

マクロな静摩擦の異なる描像「動的固着モード」について

○中野 健¹¹横浜国立大学

The dynamic stiction mode as a different description of macroscopic static friction

○Ken Nakano¹¹Yokohama National University

フランスの物理学者 Charles-Augustin de Coulomb (1736~1806 年) が実験的に得た固体摩擦に関する法則は、二百年以上を経た現在もなお、「Coulomb の摩擦則」として知られている。そのひとつとして、静摩擦に関する有名な記述、すなわち「静摩擦力は動摩擦力よりも大きい」という法則が知られている。つまり、Coulomb の摩擦則は、「固体摩擦には静摩擦と動摩擦の二種類が存在する」ことが前提となっている。確かに、テーブルの上に物体を置き、テーブルを静かに傾けると、物体はしばらく静止しているが、テーブルがある角度に達すると、突然すべり始める。大学入試の頻出問題としても知られるこの現象は、動摩擦とは異なる静摩擦の存在を、我々に強く印象づける。

典型的な摩擦試験にも、静摩擦は少し異なる形で現れる。例えば、pin-on-plate 試験 (図 1 左) では、ばねの先端に pin を取り付けて、垂直荷重 W で plate に押し付け、駆動速度 V で plate を動かすと、摩擦力を受けたばねが変形する。ばねの剛性 k を既知として、ばねの変形量の時間変化 $x(t)$ を計測し、力の釣りが合いを仮定すれば、摩擦力の時間変化を $F(t)=kx(t)$ より得る。この手法で摩擦力を計測すると、一般に plate の起動後しばらくは、 $F(t)=kVt$ の関係に従い、摩擦力が線形的に時間変化する。この関係は、pin と plate が一体となり運動すること、すなわち両者の「固着」を示唆することから、そこに作用する摩擦力が静摩擦であることを、我々は信じて疑わない。

しかし近年、著者らの研究グループは、上記のように観測されるマクロな静摩擦について、Coulomb とは全く異なる描像があり得ることを発見した[1]。この描像の核をなすのは、図 1 右に青色で示した微小な偏角である。これは、異方的なばねの剛性主軸の向き (緑色の点線) と駆動速度の向き (青色の点線) がなす角で、現実の系では避けることができない非零の「面内

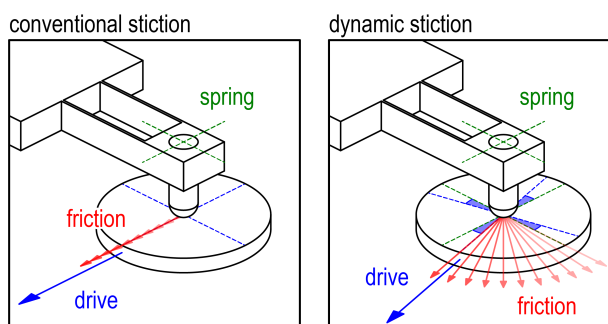


Fig. 1. The conventional stiction (left) and the dynamic stiction (right) appearing in typical friction testing. The inevitable non-zero blue angle, in-plane misalignment, causes the rotation of the kinetic friction vector.

ミスアライメント」である。剛性の異方性が十分に大きいことを仮定して、このシステムの時間発展を力学的に解くと、実は、自発的に生じる動摩擦力ベクトルの回転により、あたかも静摩擦力が作用しているかのような挙動が認められた[1]。さらに、見掛けの静摩擦力が作用する状況を詳しく調べると、過去に複数の実験系で観測されていた極低速すべり[2,3]を忠実に再現することも明らかになった[1]。

「動的固着モード」と呼ぶこの現象の本質は、非線形な力学系のダイナミクスが生む仮想的な減衰である。極論すれば、我々がしばしば目にする「固着-すべり遷移」は、固体の物性論にその理由を探さなくとも、純粋に力学的な言葉だけを用い、「過減衰-不足減衰遷移」として説明することもできる。従来とは全く異なるこの描像の守備範囲を明確にするために、今後も異なる視点から研究を深化させたい。マクロからマイクロまで、様々な研究者との連携の必要性を強く感じている。

文献

- [1] K. Nakano and V. L. Popov: *Phys. Rev. E* **102**, 063001 (2020).
- [2] F. Heslot et al.: *Phys. Rev. E* **49**, 4973 (1994).
- [3] V. L. Popov et al.: *Tectonophys.* **532**, 291 (2012).

*E-mail: nakano@ynu.ac.jp