

摩擦面を有する系に生じる不規則振動に関する研究

Study of random vibration of mechanical system with frictional surfaces

プロジェクト代表者：山本 浩 (理工学研究科・准教授)

Hiroshi YAMAMOTO (Associate Professor, Graduate School of Science and Engineering)

1 はじめに

向かい合い接触し、面に沿う方向に相対運動する二面(摩擦面)を有する系においては、接触面に沿う方向に摩擦力が作用するとともに、接触面が摩耗することにより接触状態は時々刻々変化する。このような系においては、摩擦力の非線形性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おり、系を表しうる簡単な力学モデルを考え、その振動発生メカニズムを明らかにすることを目的とした機械力学的研究が行われている。一方、二面間の押し付け力、すべり速度、接触面の表面形状などに起因する、摩擦力の変化や摩耗量の変化など、摩擦現象そのものに着目したトライボロジー的研究が行われている。しかし、摩擦現象そのものがまだまだ不明の点が多く、実際の機器において摩擦面を有する系に生じる振動については十分に明らかになっているとは言いがたい。本研究では、摩擦面を有する系における不規則振動を明らかにするための第一ステップとして、系のパラメータである、押し付け荷重、接触面のすべり速度および振れ、摩擦時間が、系の運動特性におよぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2 実験装置・実験方法

本研究では、回転する摩擦円盤(ディスク)の表面に摩擦円筒の先端を押し付けるピン-ディスク型の摩擦試験機を用いた。ピンにはアルミニウム、ディスクには炭素鋼(SK材)を使用した。ディスクの回転は無段変速制御されるモータによって、減速機、歯付きベルトを介してスピンドルに与えた。また、ピンは気体軸受ユニットにより支持されており、気体膜反力に抗して接線方向(すべり方向)に変位するとともに、法線方向(すべり方向に垂直な方向)には摩擦なく変位する構造となっている。そして、ピンのディスクに対する垂直荷重は気体軸受ユニットを介したエアシリンダによって約 150N まで加えることができる。

ピンの接線方向変位およびディスク表面形状に対応する法線方向変位は渦電流式ギャップセンサを用い検出するとともに、ディスク1回転に同期したパルス信号を用いた。実験系は打撃試験により、高い固有振動数を持っていることが確認されていることと、ディスクの回転速度は約 500mm/s(4rps)までと振動数としては低いことから、低周波成分のみに着目し、ディスク1回転を1周期としてフーリエ変換を行うことにより、ピンの平均変位および回転数の整数倍振動成分の振幅を求めた。摩擦力に平行な方向の振動が摩擦力に起因する振動であるので、以下では主にピンの接線方向振動に着目する。また、ピンの押し付け荷重は十分に大きく、予備実験の結果ピンの法線方向変位がディスク面振れと同等であることが確認されたので、以下ではディスク面振れに対応するものとして、ピンの法線方向変位を適宜示す。

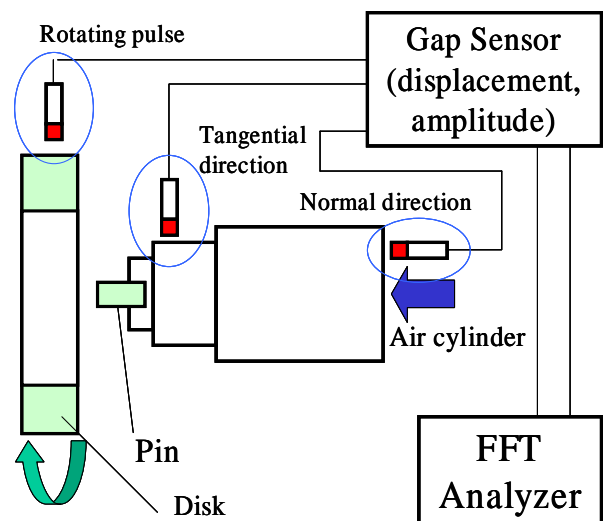


Fig. 1 Experimental apparatus

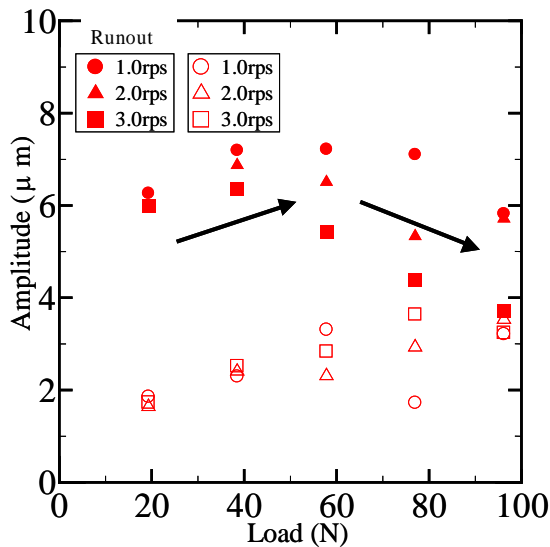


Fig. 2 Tangential amplitude of 1st order

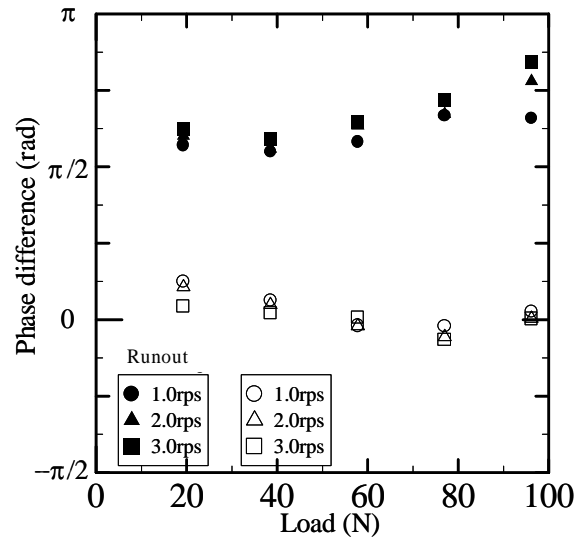


Fig.3 Phase difference between vibration and runout

3 実験結果とまとめ

いずれの振動成分についても、回転同期1次成分が卓越しているため、以下では1次成分の振幅の平均値について押し付け荷重、回転数、面振れ、経過時間の影響を示す。

Fig.2 に接線方向振動振幅と法線方向荷重の関係を、ディスクの面振れ(runout)が大きい場合と極めて小さい場合について、ディスク回転数をパラメータとして示す。図より、ピンの接線方向振動はディスクに面ぶれがある場合の方が大きいことがわかる。そして面ぶれがある場合は、接線方向振動はすべり速度が大きくなるほど減少するが、押し付け荷重に対しては極大値をとることがわかる。

Fig. 3 にピンの接線方向振動とディスクの面振れに対応するピンの法線方向振動との位相差を、ディスクの面振れ(runout)が大きい場合と極めて小さい場合について、ディスク回転数をパラメータとして示す。ディスクに面ぶれがない場合は、ピンの接線方向振動は法線方向振動とほぼ同位相となるが、面ぶれがある場合は法線方向振動に対し90°以上位相が進み、押し付け荷重が大きい場合ほど、すべり速度が大きくなるほど位相進みは大きくなる。

連続摩擦時における摩擦状態の長時間にわたる変化が系の特性に及ぼす影響を明らかにするべく、実験装置を2時間連続稼働させ、状態を観測した。Fig.4に、摩擦力の平均値に対応するピンの接線方向平均変位、ピンの接線方向振動の回転数同期1次成分の振幅、摩擦面の接触面積と経過時間の関係を示す。図より、摩擦面積が長時間で変化する場合、摩擦力は長時間の経過に対しては大きな変化はないが短周期で微小変化しており、一方接線方向振動振幅は、長時間の経過に対する大きな特徴はみられないが、短周期で微小変化している。

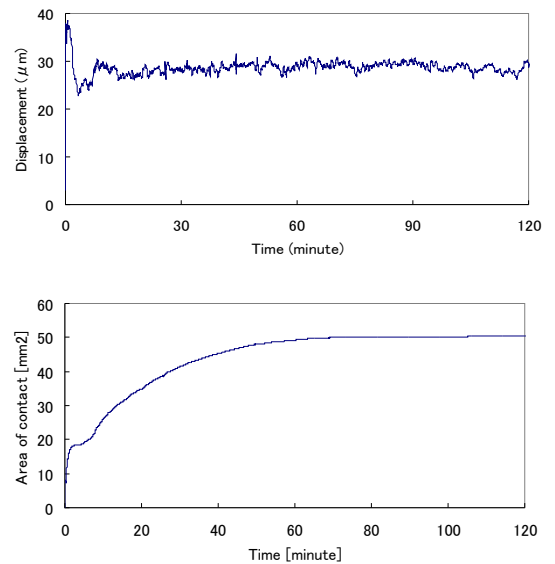


Fig.4 Elapse time vs. frictional surface characteristics