

変位の絶対値に比例する摩擦力を生成する摺動装置に関する研究

崇城大学工学部エコデザイン学科 正会員 片山拓朗
 熊本大学大学院自然科学研究科 フェロー 山尾敏孝

1. はじめに

構造物の減衰装置には粘性型、摩擦型などがある。粘性型は減衰力が速度に比例するので、長周期構造物に適用する減衰装置は短周期構造物のそれに比べて大型化する傾向にある。摩擦型は摩擦力の大きさが変位に拘わらず一定なので、小振幅時にはすべり面の固着により機能が發揮されず、振幅の増加に対して等価粘性減衰定数が減少するなどの問題がある。よって、減衰力が変位に比例し、固有周期の長周期化により等価粘性減衰係数が低下しない減衰装置があれば、固有周期の長短に拘わらずに小振幅から大振幅までの振動エネルギー吸収を効率的に行えると考えられる。

本研究では、作動方向に僅かに勾配を持ち且つ勾配が逆となる二種類の平面摺動面を持つ凹型と凸型の二つの摺動体、U型板ばね、および固定はりで構成する摺動装置を提案し、変位の絶対値に比例して摩擦力が増加する摺動装置の力学特性に関する実験について報告する。

2. 摺動装置の基本構造と力学モデル

(1) 凹型・凸型摺動体

摺動装置を構成する凹型・凸型摺動体の基本構造を図-1に示す。凹型・凸型摺動体はそれぞれ昇り勾配(i)の前方用摺動面と下り勾配(-i)の後方用摺動面を持つ。前方用摺動面と後方用摺動面の数はそれぞれ2面と1面であり、後方用摺動面は左右の前方用摺動面の間に配置する。二つの摺動体は互いの凹凸面をかみ合い一体となる。前方移動時には前方用摺動面同士のみが密着し、後方移動時には後方用摺動面同士のみが密着する。中立時は前方移動時と後方移動時の中間の状態と定義し、中立時の摺動体の組立高さを h_d とする。

二つの摺動体の相対変位を u_d とし、相対変位 u_d が生じたときの摺動体の高さの変化を v_d とすると、 v_d は次式で表される。

$$v_d = i|u_d| \quad (1)$$

高さの変化 v_d は相対変位 u_d の絶対値に比例するので、この構造特性を利用して摺動面に相対変位 u_d の絶対値に比例する圧縮力を発生させる。

(2) 摺動装置の力学モデル

図-2に摺動装置の力学モデルを示す。凹型・凸型摺動体の上面にU型板ばねと固定はりを設置し、固定はりの上面をローラで鉛直方向に固定する。ローラは摺動装置の力学特性を説明するために使用するが、この摺動装置を利用する減衰装置の構成に必須の条件ではない。中立時のU型ばねと固定はりの合計高さを h_s とすると、摺動体に高さ変化 v_d が生じると高さは h_s から $h_s - v_d$ に変化する。

摺動装置の鉛直ばね定数を S_y とする。固定はりに作用する水平力 H と凹型・凸型摺動体の相対変位 u_d の関係は式(2)で示される。

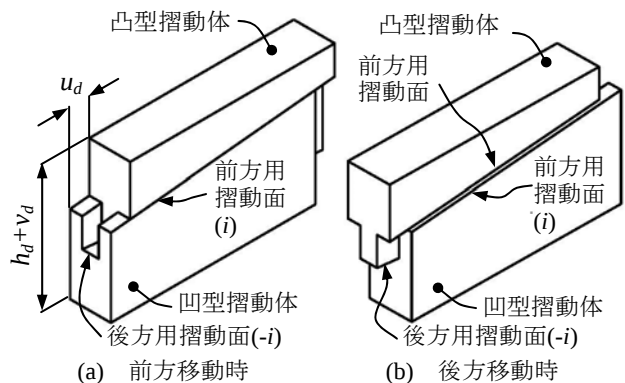


図-1 凹型・凸型摺動体の基本構造

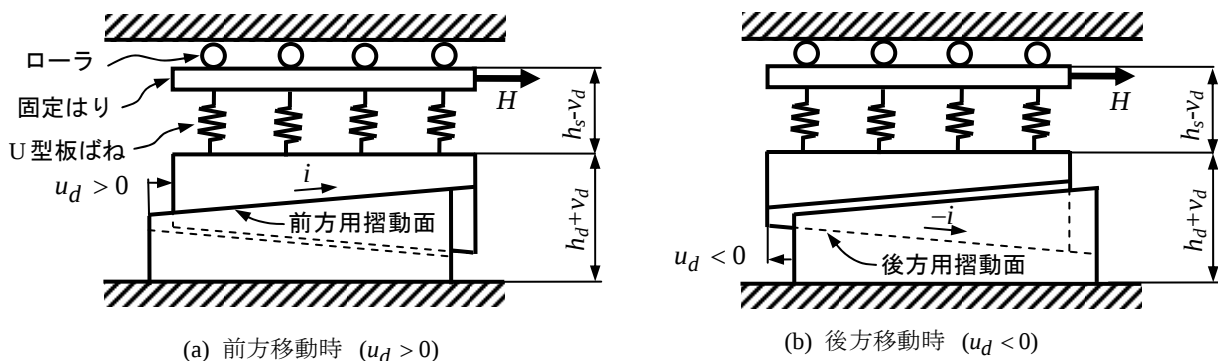


図-2 摺動装置の力学モデル

キーワード：凸型摺動体、凹型摺動体、摺動装置、U型板ばね、摩擦力、変位

連絡先：(〒860-0042 熊本市池田 4-22-1, Tel:096-326-3792, Fax:096-311-1769, Email:katayama@eco.sojo-u.ac.jp)

$$H = \lambda (S_y i |u_d| + V_0) \quad (2)$$

$$\lambda = \begin{cases} (\mu_F + i)(1 - i\mu_F)^{-1}, & u_d \geq 0 \text{ and } \dot{u}_d > 0 \\ -(\mu_F - i)(1 + i\mu_F)^{-1}, & u_d \geq 0 \text{ and } \dot{u}_d < 0 \\ (\mu_B - i)(1 + i\mu_B)^{-1}, & u_d < 0 \text{ and } \dot{u}_d > 0 \\ -(\mu_B + i)(1 - i\mu_B)^{-1}, & u_d < 0 \text{ and } \dot{u}_d < 0 \end{cases} \quad (3)$$

ここに、 V_0 は凸型摺動体、U型板ばねおよび固定はりの自重などの初期圧縮力である。 λ は運動抵抗係数と呼ぶ。 μ_F と μ_B はそれぞれ前方用摺動面と後方用摺動面の動摩擦係数である。

(3) U型板ばね

図-3はU型板ばねの基本構造である。記号 a, r, t, b, E, G はそれぞれ直線部長さ、曲げ半径、板厚、長さ、縦弾性係数、せん断弾性係数である。板ばねの形状の特徴より y 方向のばね定数 k_y は主に板ばねの曲げ剛性で決まる。U型板ばねはボルトなどで凸型・凹型摺動体に固定する。ばねの個数を n とすると、摺動装置の鉛直方向のばね定数は次式で表される。

$$S_y = \psi n s_y \quad (3)$$

ここに、 ψ はばねの取り付け方法などで決まる補正係数である。

3. 摺動装置の荷重試験

式(2)で示される図-2の力学モデルの水平力—相対変位式の妥当性を実験で検証する。写真-1は摺動装置の外観である。凸型摺動体と凹型摺動体の材質はそれぞれ快削黄銅(C3604)とステンレス鋼(SUS304)である。摺動面の勾配は $i=0.02$ であり、前方用摺動面と後方用摺動面の幅はそれぞれ5.9mmと7.8mmとし、摺動体の長さは400mmとした。摺動装置は摺動面の機械仕上げの設計値は平均粗さ $R_a=3.2$ 以下としたが、実際の表面粗さは計測していない。摺動面には動摩擦係数と静止摩擦係数の差を小さくするためにトリクロロエタン系の潤滑材を塗布する。摩擦実験により得られた動摩擦係数は $\mu_F=0.16$ と $\mu_B=0.18$ である。

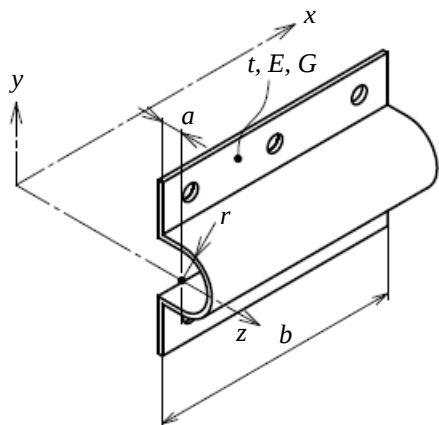


図-3 U型ばねの基本形状

U型板ばねの材質はステンレス鋼(SUS304)であり、各部の寸法は、 $t=0.3\text{mm}$ 、 $a=5\text{mm}$ 、 $r=5.3\text{mm}$ 、 $b=42\text{mm}$ である。実測したU型板ばね単体のばね定数とU型板ばねを8個取り付けした摺動装置のばね定数はそれぞれ $s_y \approx 46\text{N/mm}$ と $S_y \approx 400\text{N/mm}$ である。

図-2に示すように写真-1の摺動装置を試験装置に固定し、固定はりの上面をローラで水平可動となるように支持し、水平力と水平変位の関係を調べた。ローラは直径20mmのアルミ製ローラとし、ローラの個数は4個である。水平変位と水平力はそれぞれレーザー変位計と荷重計で計測した。

図-4は水平力と相対変位の履歴曲線の実験値と式(2)で示す理論値の比較である。初期圧縮力は $V_0=25.2\text{N}$ である。図より履歴曲線は蝶が羽を広げた時の形となり、実験値は理論値に良く対応することが確認される。

4. まとめ

変位の絶対値に比例して摩擦力が増加する摺動装置を提案し、実験で得られた水平力と変位の履歴曲線が理論値と良く対応することが確認された。今後は、提案の摺動装置の水平力と水平変位の履歴特性を活かした減衰装置について研究を行う予定である。

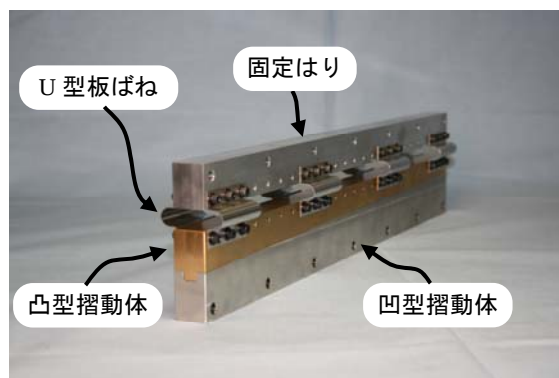


写真-1 摺動装置の外観

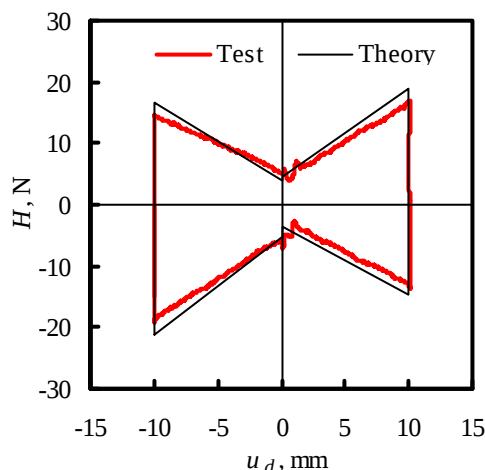


図-4 摺動装置の荷重—変位曲線