとって示したのが、図-4である。同図からいずれも入射方向が短、長辺に一致したとき( $\theta = 0^\circ$  or  $90^\circ$ )の動的応答倍率の最大値が一番大きいことがわかる。次に、入力波として道路橋示方書参考資料中のIII種地盤用地震波を用いて応答計算を行って得た結果を図-5に示す。同図の縦軸には、時刻 $t = t_i$ における建物の屋上の短辺方向変位の時刻歴応答を $u_{Li}$ としたとき、その2剰和の平均の平方根 $\sqrt{\sum_{i=1}^N (u_{Li})^2 / N}$ をとっている。図-5の結果は図-4のそれと同様な傾向を示していることがわかる。

- 1) 小坪清真・高西照彦・多田浩: 強制振動をうける液体貯槽内容液に対する等価振動系、土木構造・材料論文集、第6号、pp.33~40, 1991.1.
- 2) 小坪清真・高西照彦・多田浩: 同調液体ダンパーによる架設途中の斜張橋の制振、振動制御コロキウム、PART.B, 1991.7.

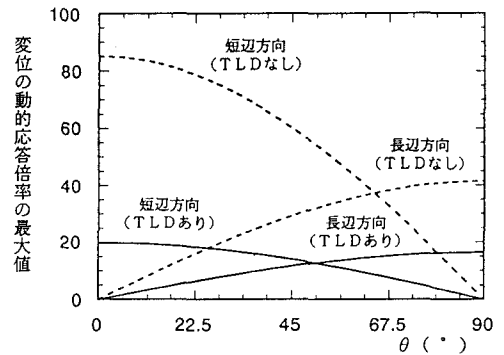


図-4 変位の動的応答倍率の最大値

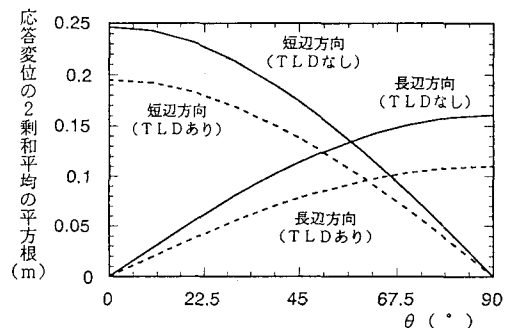


図-5 変位応答の2剰和平均の平方根