

1. 研究背景

機械や構造物に減衰性能を付加するために使用されている動吸振器のようなものには、ダンパー、制振材料、摩擦などがあるが、いずれも速度に抗して働く減衰力によりエネルギーを消散させるものであり、その消散メカニズムも理解しやすく、一般的にその運動方程式のなかで速度などの関数として表現される場合が多い。しかし、ダンパーや制振材料を使用しているのがコスト面で問題がある。

そこでロッキングによる減衰には材料やデバイスとしての減衰が不要であることに着目し、その減衰を動吸振器に利用することを考える。通常の剛体のロッキング振動は、非線形性が強く減衰の大きさも剛体の高さとの比でほとんど決まってしまうため調整が難しい。そこで、剛体の底面の形状がその減衰特性に大きく影響することに着目し、底面の形状により減衰性能を調整する方法を提案する。底面の形状により減衰性能がどのように変化するかを理論的に導くとともに、実験により提案する方法の妥当性について検討する。

2. 底面が平面の場合のロッキング

Fig.1 のような底面が平面の剛体のロッキングについて、平面での運動方程式を時間で積分し塑性衝突であるという条件を加えれば、衝突前の角速度 $\dot{\theta}_1$ と衝突後の角速度 $\dot{\theta}_2$ の角速度比 ϕ が式(1)のように剛体の形状や質量で得られる。また、運動エネルギー比 τ は以下となる。

$$\phi = \dot{\theta}_2 / \dot{\theta}_1 = \frac{2H^2 - B^2}{2H^2 + 2B^2} = \frac{2 - \gamma^2}{2 + 2\gamma^2} \quad \tau = \left(\frac{2 - \gamma^2}{2 + 2\gamma^2} \right)^2 \quad (1)$$

ここで、 γ は高さに対する幅の比 B/H である。Fig.2 に直方体の場合の γ に対する衝突前後の角速度比 ϕ の変化を示す。図 2 より高さに対して幅が大きくなれば ϕ は小さくなる。すなわち減衰は大きくなる。減衰比については位置エネルギーが最小のタイミングでの角速度の 1 サイクル前との比を ν 、同じタイミングでの運動エネルギーの 1 サイクル前との比を ε とすれば

$$\nu = \sqrt{\varepsilon} = \sqrt{\tau^2} = \tau \quad (2)$$

対数減衰率 δ 、減衰比 ζ は以下になる。

$$\delta = -\ln \nu \quad (3)$$

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}} \quad (4)$$

以上により、非線形性が強いロッキングであるが、減衰比には振幅依存性がなく、高さとの関係を用いれば、減衰比は広い範囲で自由に設計することが可能である。しかし、幅を極端に小さくすればわずかな振幅でも転倒してしまう。

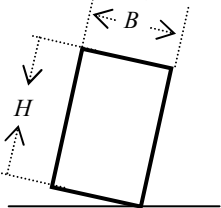


Fig.1 Rocking of rigid body

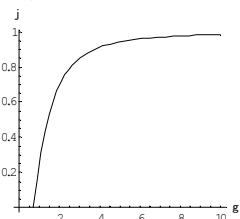


Fig.2 Effect of γ on ϕ

3. 底面が多角形の場合のロッキング.

復元モーメントと角変位の関係や振幅範囲をあまり変化させずに減衰を自由に設計することが可能な方法として、Fig.3 や Fig.4 のような底面の形状を多角形にすることを考える。底面の形状を多角形にすることにより自由に減衰比を調節することで制振対象に合わせた減衰比が設計できると考えられる。ある底面の頂点での衝突直前、あるいは衝突直後の回転速度の 1 サイクル前の角速度に対する比 ν は

$$\nu = \sqrt{\varepsilon} = \tau^2_1 \cdot \tau^2_2 \cdot \dots \cdot \tau^2_n \quad (5)$$

となり慣性モーメント $J=0$ という条件を仮定すれば ν と頂角 β の関係は

$$\nu = (\cos \beta_1 \cos \beta_2 \cdot \dots \cdot \cos \beta_n)^2 \quad (6)$$

となる。対数減衰率、減衰比は式(3)、(4)と同様である。

導出した式を用いて、Fig.3 のような剛体の減衰比を計算した結果を Fig.5 に示す。Fig.3 は底面の数(分割数)が $n=4$ であるが、 $n=1, n=2, n=4$ の場合について減衰比 ζ を示す。 $J=0$ とした時、Fig.5 より β が大きいほど減衰比が大きくなり、また n が大きいほど減衰比が小さくなっていることがわかる。故に高さに対する幅を与えた場合でも、分割数 n を変更することにより離散的ではあるが減衰比を調節することができる。

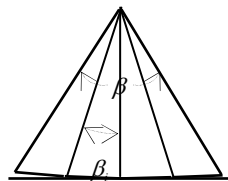


Fig.3 Almost straight line

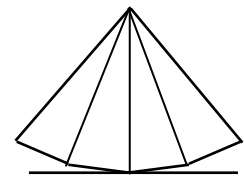


Fig.4 General polygon

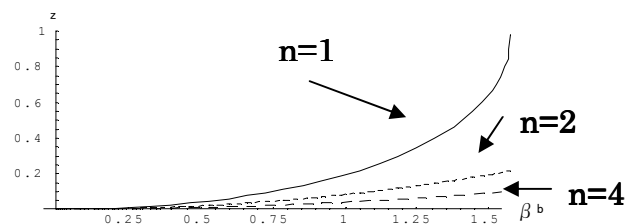


Fig.5 Effect of β and n on ζ

4. 実験による検討

三次元動作解析カメラを使い、剛体のロッキング(分割数 1, 3, 5)を 30° に傾けて自由振動させて、振動特性を観察した。また、底面の傾斜角度は $1^\circ, 10^\circ$ を使用した。図は省略するが、実験結果より、傾斜の角度が $1^\circ, 10^\circ$ とともに分割数を大きくするにつれて振動数、振幅が大きくなり、減衰比は小さくなった。これは理論と一致する。また、制振対象の構造物を製作し、剛体のロッキングによる動吸振器の制振性能の確認実験を行なった結果、ある程度の制振性能が確認でき、剛体のロッキングによる制振の見通しが得られた。