

液体のスロッシング効果を利用した制振構造模型(SMD)の開発

長谷川研究室
01712007 飯島 崇喜

1. はじめに

同調型マスダンパー(TMD)と同様、スロッシング・マスダンパー(SMD)も風揺れ対策などの居住性向上に広く利用されている。本報では、液体のスロッシングによる制振効果のメカニズムが理解しやすい教材開発を目的として、SMD 制振構造模型の設計・制作・実験を行った。

2. スロッシング周期と建屋模型の固有周期

SMD 制振模型の設計にあたっては、まず液体容器の形状・寸法を考慮してスロッシング周期(T_s)を求め、これと同調するように建屋模型の固有周期 T_m ($=T_s$)を決定する。設計フローを図1に示す。同図(a)で示すように、円筒容器の場合のスロッシング周期は(1)式で与えられる¹⁾。(1)式はやや複雑であるから、ここでは容器の直径 D に対する水深 h の比を $h/D=1/4$ に仮定して、近似式を作成すると(2)式を得る。これより、スロッシング周期はほぼ容器径の平方根に比例し、容器が大きくなるほど周期は長くなることが分かる。模型に用いる容器の内径は65mm なので、ここでのスロッシング周期は $T_s=0.27$ 秒となる。

つぎに、図1(b)で示すように、模型の柱材の曲げ剛性 EI を算定するため、単純梁の中央に集中荷重 P を作用し、そのときの中央たわみ δ を計測した。計測結果の $P \sim \delta$ 関係を直線近似し、その傾きから曲げ剛性 EI ($=0.05275\text{Nm}^2$)を求めた。建屋模型をせん断型モデルに仮定すれば、その固有周期 T_m は図1(c)中の(3)式で与えられる。これより、先に求めた柱材の EI と液体容器の質量 m を考慮して、柱材の長さ H を逆算すると同図中の(4)式を得る。ここで $T_m=T_s$ とし、スロッシング周期と建屋模型の固有周期が同調するときの H ($=30$ cm)を決定した。

3. SMD 制振模型の制作と実験

SMD 模型の制作工程を図2に示す。制作にあつ

て、柱材には鋼板ばね(幅： $B=20\text{mm}$ ，厚： $t=0.5\text{mm}$)、液体容器にはプラスチック・シャーレ(内径： $D=65\text{mm}$ ，深さ： $h_0=20\text{mm}$)を用いた。制作ポイントは、まず柱脚を架台に固定し、その後に液体容器を接着・取り付けすることである。なお、図2④で示したように、建屋模型は水平力に対してせん断変形することを確認した。

つぎに、制作した SMD 模型の制振効果を確認するため、模型頂部の容器に初期変位を与え、これを解除する方法で自由振動実験を行った。実験ケースを図3に示す。同図(a)では水深 h に対する容器深さ h_0 が $h/h_0=1/2$ でスロッシングが生じる場合、(b)では $h/h_0=1$ でスロッシングが生じない場合、(c)では(b)と同量の水を容器2段にして $h/h_0=1/2$ とした場合である。その結果、実験ケース(a)と(c)ではスロッシングによる制振効果が確認された。一方、(b)では液体のスロッシングが生じないため、付加質量効果によって長周期化し、建屋が制動しない結果となった。最後に、実験ケース(a)の液体の揺動を撮影して、スロッシングによる制振効果の原理を図4に描いた。これより、スロッシング周期が建屋の固有周期に同調することで、容器が板ばねにより復元しようとする方向と逆向きに、液体の揺動壁圧が働く制動の原理が理解できる。

4. まとめ

液体のスロッシング効果を利用した制震構造模型(SMD)を開発し、実証実験により制震効果を確認した。同模型は液体のスロッシングによる制動のメカニズムが理解しやすいことから、今後は学習教材としての活用が期待できる。

【謝辞】

模型制作にあたり、本学非常勤講師の山口浩二先生に多大なご協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

1) 小松敬治：スロッシング・液体揺動とタンクの振動，森北出版，2015。

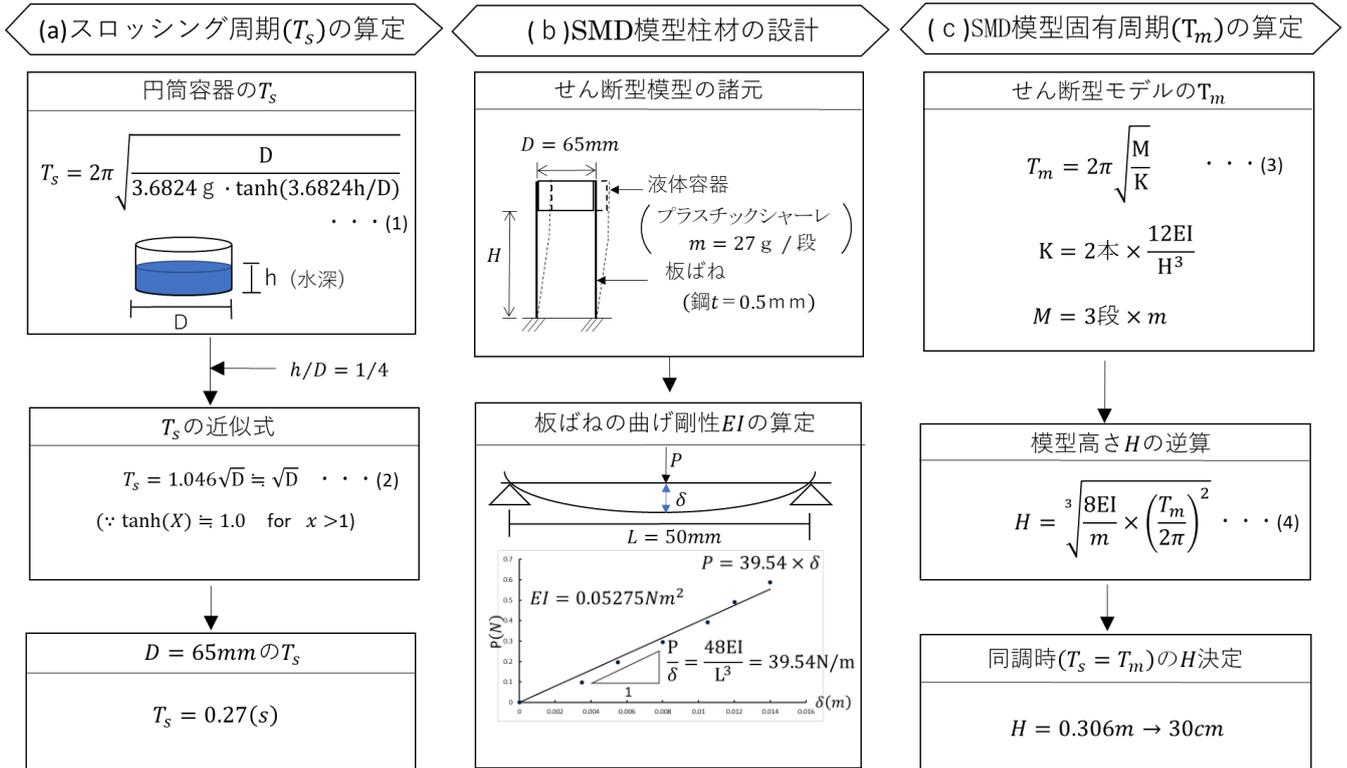


図1 : SMD 模型の設計フロー



図2 : SMD 模型の制作工程

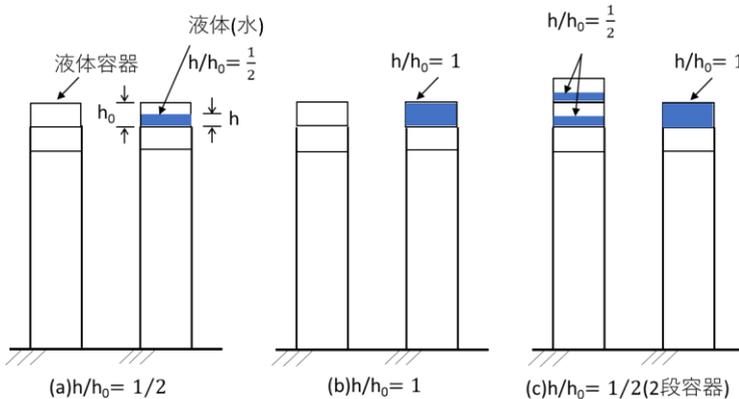


図3 : スロッシングによる制振効果の実験ケース

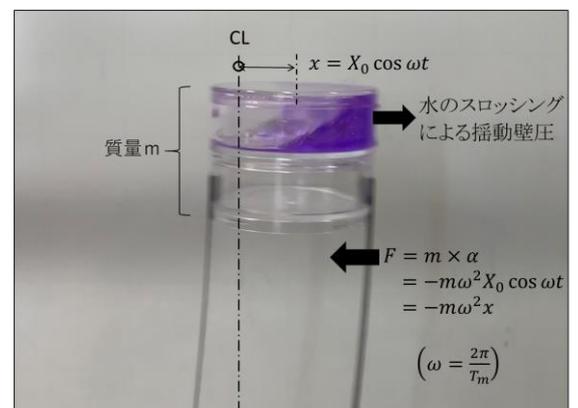


図4 : スロッシングによる制振効果の原理