8 摩擦面の可視化

東北大学 大場光太郎*, 菅野誠一郎, 足立幸志,
猪岡光, 加藤康司

The Visualization of Friction

Kohtaro OHBA*, Seichiro KANNO*, Koshi ADACHI*, Hikaru INOOKA* and Koji KATO*

Considering about the condition of two contacting bodies under tangential force, local and micro slip (tangential displacement) initiates and develops before the macroscopic slip occurs. In this phenomenon, there would be various complicated contact conditions which can not be analyzed theoretically before. In some fields to control the tangential displacement, it is important problem to clarify the mechanism.

In this paper, in order to clarify the mechanism of the tangential displacement, we try to make the micro-slip at the contact interface between rubber and glassplate visualize using the correlation methods.

1. まえがき

一般に、接触している二つの物体間の相対移動は、一方の物体にある臨界値以上の接線力が作用したときに発生する。これが巨視的なすべり現象であり、この臨界接線力は、二物体間の押し付け力と摩擦係数の積という形で表される。

しかし、巨視的なすべりに至る以前、すなわち臨界値以下の接線力が作用した場合においても物体の移動（接線力方向変位の発生）が実験的に明らかにされている[1]。

この接線力方向変位の制御は、工業技術の発展、高度化にともなう製品に要求される高精度化、及び特にクリーンルームでは大きな問題となっている機械の微少な振動にともなう微少な摩耗（フレッチング摩耗）に対し、その鍵を握る重要なテクノロジーであり、発生機構の解明が重要な問題となっている。

これに対し、接線力方向変位の発生する機構として、過去に大きく分けて二つの理論解析が行われている。一つは弾性論に基づくR.D.MindlinによるAnnular slip説[2]であり、もう一つは塑性論に基づくD.TaborらによるJunction growth説である[3]。しかし、実際の二物体間の接触を考えた場合、表面の粗さや汚れの存在、更に接触形態に起因する複雑な接触圧力分布の存在等の為、理論では説明することのできない複雑な接触状態が種々存在する。

そこで、実際の理論では解けないような種々の条件下での二物体間の接触における接線力方向変位の発生機構解明のための第一歩として、接触面内微小すべりの可視化の技術を確立し、これにより接触面内微小すべりの分布状態を明らかにする事は有効であると考えられる。

本研究においては、接触面に発生する微小すべりの可視化に画像処理技術[4]を応用することを試みる。

* Department of Mechanical Engineering, Tohoku University.
Aramaki aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980, Japan

2. 実験装置及び実験方法

Fig.1 に、接触面の直接観察と接触面に発生する微小すべり分布の可視化のための実験装置の全体図を示す。すべり出し試験機では、ガラス試験片に押し付けられたゴム試験片に接線力を与え、この時発生する接線力方向変位を測定する。また、ガラス試験片とゴム試験片の接触面をガラス試験片ホルダーに設けられた観察窓を通して直接観察、及びVTR撮影することができる。

垂直荷重は、ゴム試験片ホルダー内に設けられたロードセルを用いて所定の垂直荷重(24.3N)に設定した後に、ガイドシャフトに取り付けられたストッパーにより、平板試験片ホルダーの上下方向の変位を拘束してから実験を行った。接線力は、タンクに水を流し込むことで与えた。この時接線力の与え方は、0.49N 毎に 0.020N/S の接線力付加速度で段階的に与えた。

実験中、接線力方向変位(ゴム試験片ホルダーの変位)はレコーダーに記録される。また、各接線力で接線力方向変位が安定したときの接触面を、光学顕微鏡を通してVTR撮影が行われた。この様にして得られた画像は、フレームメモリーボード(FDM98-4)により電気信号に変換されてマイクロコンピュータに読み込まれ、情報をネットワークを介してワークステーションに送り画像処理することにより接触面に発生した微小すべりを可視化する。

Fig.2 に、本実験に用いたゴム試験片の形状を示す。ゴム試験片は、厚さ 2mm のゴムシートを適当な寸法に切断したものを SUM20 のシャフトの端面に接着したものを用いた。また、ゴム試験片の表面には、接触面に発生する微小すべりを追跡するためのトレーサー

として、スプレー式の油性塗料を散布してある。このトレーサーが、接線力方向変位と接線力係数の関係に及ぼす影響はほとんどないことは確認済みである。

3. 接触面内微小すべり分布の可視化手法

本研究においては、流れの可視化に代表される動画像の計測の手法として、アルゴリズムが単純で比較的汎用性の高いといわれている以下の相関法[5,6]を用いる。

ここでは、接線力が 0N の映像と各接線力の場合の映像を比較する。すなわち、初期面からの接触面内微小すべり分布図が得られる。また、得られる接触面内微小すべり分布図は、ガラス平板試験片上をゴム試験片が移動した量を示している。

Fig.1: Measurement system.

The shape of stamp surface	The size of rubber sheet	Area, mm ²
Square	8.5 8.5	72
Rectangular	10.3 7	72
Triangle	12.9	72

Fig.2: Slip elements.

Fig.3: An example of the slip surface visualization.

4. 実験結果及び考察

4.1. 接触面内微小すべり分布

Fig.3に、平面スタンプの表面形状が正方形の場合の、接触面に発生した微小すべりの可視化結果を示す。図中のスケールは、すべり観測点上で発生した微小すべりの大きさを表しており、接触域の大きさを表すものではない。更に、図中の線分は接触面内の観測点上に発生した微小すべりをベクトル表示したものであり、その観測点上ではスケールに対応する長さの微小すべりが発生していることを意味している。そして、図中の点で表示されている観測点上では、微小すべりが発生していないことになる。

Fig.3から、平面スタンプの接触面には、接線力の負荷によりすべり方向に対して接触域の前方で微小すべりが発生することがわかる。また、この時接触域の後方には、固着域が存在していることがわかる。このすべり域は、接線力の増加にともない接触域の後方へ進行していく (Fig.3(c),(d),(e))。そして、最終的に接触域全域がすべり域となったとき巨視的すべりが発生する (Fig.3(f))。

4.2. 接触面内微小すべり発生領域と接線力係数の関係

Fig.4に、平面スタンプ接触の場合の、接触面内微小すべりの発生している領域の接触面に占める割合と接線力係数の関係を示す。ここで接触面内微小すべりの発生している領域とは、接触面内微小すべり分布図をもとに求めた値である。すなわち、微小すべり分布図中、線分で表示されている箇所を微小すべりの発生している観測点とし、この観測点の数を全観測点の数で除した値である。この図から、いずれのスタンプの表面形状であって接線力係数が比較的小さい時には、接触面にすべり域は存在しないが、接線力係数の増加にともない急激にすべり域が増加する事がわかる。しかし、接触面に占めるすべり域の割合は、スタンプの表面形状、接線力方向により異なることがわかる。この事から、垂直荷重が同一であってもスタンプの表面形状や接線力方向の違いにより摩擦係数が異なるのは、接触面内微小すべりの分布状態が異なることにより生じると考えられる。

Fig.4: The relation of the tangential coefficient and the slip area.

5. まとめ

- すべり出し過程の接触面を直接観察できる実験装置を開発し、画像処理技術を利用した接触面に発生する微小すべりの可視化手法を開発し、接触面内微小すべり分布の可視化に成功した。
- ゴムとガラスの接触面を直接観察し、接触面内微小すべりを可視化した結果、微小すべりの発生位置、微小すべりの方向、量、及び接線力の増加にともなうすべり域の増加傾向を明らかにすることができた。
- 平面スタンプの接触の場合、接線力の負荷により接線力作用方向に対して接触域前方にすべり域が発生し、接線力の増加にともないすべり域は後方へ進行していくことがわかった。
- 同じ垂直荷重、接触面積でもスタンプの表面形状及び、接線力方向の違いにより摩擦係数が異なることを示し、それは接触面内微小すべりの分布状態の違いに関係していることを示した。

参考文献

- [1] J.S.Stevens, Phys.Rev, 8(1899), 49.
- [2] R.D.Mindlin, J.Appl.Mech, 71(1949), 259.
- [3] D.Tabor, Proc.Roy.Soc, A251(1959), 378.
- [4] 奥野, 日本造船学会誌, 第716号(1989), 9.
- [5] 木村・高森・井上, 計測制御学会論文集, Vol.23, No2(1989), 1.
- [6] 大場・石原・猪岡, 流れの可視化, Vol.9, No33(1989), 77.