

1. 背景と目的

摩擦力は速度と反対方向へ力が働くため、エネルギーを消散し、振動を減衰させることは一般的に知られている。しかし、摩擦による減衰特性は非線形であるため動的設計上好ましくない。

そこで、本研究では、摩擦を用いても1サイクルあたりの消散エネルギーが等価であるような仕組みを提案する。さらに、提案する仕組みが線形減衰と等価な減衰特性を有することを数値シミュレーションにより示す。

2. 摩擦による減衰の線形化

一般的な摩擦による減衰として、摩擦係数、および法線力は一定の場合を考え、相対変位振幅をXとし、1サイクルあたりにける消散エネルギーを用いて線形減衰と摩擦による減衰の減衰特性の差を調べる。図1のような摩擦による消散エネルギーと線形減衰による消散エネルギーが等しいとすれば、摩擦による減衰の等価な粘性減衰は

$$C_E = \frac{4F}{\pi\omega X} \dots (1)$$

となる。式(1)より、共振などで変位振幅Xが大きくなるにつれて等価な減衰係数が小さくなり、減衰性能が低下し、応答振幅がますます大きくなることわかる。しかし、図2のように法線力すなわち摩擦力の大きさが変位に比例するような構造にすることで、一周周期あたりの消散エネルギーは変位振幅の2乗と比例関係になり、線形における粘性減衰の消散エネルギーと等価にすることが可能になる。

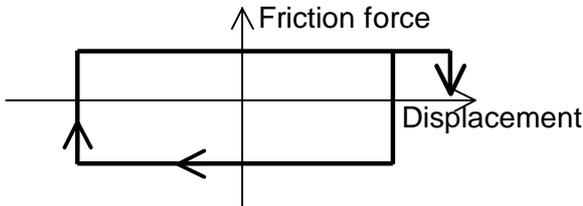


Fig.1 Displacement-friction force diagram (Friction force is constant)

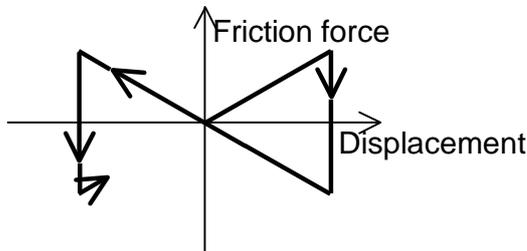


Fig.2 Displacement-friction force diagram (Friction force is proportional to displacement)

3. 提案する構造

振動振幅に比例した法線力を実現するための構造として、図3(a)のようなX型の構造を提案する。ABCDの4箇所では、ほとんど摩擦がなく摺動するか、非常にやわらかいばねで支持されているとする。中心であるEでは、2本の梁がピンジョイントで結合されており、そのジョイントの摩擦によ

る減衰を考える。自重は2本のばねによって支えられており、静止時の2本のばねの張力が等しくなるように調整しておく。2本のばねのばね定数の大きさが異なるように設定しておけば、静止時には法線力はゼロで、上下方向に振動する時、摺動部にかかる力は振動変位に比例する。

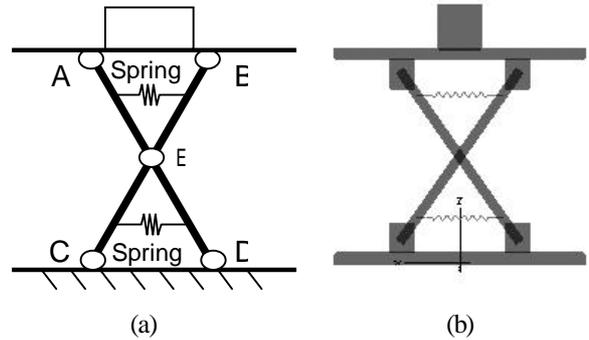
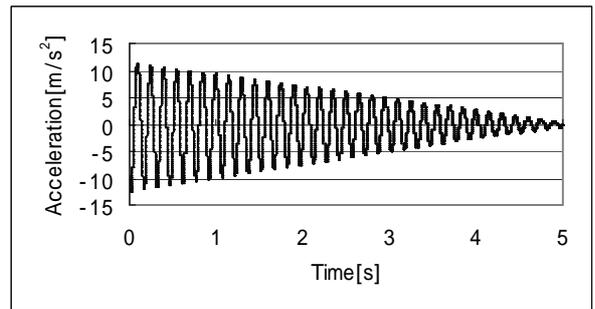


Fig.3 Proposed structure

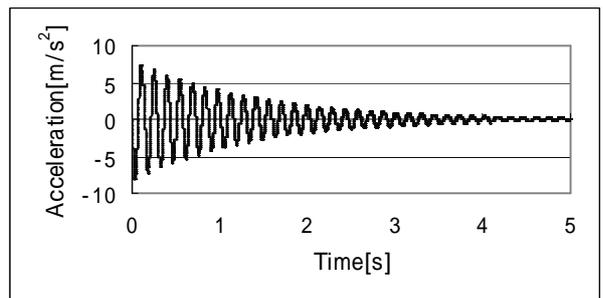
4. 数値シミュレーションと結果

図3(b)に解析モデルを示す。上下方向に自由振動をさせ、モデル上部における上下方向の加速度を計算する。シミュレーションにはMSC.visualNastran4Dを用いる。

図4(a)に摩擦力が一定である場合、(b)に摩擦力が振動変位と比例関係である場合の計算結果を示す。(a)では、摩擦による非線形減衰により直線的に振幅が減少しているのに対して、(b)では線形減衰と同様の指数関数的な減衰を示した。これらから、提案する構造を用いることにより、線形の減衰と等価な減衰を得ることが可能であることを確認できた。



(a) Friction force is constant



(b) Friction force is proportional to displacement

Fig.4 Waveform of free vibration

(参考文献 省略)