

# PSI-15 Tuned Liquid Damper (液柱管ダンパー) の制振効果について

川崎重工業（株） 正員 佐岡暖也， 玉木利裕  
正員 坂井藤一， 高校新伍

## 1. まえがき

近年、吊橋・斜張橋の塔や高層建築物などの地震や風に対する振動防止技術として、TMDの利用が実現するに至っている。しかしながら、TMDの原型としての振子と機械的ダンパーの組合せ構造は、実際の応用上さまざまな制約も供なうので、最近液体振動を利用するTLDとしてのスロッシング・ダンパーが考えられるようになってきた。これについては、簡単な装置でありながら、現実に振動を抑制できることが実験や実測で確認され、いろいろなアイデアが提案されている。このスロッシング・ダンパーを実用化する場合最も問題となるのは、減衰の定量化であろうと思われる。ここではそのような観点から、スロッシング・ダンパーとは異なるTLD方式として、図-1に示す液柱管ダンパーを提案し、その減衰効果を論ずる。

## 2. 液柱管ダンパーの概要

液柱管が変位 $\bar{X}$ で動く時、中の液柱は変位 $X$ で振動するとする。この液柱管を主構造系に付加し、主系の振動を制御しようとするのが、液柱管ダンパーである。これの最も簡単なものがU字管であるが、形状は任意であり、本質的には自由液面の位置関係が重要である。これに対する一般振動方程式は、次のようになる。

$$\rho A L \ddot{\bar{X}} + \xi / 2 |\dot{\bar{X}}| \dot{\bar{X}} + 2 \rho A g X = -\rho A B \ddot{\bar{X}}$$

ここで、 $\rho$ は液体の密度、 $A$ は管の断面積、 $L$ は流路長さ、 $g$ は重力加速度であり、 $\xi$ は主にオリフィスの構造によって定まる定数である。液柱振動固有周期は、

$$T = 2\pi \sqrt{L/2g}$$

によって定まるが、長さ $L$ との関係を図-2に示す。

この場合の減衰特性には、振幅依存性による非線形性が存在するがオリフィス構造による $\xi$ の値はきわめて明確なものであり、定量的検討に適している。

以上のような点から、液柱管ダンパーとしての特長は、以下の諸点になる。

- 1) 力学的に明解（系は完全な1自由度、減衰機構は明確）
- 2) 簡単な構造と形状の任意性によって、どんな箇所にも設置可能
- 3) 固有振動数の調整は液の出し入れで簡単に可能（設計変更にも柔軟に対応可能、架設過程での逐次構造変化に容易に追従可能）
- 4) 長期利用においても、メンテナンス上の配慮の必要性少（防食性についての配慮）
- 5) オリフィス開閉による active Controlも容易
- 6) 水道管や消火用水管との兼用も可能

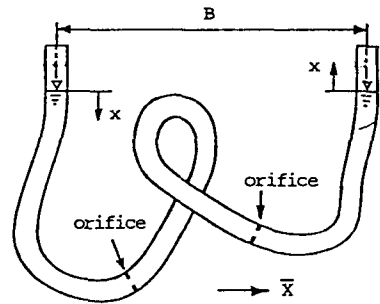


図-1 液柱管ダンパーの概念図

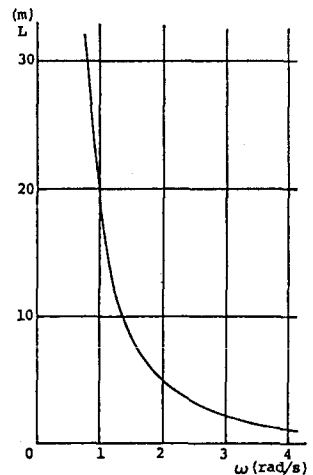


図-2 流路長さと固有振動数

3. 液柱管ダンパーの制振効果

図-3は、液柱管ダンパー付加による主系の応答倍率の変化を調べた数値例である。ここで主系は、有効質量50,000ton,固有周期8秒,対数減衰率0.1%程度のものを考え、液柱管としては以下の諸元を与えている。

- $L = 3.1\text{ m}$ ,  $T = 7.9\text{ 秒}$
- $B = 5 \sim 10\text{ m}$  (1m毎に変化)
- $A = 1.0\text{ m}^2$

減衰は、減衰比に換算して一定と仮定  
無付加の時の応答倍率は約2100であるが、  
これが液柱管を付加することにより、最も  
有効な場合には1/4程度に低下している（ $B = 10\text{ m}$ ,換算減衰比 1~3%程度の場合）。このように、液柱管と主系の固有振動数をほぼ一致させ、 $A$ ,  $B$ , 減衰などを適当に設計することによって、液柱管ダンパーは効力を発揮する。

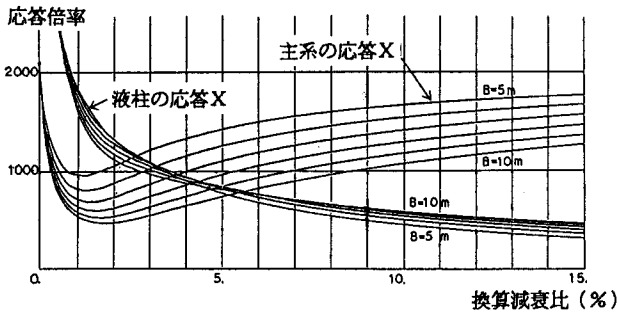


図-3 液柱管の付加による主系応答倍率の変化

4. 液柱管ダンパーの減衰特性試験

図-4に示すような液柱管とオリフィスの模型を用いて、まず自由振動実験を実施し、重要なファクターであるオリフィスの減衰性を調べた。結果を図-5および図-6に示す。引き続き、液柱管ダンパーとして主系と結合した振動実験も実施しているので、後日報告する。

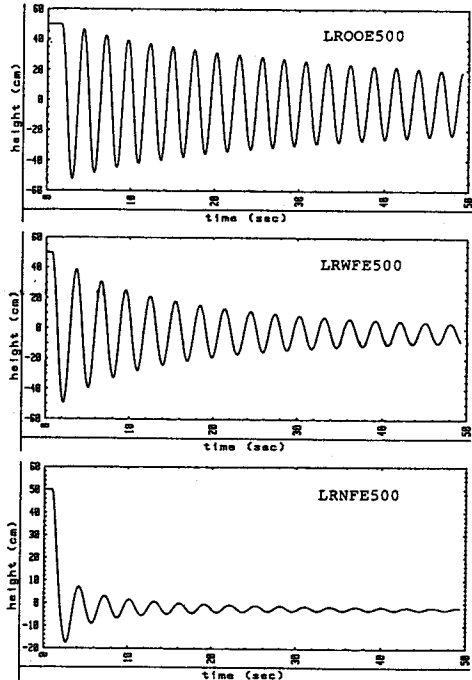


図-5 自由振動実験の結果

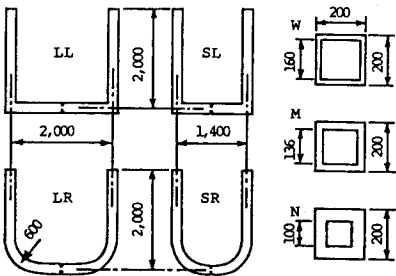


図-4 液柱管とオリフィスの模型

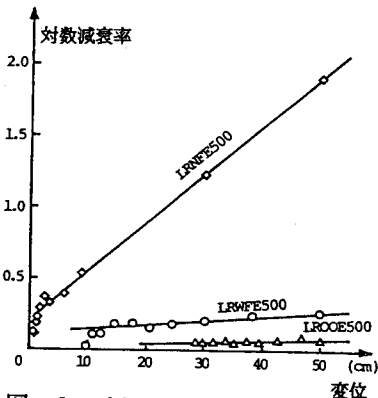


図-6 液柱変位と対数減衰率