

I-197 円筒形 Multiple Tuned Liquid Damper の振動特性

清水建設(株) 技術研究所 (正) 若原 敏裕
 東京大学 土木工学科 (正) 藤野 陽三

1. はじめに Multiple Tuned Liquid Damper(MTLD)とは、複数の Tuned Liquid Damper(TLD) の固有振動数を構造物の固有振動数のまわりに分布させる同調方法を採用した液体ダンパーである⁽¹⁾。Igusa ら⁽²⁾は、多数の Tuned Mass Damper(TMD) を用意しマルチプル化(MTMD)することにより、ダンパーの減衰が小さい場合でも安定した制振効果を得ることができ、また、同調パラメータの最適化が実質的に不要になると言う結果を得ている。本研究は、Igusa らの考え方を TLD に応用した MTLD の振動特性について実験的に検討したものであり、また、MTLD の制振効果とロバスト性について考察したものである。

2. 振動実験 図-1 に示すような内径 48cm、一層の高さ 13cm、総計 5 層からなる円筒形容器に対して振動実験を行った。表-1 は各層の設定水深を示したものである。表-1 において、STLD は、各層の固有振動数を $f_0=0.75\text{Hz}$ としたものであり、MTLD(10%) および MTLD(20%) は、中心振動数 $f_0=0.75\text{Hz}$ に対して、

$$\Delta\gamma = \frac{f_N - f_1}{f_0} \quad (f_1 \sim f_N \text{ は等間隔}) \quad (1)$$

で定義される $\Delta\gamma$ をそれぞれ 10% および 20% としたものである。

実験では、振動台加速度、ダンパーの流体力、下側 3 層の波高を計測している。ダンパーの流体力はロードセルによって検出し、容器重量の影響をキャンセルウェイトにより減じたものを計測している。なお、容器上部に設置した上下成分の加速度計は、容器のロッキングの影響を調べるためのものであるが、実際の加振では容器のロッキング振動の影響はほとんど現れなかった。加振波は正弦波とし、加振加速度一定の条件で、低振動数から高振動数にスイープ加振を行った。また、各々の加振振動数において、容器内の液面動揺が定常状態になった後にデータの計測を行っている。

実験で計測した振動台加速度と流体力から、次式を用いることによりダンパーの周波数応答関数を求めることができる。

$$H_L(i\omega) = \frac{F_L(i\omega)}{\omega^2 M_L Z(i\omega)} \quad (2)$$

ここに、 ω は加振円振動数、 $F_L(i\omega)$ は流体力の複素振幅、 $-\omega^2 Z(i\omega)$ は加振加速度の複素振幅であり、 M_L は液体の総質量を表す。

3. 実験結果 図-2 に加振加速度 2gal の場合のダンパーの周波数応答関数を示す。図の STLD と MTLD($\Delta\gamma=10\%$ 、 20%) を比較すると、STLD は中心振動数 f_0 付近に鋭いピークを持つものに対し、MTLD は広い振動数範囲に複数のピークを持ち、ピークの高さも低い。また、当然のことながら、 $\Delta\gamma=10\%$ の MTLD と $\Delta\gamma=20\%$ の MTLD では、 $\Delta\gamma=20\%$ の MTLD の方が広い振動数範囲にピークが分布する。

MTLD の場合、中心振動数 f_0 に対して高振動数側に卓越成分が片寄る現象が見られる。これは、表-1 に示すように、高い

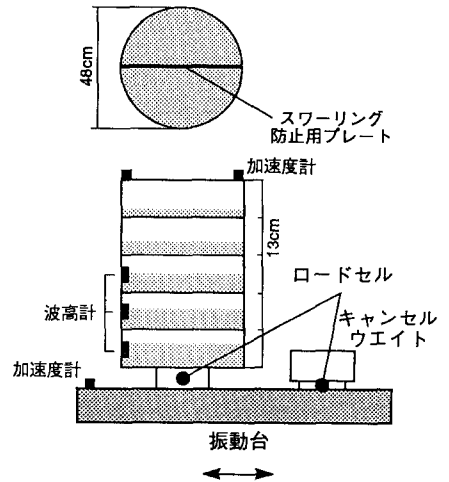


図-1 MTLDの実験装置

表-1 実験に用いたMTLDの諸元

ケース	STLD		MTLD(10%)		MTLD(20%)	
	振動数 (Hz)	水深 (mm)	振動数 (Hz)	水深 (mm)	振動数 (Hz)	水深 (mm)
1層	0.7500	40	0.7125	36	0.6750	32
2層	0.7500	40	0.7875	44	0.8250	49
3層	0.7500	40	0.7500	40	0.7500	40
4層	0.7500	40	0.6750	32	0.6000	25
5層	0.7500	40	0.8250	49	0.9000	59

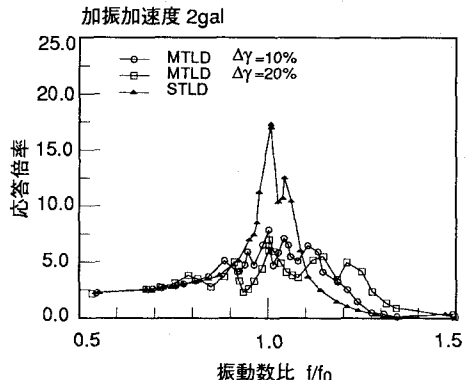


図-2 MTLDの周波数応答関数

振動数に同調させたダンパーの水深が低い振動数に同調させたダンパーよりも深いためであり、したがって、高振動数側のダンパーの液体質量が相対的に大きくなり、求められる流体力も高振動数側で大きくなる。

4. 制振効果とロバスト性 MTLD の制振効果を検討するため、図-3 に示すような MTLD と 1 質点系の相互作用系を考えた。この場合、外力 F に対する 1 質点系の周波数応答関数 $H_S(i\omega)$ は、実験から求められた MTLD の周波数応答関数 $H_L(i\omega)$ を用いて、

$$H_S(i\omega) = \frac{1 + i2\zeta_S(\frac{\omega}{\omega_S})}{\{1 - (\frac{\omega}{\omega_S})^2\} + i2\zeta_S(\frac{\omega}{\omega_S}) + \mu(\frac{\omega}{\omega_S}) \cdot H_L(i\omega)} \quad (3)$$

ここに、 $\omega_s = \sqrt{k/m}$ 、 $\zeta_s = c/2\sqrt{km}$ であり、 m 、 c および k は 1 質点系の質量、減衰係数、バネ定数である。また、 $\mu = M_L/m$ はダンパーと構造物の質量比である。

図-4 は、図-2 のダンパーの応答特性を用いて計算した固有振動数 $f_s=0.75\text{Hz}$ 、減衰定数 $\zeta_s=1\%$ の構造物の周波数応答を示したものである。ダンパーと構造物の質量比は $\mu=1\%$ としている。図-4 から、MTLD の方が STLD と比較して応答のピークが低く、応答曲線が平坦化していることがわかる。

図-5 は、構造物の固有振動数 f_s と MTLD の中心振動数 f_0 の比、すなわち、同調比 f_0/f_s がそれぞれ $+5\%$ 、 -5% ずれた場合 ($\pm 5\%$ の miss Tuning を想定) の構造物の周波数応答を表したものである。なお、図-4 の場合と同様に、構造物の減衰定数 $\zeta_s=1\%$ 、ダンパーの質量比 $\mu=1\%$ とした。図-5 から、 $\pm 5\%$ の同調比のずれに対して、MTLD の方が STLD と比較して安定した応答特性を示し、miss Tuning に対するロバスト性が高いことがわかる。ただし、 -5% の同調比のずれに対して MTLD のピークが急増するのは、図-2 に示すように、ダンパーの応答特性が高振動数側に片寄っているためである。

5. あとがき MTLD の振動特性を実験的に検討し、低振幅時 (2gal) の MTLD の制振効果とロバスト性について考察した。その結果として、以下のようなことがまとめられる。

1. MTLD は、構造物の固有振動数に対して適当な $\Delta\gamma$ を設定することにより、非常に安定した制振効果を得ることができる。
2. MTLD は、STLD と比較して、同調比のずれに対して制振効果あまり低下せずロバスト性が高い。

今後の検討課題として、加振振幅の影響、最適な $\Delta\gamma$ の設定など、パラメータの範囲を広げ、MTLD の長所と短所について厳密に考察することが挙げられる。

参考文献

- (1) 藤野、孫、山口 : マルティプル TMD、TLD の特性の把握、構造工学論文集、No.38A、1992 年。
- (2) Igusa, T. and Xu, K.: Wide band-response characteristics of multiple subsystems with high modal density、Proc. of 2nd Int. Conf. on Stochastic Structural Dynamics、Florida, USA, 1990.

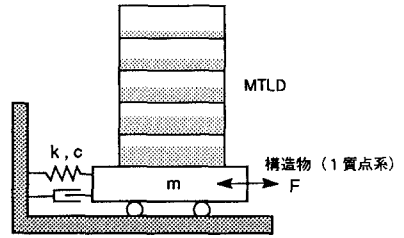


図-3 MTLD-構造系の相互作用モデル

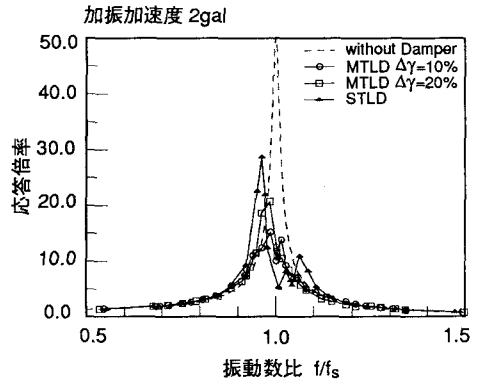


図-4 MTLD-構造系の周波数応答関数

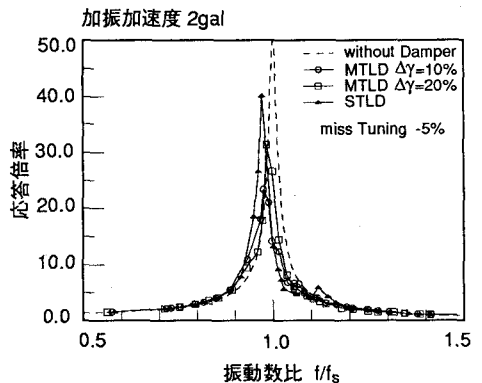
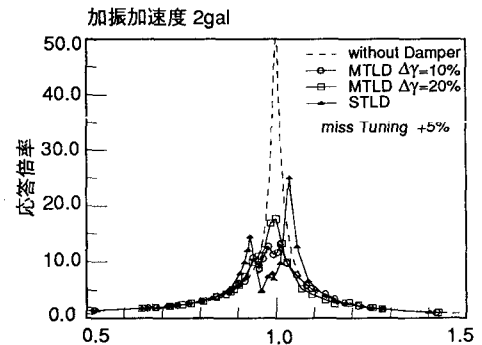


図-5 MTLD-構造系の周波数応答関数 (miss Tuning $+5\%$ および -5% の場合)