

PS I -15 液柱管ダンパー（TLCD）の実用設計法の提案と数値的検討

川崎重工業 正員 ○坂井藤一，赤尾 宏
高枝新伍，玉木利裕

1. はじめに

著者らは，新しい同調式制振装置として，液柱管ダンパー（Tuned Liquid Column Damper）を提案してきている*1-4）。ここでは，実際の構造物設計に本方式を適用する場合の考え方と実際の数値検討について報告する。

2. 液柱管ダンパーによる制振設計の考え方

実際の構造物の抑制したい固有モードに対し，構造物を1自由度系（変位 x ，質量 M ，減衰 C ，剛性 K ）にモデル化し，これに液柱管ダンパー（液体の変位 ξ ，密度 ρ ，液柱長 L ，管断面積 A ，圧力損失係数 K ）を付加したときの運動方程式は次のように表される。

$$\begin{bmatrix} M + \rho AL & \rho AB \\ \rho AB & \rho AL \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\xi} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & \rho AK|\dot{\xi}|/2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\xi} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & 2\rho Ag \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ \xi \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

液柱管の減衰力は振幅に依存するが， F として周期外力が作用するとすれば，この系は定常応答（振幅 X_0 ）を考えることができ，液柱管の減衰項は等価線型化して定数 C_{eq} として，次のように書くことができる。

$$C_{eq} = (8/3\pi)(\rho AK/2)\omega X_0 \quad (2)$$

TLCDの固有周期 $T = 2\pi\sqrt{L/2g}$ が構造物の固有周期に合致するように L を選ぶ。液柱管ダンパーを付加したとき構造物の応答と液柱管の減衰比は図1に示すような関係となる。これらが理論的に求められることは，既以前研究によって確かめている。ここで，パラメータは有効質量比とオリフィスの開口面積比である。

これから，構造物，液柱管の応答が許容限界以下になるような液柱管質量とTLCD減衰比を定める。これより液柱管の諸元は決定される。また，所要減衰比 h_{opt} とTLCD振幅 R_{D0} から，必要なオリフィスの開口率は一義的に定まる。このようにしてTLCDは簡単に設計することができる。

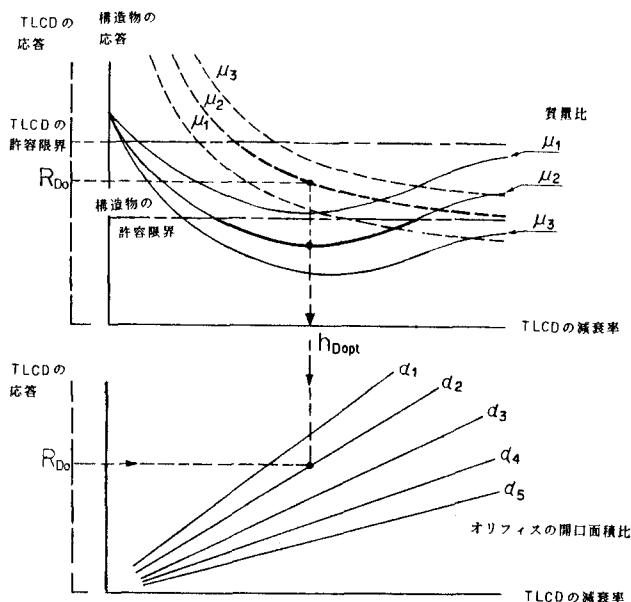


図1 液柱管ダンパー設計チャート

3. 実モデルに対する数値的検討

実際のモデルとして、表1に示すような諸元の振動特性を持つA橋、B橋、Cビルを考える。いずれも風による振動が問題となり、その抑制が必要と考えられる、大規模かつ長周期の構造物である。先に示した方法で液柱管ダンパーの諸元を検討し、その効果を定常応答解析から求めたものが表2である。また図2は周波数応答曲線の一例である。液柱管のパラメータを適切に設定すれば、構造物の応答は非制振時の振幅の $1/4 - 1/20$ 程度に押えることができる。A橋、B橋主塔では、同じ質量比の場合で、(1)液柱管の立上り幅を構造物の幅程度にした場合と、(2)幅を十分とれるとして制振効果が最も大きくなるようにした場合を比較している。液柱管の幅が大きい方が効果が大きい、構造物幅程度にした場合でも許容条件は十分クリアしていることが分かる。

参考のため、図3にB橋に対して考えられたTLC Dの諸寸法を示す。

表 1 実際の構造物の振動特性

	A橋主塔	B橋主塔	Cビル
一般化質量 M (ton)	5076.0	750.0	18200.0
固有振動数 f (Hz)	0.133	0.266	0.1481
対数減衰率 δ	0.01	0.01	0.06283
非制振振幅 A (m)	3.41	2.35	0.2032
許容振幅 a (m)	1.43	0.359	0.0508

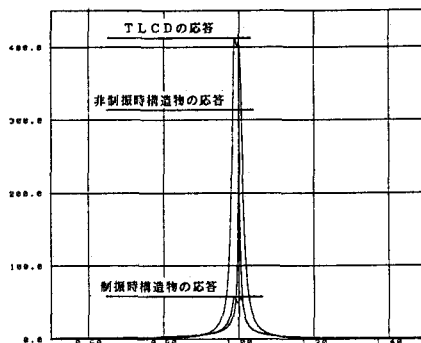


図 2 A橋(1)の周波数応答

表 2 液柱管ダンパーの諸元と制振効果

		A橋主塔		B橋主塔		Cビル
		(1)	(2)	(1)	(2)	
液柱管諸元	液柱管質量(ton)	73.3		17.6		182.0
	質量比	0.0144		0.0144		0.01
	液柱長 (m)	28.35	28.52	7.15	7.19	23.95
	液柱幅 (m)	6.0	22.82	2.86	5.03	22.03
	同調比	0.995	0.992	0.991	0.998	0.990
	減衰比	0.013	0.048	0.030	0.054	0.057
制振時	構造物振幅 (m)	0.623	0.185	0.203	0.120	0.050
	対数減衰率	0.055	0.185	0.116	0.196	0.257
	制振効果	1/5.48	1/18.5	1/11.6	1/19.6	1/4.09

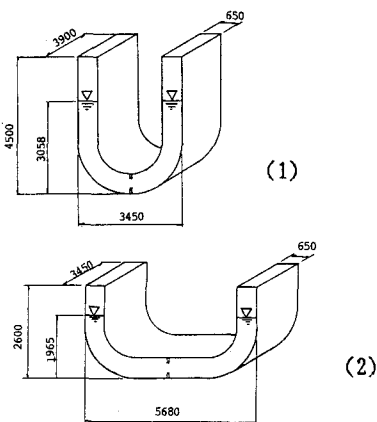


図 3 B橋の液柱管ダンパー

[参考文献]

- 1) 佐岡, 坂井, 高枝, 玉木, 「Tuned Liquid Column Damperの制振効果について」, 土木学会年次講演, 1988.
- 2) 坂井, 高枝, 玉木, 「液柱管ダンパーの提案－液柱管の振動特性」, 構造工学論文集 35 A, 1989.
- 3) Sakai, F., Takaeda, S., Tamaki, T., "Tuned Liquid Column Damper -New Type Device for Suppression of Building Vibrations", Proc. Int. Conf. on Highrise Buildings, Nanjing, 1989.
- 4) 赤尾, 坂井, 高枝, 玉木, 「液柱管ダンパー(TLCD)の管形状, オリフィス形状に関する検討」, 土木学会年次講演, 1989.