

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月8日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009年度～2011年度

課題番号：21560233

研究課題名（和文） 摩擦面を有する系に生じる不規則振動に関する研究

研究課題名（英文） Study for friction induced random vibration

研究代表者

山本 浩 (YAMAMOTO HIROSHI)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：20220494

研究成果の概要（和文）：

摩擦面を有する一自由度系においては、すべり速度が速くなるほど発生する振動の平均振幅は大きくなるとともに、比摩耗量は減少する。またすべり速度と押付力を一定にして長時間摩擦させると、平均的な摩擦係数は徐々に小さくなるとともに比摩耗量も減少し、これに対応して振動の平均振幅が大きくなる。これは、すべり速度が変動するときの摩擦振動の平均的な摩擦係数、比摩耗量、振動の平均振幅の増減関係と同様である。

研究成果の概要（英文）：

In one degree of freedom vibration systems with frictional surfaces, average amplitude of vibration increases and average frictional coefficients and specific wear rates decrease as a sliding velocity increases. During the frictional surfaces contact each other for long time, the average frictional coefficients and the specific wear rates decrease and the average amplitude of vibration increases. This trend is the same as that of the sliding speed fluctuating.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：振動解析・試験，トライボロジー

## 1. 研究開始当初の背景

摩擦面を有する系においては、接触面に平行な方向に摩擦力が作用するとともに、接触面は摩耗することにより徐々に変形していく。このような系においては、摩擦力に起因する

振動が生じる場合があることが広く知られているが、接触面に作用する押付力および接触面の相対すべり速度と発生する振動の振幅との関係については十分に明らかになっていなかった。また接触面の摩耗により接触状態が時々刻々変化するものの影響について

でも明らかにされておらず、発生する振動を不規則振動と捉えた研究は殆ど無かった。

## 2. 研究の目的

摩耗に起因する摩擦面形状の不規則変化などに起因すると考えられる、摩擦面を有する系に生じる不規則振動について、接触面に作用する押付力と接触面の相対すべり速度が、摩擦面の平均的な摩擦係数、発生する振動の振幅、摩耗量に及ぼす影響を明らかにするとともに、それぞれの長周期変動を捉えることにより、摩耗などに起因すると考えられる振動の不規則性を明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験装置概略

図1に実験装置の概略を示す。無段変速機を介してモータにより回転される鋼鉄製のディスクにアルミニウム製のピンを押付ける構造になっている。ピンはホルダに取り付けられており、ホルダは摩擦面となるディスク表面の円周方向であるすべり方向（以下接線方向と呼ぶ）の剛性のみ低くその他の方向の剛性は著しく高くなるように支持ばねを介してリニアガイドに取り付けられており、これにより接線方向変位のみ許容されその他の方向には拘束される一自由度系を実現している。ばねによる復元力と接触時にディスクから作用する摩擦力以外の外力を極力小さくするように、ホルダはエアスライダで支持されており、接線方向振動の固有振動数はほぼ20Hzになるように支持ばねと可動部質量を調整している。また摩擦実験時にはディスクに対してピンが押し付けられるが、そのディスク表面に直交する方向にピンから作用する力である押付力はリニアガイドに取り付けられたエアシリンダよりホルダを介して与えられている。なお、無段変速機により設定されるディスクのすべり速度は、ピンとディスクが接触している場合であっても摩擦力により変動することなく一定であることを、高速度ビデオカメラによる観察により確認している。

### (2) 実験方法

ピンの接線方向変位をギャップセンサで測定し、得られた振動波形から平均的な摩擦係数と発生する振動（以下摩擦振動と呼ぶ）の振幅と振動数を得る。またピンに押付力が作用する方向（以下法線方向と呼ぶ）の変位を測定することにより、ピンの摩耗量を時々刻々得る。そして摩耗粉の接触部分からの排出の様子を高速度ビデオカメラにより観察する。

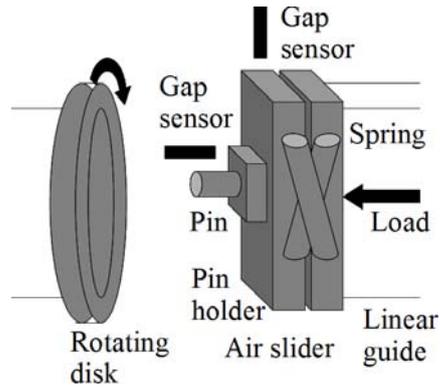


図1：実験系概略

## 4. 研究成果

### (1) ピンの位置の時刻暦応答

図2に、押付力を9.6[N]としたときに発生するピンの接線方向位置の時刻暦応答を、すべり速度をパラメータとして示す。図に示す通り、すべり速度によらず発生する振動数はほぼ一定となっていることがわかる。また、ピンの平均的位置に対応する振動の中心となる位置は、すべり速度が大きくなるほどわずかながら上方に向かっていくことから、平均的な摩擦力がわずかに小さくなっていることがわかり、この場合は押付力が一定であることを考慮すると平均的な摩擦係数がわずかに小さくなっていることがわかる。また発生する振動の振幅はすべり速度が大きくなるほど若干大きくなることがわかる。

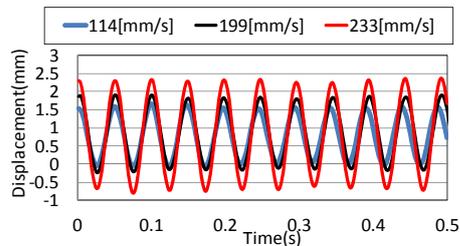


図2：ピンの位置の時刻暦応答

図3に、すべり速度を220[mm/s]としたときに発生するピンの接線方向位置の時刻暦応答を、押付力をパラメータとして示す。図に示す通り、押付力によらず発生する振動数はほぼ一定となっていることがわかる。また、ピンの平均的位置は押付力が大きくなるほど下側に向かっていくことから、平均的な摩擦力が大きくなっていることがわかる。また発生する振動の振幅は押付力が大きくなるほど小さくなることがわかる。

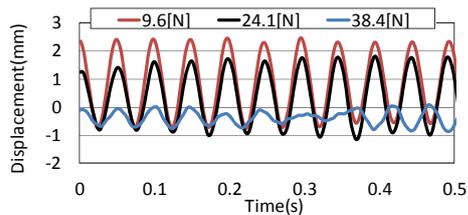


図 3 : ピンの位置の時刻暦応答

摩擦面が接触しすべり続けるとき、摩耗によりその接触状態は時々刻々変化するため、時間が経過するにつれ摩擦振動の振幅も変化することが予想される。図 4 に押付力 9.6[N]、すべり速度 700[mm/s] のときの、経過時間と摩擦振動の振幅の関係を示す。図より、摩擦振動の振幅はかなり変動することがわかる。また図に示したディスク 1 回転あたり 1 回発生するパルスと比較すると、接触面の条件変動に関連すると考えられる 1 回転の周期より長い周期でゆるやかに変動していることがわかる。

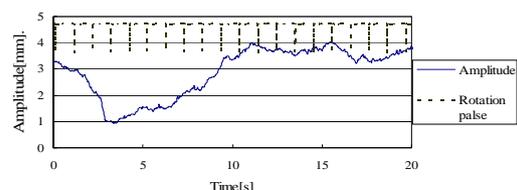


図 4 : 経過時間と振動振幅の関係

また、高速度ビデオカメラを用いてピンとディスクの接触部分近傍を観察したところ、接触部分からの摩耗粉の排出量の変動は回転周期に比べ長い周期であることがわかったが、排出量の変動と振動振幅の変動の間には、明白な関係を見出すことはできなかった。

以下では、まずすべり速度や押付力が及ぼす影響をおおまかにあきらかにするため、十分な時間の平均的な摩擦係数、振動振幅の平均値、摩耗量を評価値として、すべり速度と押付力の影響を明らかにしていく。

### (2) すべり速度の影響

図 4 に、押付力を 9.6[N] としたときの、すべり速度と平均的な摩擦係数および振動振幅の平均値との関係を示す。図より、すべり速度が大きくなるほど摩擦振動の振幅が大きくなっていることがわかる。また平均的な摩擦係数は、静止摩擦係数より小さく、さらにすべり速度が大きくなるほど徐々に小さくなる。このことは、従来の研究における、速度の増大に伴い摩擦力が小さくなる。これが負の減衰力に対応し、結果として事例

振動が発生するという考察に対応している。

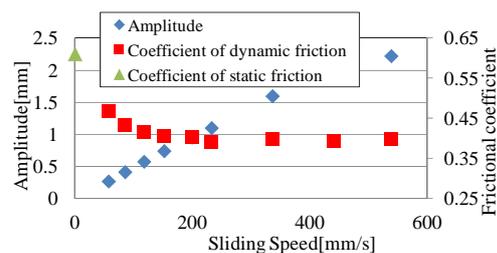


図 4 : すべり速度が振動振幅に及ぼす影響

図 5 に、すべり速度と摩耗量および比摩耗量の関係を示す。図より、すべり速度が大きくなるにつれ摩耗量は多くなるが、比摩耗量は徐々に小さくなっていることがわかる。

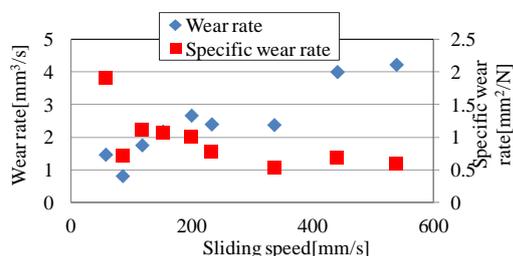


図 5 : すべり速度が比摩耗量に及ぼす影響

### (3) 押付力の影響

図 6 に、すべり速度を 220[mm/s] としたときの、押付力と平均的な摩擦係数および振動振幅の平均値との関係を示す。図より、押付力が大きくなると摩擦係数は若干大きくなるものの、押付力の大きい領域ではさほど変わらず、一方押付力が大きくなるほど摩擦振動の振幅は小さくなるが、押付力の大きい領域ではさほど変わらないことがわかる。

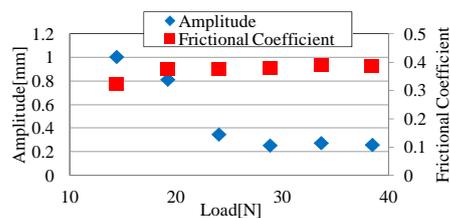


図 6 : 押付力が振動振幅に及ぼす影響

図 7 に、押付力と摩耗量および比摩耗量の関係を示す。図より、押付力が大きくなるほど摩耗量は多くなるが、比摩耗量はさほど変わらないことがわかる。

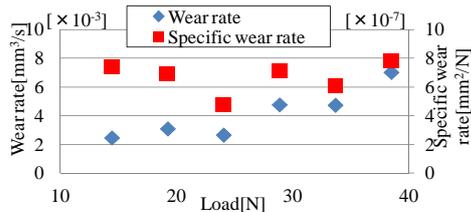


図7：押付力が比摩耗量に及ぼす影響

#### (4) 摩耗による接触条件の変化の影響

図8に、押付力を9.6[N]、すべり速度を220[mm/s]とし、長時間にわたり摩擦面を接触させてすべらせたときの、経過時間と平均的摩擦係数および摩擦振動の平均振幅との関係を示す。また図9に、経過時間と比摩耗量の関係を示す。図8に示す通り、時間の経過とともに摩擦係数は概ね徐々に小さくなり、それに対応するように摩擦振動の平均振幅は概ね増大する傾向にある。またこのとき、図9に示すように、経過時間とともに比摩耗量は概ね減少する傾向にある。この平均的摩擦係数、摩擦振動の平均振幅、比摩耗量の大小関係は、図4および図5に示す、すべり速度を変化させたときのそれぞれの増減傾向と同様であることから、摩耗量の変動が摩擦係数の変動に、ひいては摩擦振動振幅の影響に関係していることがわかる。

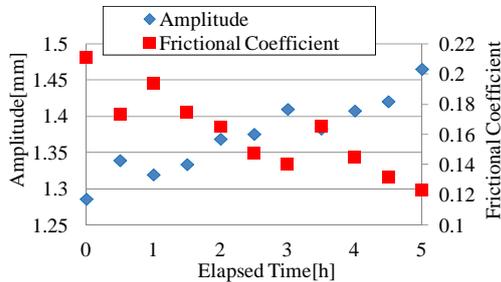


図8：経過時間と振動振幅の平均値および平均的摩擦係数の関係

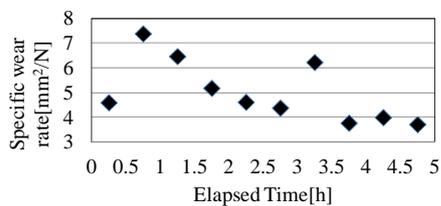


図9：経過時間と比摩耗量の関係

#### (5) 結論

- ①すべり速度が速くなるほど摩擦振動の平均振幅は大きくなる。またこのとき平均的な摩擦係数は低下する。
- ②押付力が大きくなるほど摩擦振動の平均振幅は小さくなる。しかし平均的な摩擦係数は殆ど変化せず、比摩耗量も殆ど変化しない。
- ③すべり速度と押付力を一定にして長時間摩擦させると、平均的な摩擦係数は低下するとともに比摩耗量も減少し、これに対応して摩擦振動の平均振幅が大きくなる。この傾向は①で示すすべり速度が変動したときの摩擦振動の平均的な摩擦係数、比摩耗量、摩擦振動の平均振幅の増減関係と同様である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[その他]

特になし

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山本 浩 (YAMAMOTO HIROSHI)  
 埼玉大学・理工学研究科・教授  
 研究者番号：20220494

##### (2) 研究分担者

鄭 穎 (ZHENG YING)  
 埼玉大学・理工学研究科・助教  
 研究者番号：90375585

##### (3) 連携研究者

なし