

# 614 変動移動面速度下における強制摩擦振動の実験

Solid Friction of Nonconstant Self-Excited Vibrations with Nonconstant-Speed Sliding System

○学 永井 克志 (新潟大学院)

正 高野 英資 (新潟大工)

正 田村 隆 (新潟大工)

Katsushi NAGAI, Niigata University, 8050, Igarashi 2 no cho, Niigata-shi

Eisuke TAKANO, Niigata University

Takashi TAMURA, Niigata University

## 1. 緒 言

回転振動系の実験装置を用い、移動面が正弦波状変動速度成分を有しながら走行する場合の強制自励系の摩擦による振動について実験的に調べ、理論的な検討を加えた。

## 2. 実験系の運動方程式と運動摩擦モーメント-速度特性

2.1 実験系 図1は使用した装置の主要部である。この装置は正弦波状速度変動成分を有しながら回転するロータとその軸心回りに角振動をおこなう振り子からなる1自由度回転振動系である。振り子は水平ばねにつながれ、振り子のすべり接触用突起部 (SK3 製) は加圧ばねによりロータ (S45C 製) 円筒面に押しつけられ、加圧力を受けている。

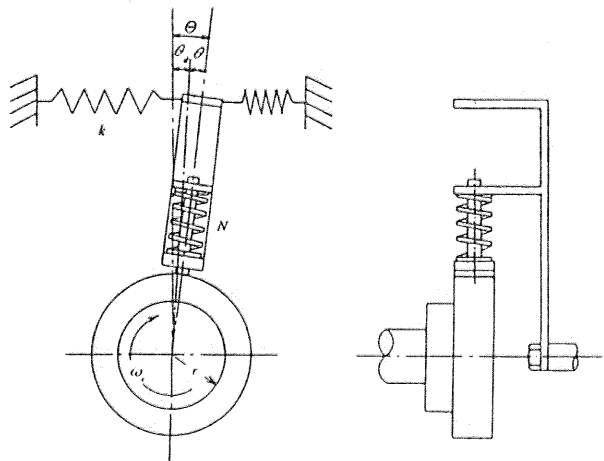


Fig.1 Rotational oscillation model of one-degree-freedom system

2.2 運動方程式 振り子の軸心回りの慣性モーメントを  $J$ 、水平ばねのばね定数を  $k$ 、ロータの回転角速度を  $\omega_r$  とし、水平ばねが変形を受けない位置からの振り子の角変位を  $\theta = \theta_0 + \theta_1$ 、さらに、すべり摩擦モーメントと水平ばねによる軸心回りのモーメントがつり合う角度位置を  $\theta_0$  とおくと運動方程式は次式(1)のように与えられる。ここで  $M(\dot{\theta} - \omega_r)$  は軸心回りの運動摩擦モーメントを示し、これは後述の図2のように  $\dot{s} = \dot{\theta} - \omega_r$  の関数となる。

$$J\ddot{\theta} + M(\dot{\theta} - \omega_r) + k\theta = 0 \quad (1)$$

適当な変数変換を与えれば、式(1)は式(2)のようになる。ここで  $\eta = \theta\sqrt{k/J}/V$ 、 $\tau = t\sqrt{k/J}$  であり、 $\dot{s}$  は、式(3)で与えられる。'は  $\tau$  による微分を示す。

$$\eta'' + F(s') + \eta = 0 \quad (2)$$

$$s' = \eta' - (Y_0/Y + (Y_f/Y)\sin \Omega \tau) \quad (3)$$

2.3 運動摩擦モーメント速度特性 図2は実験で得られた曲線で、図2(a)は運動摩擦モーメント速度特性が直線と双曲線の合成関数の式(4)で近似できる場合であり、図(b)は3次関数の式(5)で近似できる場合の例である。式中

の変数は式(6)で与えられる。なお、実験曲線が、この両者と近似できない場合には、適宜複数の折れ線で近似し、断片線形化して理論解を求めた。

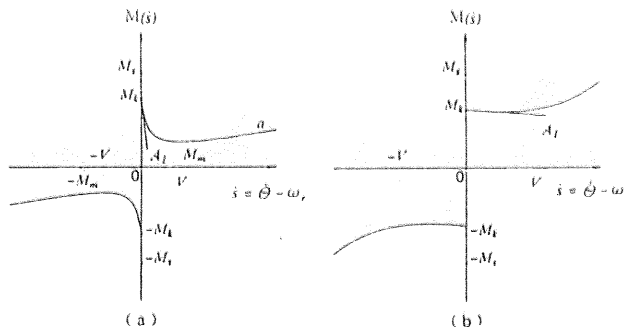


Fig.2 Friction-velocity characteristics

$$F(s') = As' + Bs' / |s'| + D / (s' + Cs' / |s'|) \quad (4)$$

$$F(s') = (X_v / 2Y)s' / |s'| + 2B_1 s' (1 - s'^2 / 3) \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} X_v &= 2M_k / k, \quad X_m = 2M_m / k, \quad Y = V\sqrt{J/k} \\ Y_0 &= \Omega_0\sqrt{J/k}, \quad Y_f = \Omega_f\sqrt{J/k}, \quad \Omega = \omega\sqrt{J/k} \\ B_1 &= A_1 / 2\sqrt{kJ}, \quad A = a\sqrt{kJ}, \quad B = b/V\sqrt{kJ} \\ C &= c/V, \quad D = d/V^2\sqrt{kJ} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

2.4 運動方程式の解 Kryloff-Bogoliuboff の平均法により調和振動形の解および非調和振動形の解を求め、実験において得られた各種変位両振幅曲線などと比較する場合の参考値とした。付着運動を考慮する場合には精度の高い断片線形近似法により定常振動解を求めた。

## 3. 実 験

3.1 運動摩擦モーメント-速度特性 図3は、実験で得られた運動摩擦モーメント-相対角速度曲線の一例である。実験値を白丸、そしてそれらを最小自乗法を用いて近似した曲線を実線で示した。最大静止摩擦モーメント  $M_s$  を黒丸で付記している。図4はロータに働く振り子の垂直力  $N$  が 1.17N (白丸)、2.17N (黒丸)、3.17N (白四角) の場合である。本実験では垂直力  $N$  が小さいときに、運動摩擦モーメントが相対角速度の増加に伴い急速に減少し、極値に達した後、緩やかに増加する合成関数の性質に合うデータが多数得られた。

## 3.2 移動面速度を変化させた場合の振幅変化曲線

図5は、縦軸に定常振動解の両振幅  $2A$  をとり、横軸に  $Y_0/Y$  をとって示した角度  $\theta$  の振幅変化曲線で、白丸印は実験データを示す。破線および小黑丸印付の実線は平均法により求めた理論曲線であり、後者の小黑丸はリミットサイクルの時間自乗平均振幅の値である。実線上の各種の大きいマークで示した点は断片線形近似法によって得られた

理論値で、本方法により得られる理論解の各種振動形態を示す。○印は物体が移動面速度を越えることのない速度範囲ですべり運動のみをおこない、強制外力周期振動となるもの、①印は付着運動と移動面速度を越えないすべり運動が交互に繰返される強制外力周期振動を示す。また●印はすべり運動のみからなる定常振動解ではあるが、移動面速度を越える部分と、越えない部分のすべり運動が交互に繰返される強制外力周期振動を示す。その他□印、■印は強制外力の2倍周期振動であり、△は付着を含む複雑な定常振動解を示す。また、図5は前掲の図3の摩擦特性に対して移動面速度を変化させたときに得られた場合の例であり、本実験では、図5のように速度変動成分の大きさ  $Y_1/Y$  が平均速度の大きさ  $Y_0/Y$  より大きい場合に実験データと理論データは同じ振幅特性変化の傾向を示した。

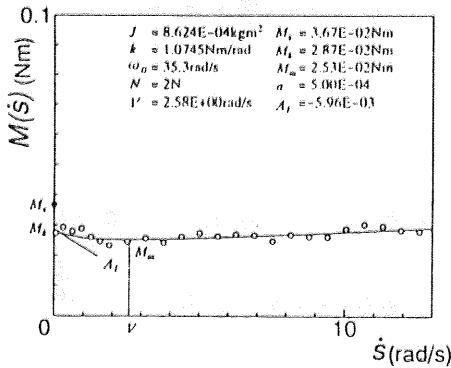


Fig.3 Frictional characteristics with experiment

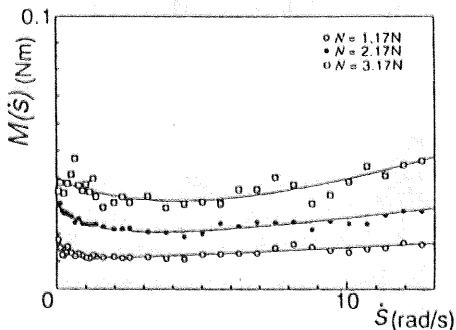


Fig.4 Frictional characteristics with experiment

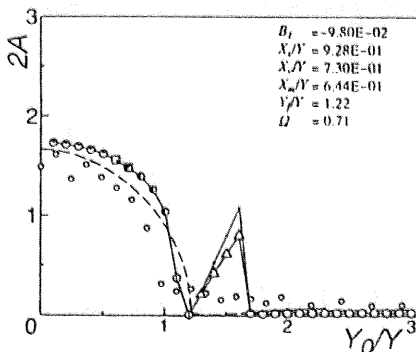


Fig.5  $Y_0/Y - 2A$  curve

### 3.3 速度変動成分の円振動数比による振幅変化

図6は縦軸に定常振動の両振幅  $2A$ 、横軸に速度変動成分の円振動数比  $\Omega$  をとり、 $\Omega$  を変化させた場合に得られる角度振幅に関する実験データで、白丸で示した。理論データに関しては図5と同様に平均法によるものを破線、断片線形近似法によるものを実線で示し、大きい各点マークは

各種振動形態を示す。△印、◇印、①印は付着を含む複雑な定常振動解を表す。図6は、図5と同様に図3の特性に対する場合の例である。本実験では  $\Omega = 1$  の付近で実験データの値はやや大きくなるが明確な共振曲線を得ることができなかった例であるが、平均法や断片線形近似法などにより得られる理論的な大振幅発生位置は定量的に一致している。

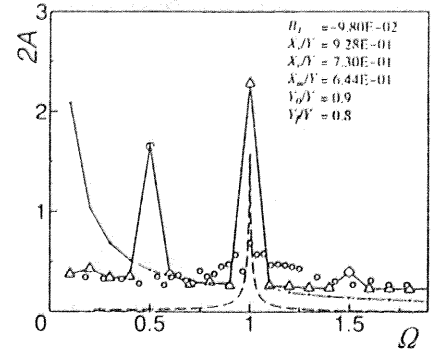


Fig.6  $\Omega - 2A$  curve

3.4 速度変動成分の大きさを変化させた場合の振幅変化曲線 図7は、縦軸に定常振動解の両振幅  $2A$ 、横軸に  $Y_1/Y$  をとり、速度変動成分の大きさを変化させた場合に得られる角度振幅変化のデータで、小さな白丸印で示した。理論データの表現方法に関しては前述のものと同じである。本実験では図7のように  $Y_0/Y$  の値より  $Y_1/Y$  の値が大きい場合において実験データと理論データは定性的に同じ振幅特性変化の傾向を示している。

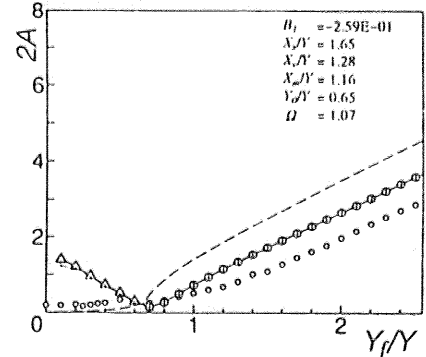


Fig.7  $Y_1/Y - 2A$  curve

## 4. 結 言

本報では正弦波状速度変動成分を有しながら回転するロータとすべり接触を行いながら軸心回りに角振動をおこなう振り子の運動について実験的に調べ、理論解との比較を行った。1自由度回転振動系を構成する装置を用い、運動摩擦モーメント-速度特性曲線や各種振幅特性のデータを得ることができた。これらの実験値は平均法と断片線形近似法によって得られた理論解と比較された。

## 文 献

- (1) 高野・磯部・榊・倉本・根岸, トライボロジスト, 36-10(1991), 805.
- (2) 高野・磯部・榊・倉本・根岸, トライボロジスト, 36-10(1991), 813.
- (3) 倉本・高野・根岸, 機論, 58-552, C(1992), 2348.
- (4) 倉本・高野・根岸, 機論, 59-559, C(1993), 665.
- (5) 倉本・高野・根岸, 機論, 59-563, C(1993), 1999.