

I-472

ロッキング振動をする長方形同調液体ダンパーの等価振動系に対する近似式表示

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

1. まえがき

著者等は前論¹⁾において、ロッキング振動を行う長方形同調液体ダンパー(以下TLDという)に対する等価振動系を導いた。TLDを有する構造物の振動解析を行う場合、このようにTLDを等価振動系に置換して表現しておく、使用に便利である。等価振動系を構成する物理定数である等価慣性モーメントと等価回転ばね定数は、無限級数項を含む L (貯槽の長さ)と H (水深)の非常に複雑な関数で表されているので、数値計算によってそれらの値を厳密に求めるのは面倒である。そこで本論では、それらの値を容易に求めることができる近似式を導くことにした。

2. 等価振動系の厳密解

等価振動系を導くときに用いた仮定は、次の通りである。(i)液体は非圧縮、非粘性、非回転である。(ii)液体は線形振動を行う。

前論¹⁾によれば、図-1に示すように点Oを中心としてロッキング振動をしている長方形TLDに対する等価振動系は、これを図-2に示すような振動系に置換して取り扱うことができる。このときの第 $2s-1$ 次のスロッシング振動に対する等価慣性モーメントは

$$J_{2s-1} = 8\rho H^4 D \frac{H(\lambda_{2s-1} H \tanh \lambda_{2s-1} H - 1 + \frac{2}{\cosh \lambda_{2s-1} H})^2}{(\lambda_{2s-1} H)^5 \tanh \lambda_{2s-1} H}, \quad (s=1, 2, \dots) \quad (1)$$

と表すことができる。ここに、 ρ は内容液の密度、 D は貯槽の奥行き幅である。また、

$$\lambda_{2s-1} = (2s-1)\pi/L \quad (2)$$

第 $2s-1$ 次振動に対する等価回転ばね定数は、 J_{2s-1} を用いて

$$k_{\theta, 2s-1} = n_{2s-1}^2 J_{2s-1}, \quad (s=1, 2, \dots) \quad (3)$$

によって求めることができる。上式で n_{2s-1} は第 $2s-1$ 次のスロッシング振動に対する固有円振動数で

$$n_{2s-1} = \sqrt{\lambda_{2s-1} g \tanh \lambda_{2s-1} H} \quad (4)$$

である。ここに、 g は重力の加速度である。

TLDの内容液の衝撃圧にもとづく等価慣性モーメントは、次式のように表すことができる。

$$J_F = 8\rho D H^4 \left[\frac{1}{192} \left(\frac{L}{H} \right) \left\{ 5 + \left(\frac{L}{H} \right)^2 \right\} + 3 \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\tanh \left\{ \frac{(2s-1)\pi L}{2H} \right\}}{\{(2s-1)\pi\}^5} + \frac{H}{L} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{2 \cosh \lambda_{2s-1} H - 1}{(\lambda_{2s-1} H)^5 \sinh \lambda_{2s-1} H} \right] - \sum_{s=1}^{\infty} J_{2s-1} \quad (5)$$

3. 等価振動系の近似式表示

図-1において、TLDの内容液が相対変位をしないと考えた場合の内容液の点Oのまわりの慣性モーメントを J_{LH} とすれば

$$J_{LH} = \frac{1}{12} \rho D H L (L^2 + 4H^2) \quad (6)$$

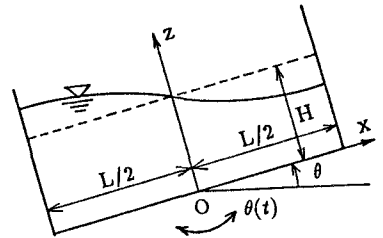


図-1 長方形TLDのロッキング振動

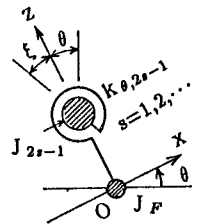


図-2 長方形TLDのロッキング振動に対する等価振動系

である。いま、この J_{LH} を用いて式(5)及び式(1)の等価慣性モーメント J_F 及び J_{2s-1} を

$$J_F = C_F J_{LH} \quad (7)$$

$$J_{2s-1} = C_{2s-1} J_{LH}, \quad (s = 1, 2, \dots) \quad (8)$$

と書き、さらに式(4)の固有円振動数を

$$n_{2s-1} = N_{2s-1} \sqrt{\frac{g}{H}}, \quad (s = 1, 2, \dots) \quad (9)$$

と書くことにすれば、 C_F, C_{2s-1}, N_{2s-1} はいずれも L/H のみの関数となる。このとき等価回転ばね定数は

$$k_{\theta, 2s-1} = N_{2s-1}^2 C_{2s-1} \left(\frac{g}{H} \right) J_{LH} \quad (10)$$

によって与えられる。

C_F, C_{2s-1} 、特に C_F は式(5),(7)からわかるように、無限級数を含む L/H の非常に複雑な関数で表されているので、数値計算によってそれらの値を厳密に求めるのは面倒である。そこで本章では、それぞれ C_F, C_{2s-1} 及び N_{2s-1} を容易に求めることができる近似式を導くことにする。通常、第3次より大きい振動次数の影響は非常に小さいので、第1次振動 ($s = 1$) の場合だけを取り上げることにする。 L/H のみの関数である C_F, C_1, N_1 の値が得られさえすれば、式(7),(8),(9)を用いて J_F, J_1, n_1 の値は容易に求めることができる。

通常の TLD においては、 L/H の値は $2 \leq L/H \leq 40$ の範囲にあると考えてよいので、 $L/H \gg 1$ の場合に対して、それぞれ式(5),(1),(4)を L/H について展開することによって、次式に示すような C_F, C_1, N_1 の近似式表示を得た。

$$C_F = a_1 + b_1(L/H)^{-1} + c_1(L/H)^{-3}, \quad (2 \leq L/H \leq 40) \quad (11)$$

$$C_1 = a_2(L/H)^2 + b_2 + c_2(L/H)^{-2}, \quad (2 \leq L/H \leq 40) \quad (12)$$

$$N_1 = a_3(L/H)^{-1} + b_3(L/H)^{-3} + c_3(L/H)^{-5}, \quad (2 \leq L/H \leq 40) \quad (13)$$

厳密解を用いて、 $2 \leq L/H \leq 40$ の範囲について最小2乗法によって上式の各係数 a_i, b_i, c_i ($i = 1, 2, \dots$) を定めた。得られた各係数の値を表-1に示す。

式(11),(12),(13)の近似式を用いて求めた C_F, C_1, N_1 の値を、厳密解と比較して図-3に示す。実線が近似解を、点線が厳密解を表す。同図から、 C_F, C_1, N_1 のいずれについても両者の値は、それぞれよく一致していることがわかる。

近似式における誤差の最大値は C_F : $L/H = 3$ のとき3.2%, C_1 : $L/H = 2$ のとき5.7%, N_1 : $L/H = 3.5$ のとき0.27%である。

表-1 近似式中の係数 a_i, b_i, c_i の値

i	a_i	b_i	c_i
1	1.02324	-0.70121	-0.57917
2	0.09985	-0.06145	0.86412
3	3.13260	-4.46521	6.17434

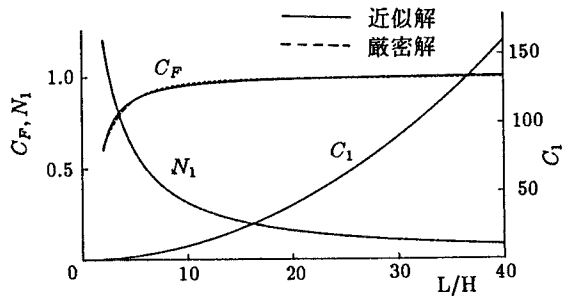


図-3 C_F, C_1, N_1 の値