

PSI-11 液柱管ダンパー(TLCD)の最適パラメータ

川崎重工業(株) 正員 坂井 藤一
高枝 新伍
玉木 利裕

1. はじめに

筆者らは、新しい同調式制振装置として液柱管ダンパー(Tuned Liquid Column Damper:TLCD)を提案し、その定式化¹⁾、実用設計法の提案²⁾、相似模型による制振効果の検証³⁾などをおこなってきている。本論文ではTLCDに等価なバネ-質点系モデルを導き、それをもとに最適パラメータについて検討する。

2. TLCDのパラメータ

TLCDを構造物制振に適用する場合、他の同調型ダンパーと同様にダンパーの質量比、同調比、減衰比によって制振効果が変り、これらのパラメータを最適値に調整することは、非常に重要である。同調比を固定したときの、減衰比と質量比による定常応答の最大値の変化の例を図1に示す。

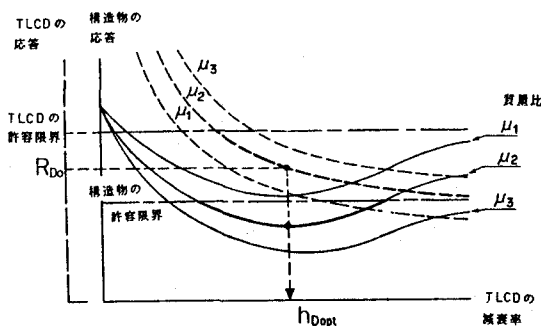


図1 TLCDの質量比、減衰比と応答

3. TLCDのバネ-質点系モデル

水平動 $X(t)$ を受ける TLCD 内部液体の運動は次式で表される¹⁾ (管断面積: A , 液柱長: L , 液柱幅: B , オリフィス圧力損失係数: κ , 液柱変位: η , 液体密度: ρ , 重力加速度: g , 図2参照)。

$$\rho AL \ddot{\eta} + \rho A \kappa |\dot{\eta}| \dot{\eta} / 2 + 2 \rho A g \eta = -\rho A B \ddot{X} \quad \dots(1)$$

この運動と等価な運動エネルギー、ポテンシャルエネルギーをもつような、バネ-質点系(図3)を考えることができ、その質量、バネ定数は次のように表される。

$$\begin{aligned} y &= (L/B) \eta && \text{相対変位} \\ x &= \bar{X} + y && \text{絶対変位} \\ m_0 &= (\rho AL) (1 - B^2/L^2) && \text{固定質量} \\ m_1 &= (\rho AL) (B^2/L^2) && \text{可動質量} \\ k &= (\rho AL) (B^2/L^2) (2g/L) && \text{バネ定数} \end{aligned} \quad \dots(2)$$

減衰については、等価線型減衰係数を取り、次のように表される。

$$c_e = 4 / (3\pi) \rho A \kappa (B/L)^2 |\dot{y}| \quad \dots(3)$$

4. TLCDの最適パラメータ

TLCDのを等価なバネ-質点系で表すことにより、TMDの最適パラメータに関する理論がそのまま適用できる。ここでは最も簡単に、Den Hartog⁴⁾による、構造

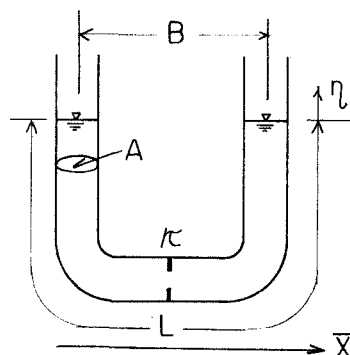


図2 水平動を受けるTLCD

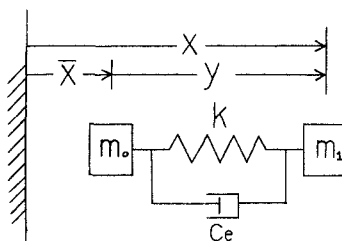


図3 TLCDに等価なバネ-質点系

物の減衰がない場合の最適パラメータについて検討する。主構造系質量 M に対する、ダンパー質量 m の比 $\mu = m/M$ を与えたとき、

$$\text{最適同調比} \quad f = 1/(1+\mu) \quad \dots(4) \quad \text{最適減衰比} \quad h = \sqrt{3\mu/8(1+\mu)^3} \quad \dots(5)$$

である。またこれらのパラメータのとき、主構造物の最大応答倍率は次のようになる。

$$X/X_{st} = \sqrt{1+2/\mu} \quad \dots(6)$$

TLCDを搭載した構造物系では、同調比 α を(TLCDの固有振動数 Ω_d /主構造系の固有振動数 Ω_s)で定義すると、

最適同調比

$$\alpha = \Omega_{dopt} / \Omega_s = \sqrt{(1+\mu_1)/(1+\mu_0+\mu_1)} \quad \dots(7)$$

最適減衰率

$$h = \sqrt{3\mu_1(1+\mu_0)^2/8(1+\mu_0+\mu_1)^3} \quad \dots(8)$$

となる。ここに、 $\mu_0 = m_0/M$ 、 $\mu_1 = m_1/M$ である。

5. 最適パラメータの検討

以上に示したTLCDの最適パラメータは、構造物の減衰を考慮しておらず近似式である。これらの妥当性を検討するための基準として、TLCDの減衰の非線型性を考慮した、反復代入法による周波数応答解析を、同調比、減衰比をパラメータとして繰り返し行い、最大応答が最小になるような同調比、減衰比を最適値として求めた。この周波数応答解析法は、実験結果と非常によく対応することを既に確認している3)。

このようにして求めた最適値と、(7)、(8)を比較すると、ほぼよく一致することがわかる(図4、図5)。

また、制振効果については、制振時の最大応答の計算結果からみかけの減衰比を $\tilde{h} = X_{st}/2X$ により評価し、増分 $\Delta h = \tilde{h} - h_s$ により、制振効果をみることにする。(6)式とこれを比較すると、図6に示すように、構造物の減衰が小さいときには、よく対応している。

6. まとめ

- 1) TLCDのパネ-質点系モデルを導いた。
- 2) Den Hartogの最適条件をTLCDのパネ-質点系モデルに適用すると、TLCDの最適条件のよい近似となっていることがわかった。

[参考文献]

- 1) 坂井, 高枝, 玉木, 「液柱管ダンパー(Tuned Liquid Column Damper)の提案-液柱管の振動特性」, 構造工学論文集, Vol. 35A, 1989.
- 2) 坂井, 赤尾, 高枝, 玉木, 「液柱管ダンパー(TLCD)の実用設計法の提案と数値的検討」, 土木学会年講, 1989
- 3) 坂井, 高枝, 玉木, 「相似モデルによる液柱管ダンパーの制振実験」, 構造工学論文集 Vol. 36A, 1990.
- 4) Den Hartog, J.P. 'Mechanical Vibrations', McGraw-Hill, 1956.

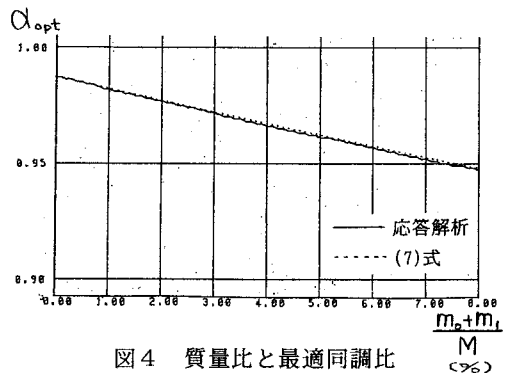


図4 質量比と最適同調比

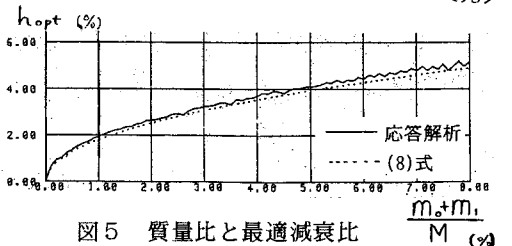


図5 質量比と最適減衰比

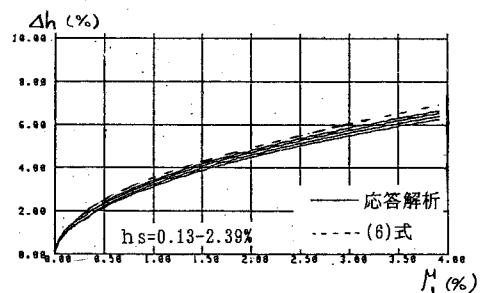


図6 質量比と制振効果