

I-372

Tuned Sloshing Damper

（水槽のスロッシングを利用した制振装置）

清水建設㈱技術研究所 正会員 ○佐藤 孝典

1. はじめに

近年、塔状構造物、超高層建築物、架設時構造物等の風荷重による揺れに対する制振機構、または免震建築物に用いられる制振機構の研究開発が盛んに行われている。従来の受動的制振機構は、①入力エネルギーを履歴減衰や摩擦損失等によってエネルギー消散させるエネルギー消費型制振機構と、②全体の振動系そのものを変化させて構造物本体への入力エネルギーを減少させるエネルギー入力回避型制振機構に分類できる。

このうち②に属するものとして、「Tuned Mass Damper」（以下、TMDと略す）というのがある。これは、構造物と同調した一次固有振動数を有するバネ付台車や重錘振子を構造物の最上部に付加質量として設置するものである。この付加質量は構造物の $1/200 \sim 1/50$ 程度で十分な効果を発揮できると言われている。原理的には構造物の振動系を変化させて、入力エネルギーを付加質量にも分担させて、その部位でエネルギー消散することを期待している。したがって、TMDにはエネルギー消散のための摩擦ダンパーや粘性ダンパーが付随されている。このようなTMDには、④付随されているダンパーの維持管理、⑤複雑な機構、⑥微小変位（ $1 \sim 2 \text{ mm}$ ）時における効果、など多くの問題点がある。

そこで、原理的にはTMDと類似であるが、これらの問題点を解決できるものとして、水槽のスロッシングを利用した制振装置である「Tuned Sloshing Damper」（以下、TSDと略す）を提案し、実験的検討をする。

2. TSDとは

TSDは、TMDにおける付加振動系を水槽のスロッシング振動としたものである。Housner¹⁾やCase²⁾によると、スロッシング振動は、図-1に示すような自由水（ M_1, K_1, C_1 ）と固定水（ M_0 ）にモデル化できると言われている。 M_1 や K_1 は容器の大きさ L と水深 H の関数となり、 C_1 は L と H と液体の動粘性係数 ν の関数となる。すると、構造物にTSDを設置したときの全体振動系は、図-2のような連成系とすることができる。今後、これについては実験結果を含めて検討する予定である。

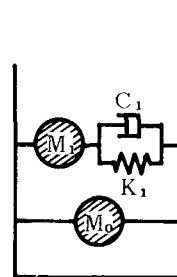


図-1 スロッシング振動モデル

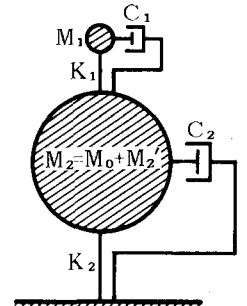


図-2 全体振動モデル

3. 1本棒モデル実験

TSDの基本性質を把握するために表-1に示すような1本棒モデルを用いて、①Sweep加振（ $1 \sim 4 \text{ Hz}$ ）、②自由振動、を振動台で行った。構造物を模擬した1本棒は、長さ $\ell = 1600 \text{ mm}$ の $\phi 17 \text{ mm}$ P C鋼棒に、鋼棒の曲げ剛性が変化しないようにP Cナット60個を緊結して全体で 52 kg 重とした。実験パラメータとしては、TSDの重量（水槽の直径）2種類、TSDの液体3種類である。いずれの場合においても、1本棒と水槽のスロッシングの1次固有振動数は同調させて $f_1 = 0.71 \text{ Hz}$ である。表-1に実験結果を示す。

①Sweep加振…TSDの重量比が $1/285$ （表-1におけるSE, SW, SV）の場合は、振動系は変化せず、ほとんどTSDの効果が見られなかった。しかし、 $1/45$ （表-1におけるLE, LW, LV）の場合は、同調振動数の近傍の応答が大きく低下し、振動系が変化し、新たな1次、2次モードを形成する。このデータでは、LWとLVの差違はほとんどない。

②自由振動…LVはLWと比較して、変位の大きい領域ではほとんど差違はないが、静止する直前の変位の小さい領域ではLVの粘性減衰効果が発揮される。

表-1 1本棒モデル実験の結果一覧

試験体	TSDの種類		Sweep加振	自由振動 (1/45 のとき)
	SE 空	LE 空		
	D=19.8cm H=0cm	D=31.4cm H=0cm		
	SW 水道水	LW 水道水		
	D=19.8cm H=0.6cm	D=31.4cm H=1.5cm		
	SV 粘性液体	LV 粘性液体		
	D=19.8cm H=0.6cm	D=31.4cm H=1.5cm		

Mst=52kg重
Msl { SW,SV=0.18kg重(1/285)
LW,LV=1.16kg重(1/45)

4. 5層せん断モデル実験

せん断変形の卓越した場合として、表-2に示すような5層せん断モデルにその約1/50重量のTSDを設置した実験モデルを用いて、①Sweep加振(1~20Hz)、②自由振動、③ランダム加振(EL-CENTRO(NS))を振動台で行った。構造物本体は、重量Mst=400kg重×5層=2000kg重、TSDは、L×W×H=80cm×90cm×3.2cmの水槽が2層で重量Msl=46kg重、ともに一次固有振動数 $f_1=2.4\text{Hz}$ である。実験結果として、TSDの効果をもTSDのない場合と比較して、表-2に示す。

- ① Sweep加振…同調振動数近傍だけが、約1/4の振幅に減少し、他の領域は全く変わらない。
- ② 自由振動…構造物の減衰定数 h は、約0.9%から約3.8%へ増大する。
- ③ ランダム加振…ランダム波にさらされても、制振効果がみられる。

表-2 5層せん断モデル実験の結果一覧

試験体	名称	TSDなし	TSDあり
	Sweep加振		
	自由振動		
	ランダム加振 (EL-CENTRO (NS))		

Mst=2000kg重 } $f_1=2.4\text{Hz}$
Msl=46kg重

5. まとめ

水槽のスロッシングを利用した制振装置TSDを提案し、ランダムな外力に対しても制振効果があることを実験的に確かめた。

今後、写真-1に示すようなポータブル型TSDや、壁、天井、床等への内蔵型TSDとしての実用化を目指して実大実験及び解析的検討を行う予定である。

参考文献

- 1) Housner, G.W: "Dynamic Pressures on Accelerated Fluid Containers" Bulltin of the Seismological Society of America, Vol. 47(1957) PP.15~35
- 2) Case, K.M., and Parkinson, W.C., "Damping of Surface Waves in an Incompressible Liquid", Journal of Fluid Mechanics, Vol.2, Part 2, March 1957, PP.172 ~ 184.



写真-1 ポータブル型TSD