介在物のある摩擦の有効モデル

大阪大学大学院理学研究科　松川　宏 [1]

界面間に潤滑剤や粉体など介在物がある場合の摩擦を考える。地震も大陸プレートと海洋プレートの間の摩擦が引き起こす現象であるが、そのとき両方のプレートの間にはガウジを呼ばれる岩屑があることが知られており、介在物のある系の滑り摩擦の一例となっている。さて、摩擦を小さくするために潤滑剤を界面間に導入することは良く行われる。機械を精密に作れば作るほど、界面間の距離は狭まりそこの潤滑剤の量も減ってくる。では狭い空間内でも潤滑剤は潤滑剤として振る舞うのだろうか？実は、潤滑剤の厚さが数分子層になってしまうと、バルクの融点よりずっと高温でも、狭い空間に閉じこめられた効果により、潤滑剤は層状構造を作りさらに固化してしまい、そこでは低速度では滑らかな運動ができず、ピン止めと急激な滑りを繰り返すスティックスリップ運動を起こすようになることが知られている [1]。この場合、スティックスリップ運動は周期的である。高速になると、滑らかな運動に変わる。また、地震もスティックスリップ運動の一種であるが、確率的な現象である。そして N 倍大きい地震は $1/N$ の頻度でしか起こらないというグーテンベルグ・リヒター則と呼ばれる巾乗則が成り立つ [2]。これはプレートとガウジをモデル化した実験でも成り立つ [3]。粉体をはさんだ系の場合、滑らかな滑りと周期的なスティックスリップの両方が見えている。非周期的な振る舞いが起こることもあるものの、巾乗則は見えないようである [4]。

このように、介在物のある系でもその運動の形態は多様である。しかし、系のどのような特徴がその様な違いをもたらすのか、どのような条件下でどのような運動をするのか、はあきらかではない。それを統一的に理解し、さらに物性を予測するため、我々は介在物のある系の滑り摩擦の有効モデルを作り、その振る舞いを調べている。

このモデルでは、まず介在物の層状構造を仮定し、j-番目の相の (r,t) での密度 $\rho_j(r,t)$ を次のように表す。

$$\rho_j(r,t) = \bar{\rho} + \rho_0 \cos(\frac{2\pi}{a} r + x_j(r,t))$$

ここで、a は平均粒子間隔であり、$x_j(r,t)$ は密度揺らぎを表す変数である。これの変化がゆっくりであるとして、これにより系を記述する。そして、介在物を上下の基盤の間に挟み、上の基盤に繋がったバネの他端を一定の速度で駆動する。

[1]E-mail: hiro@phys.sci.osaka-u.ac.jp

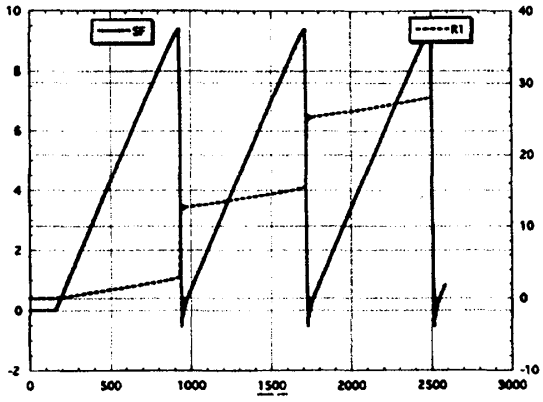

図 1: 低速駆動の時のバネの力（実線、左の縦軸）と上の物質の重心座標（破線、右の縦軸）の時間変化

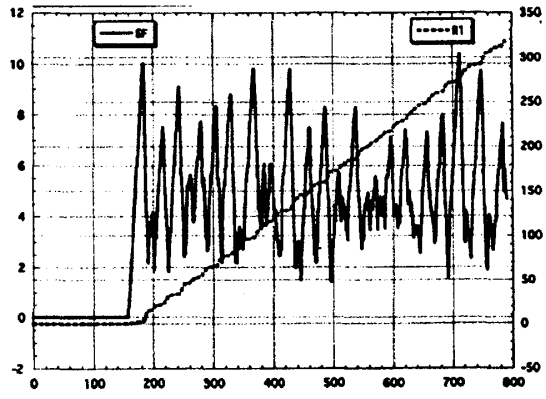

図 2: 高速駆動の時のバネの力（実線、左の縦軸）と上の物質の重心座標（破線、右の縦軸）の時間変化

図１，２は低速（図１）と高速（図２）駆動の時の、バネの力と上の物質の重心座標を時間の関数として示したものである。 低速駆動の場合は、周期的スティックスリップ運動が見られる。これは次のようにして起こる。固化した介在物が応力を受け、融解しそのときスリップする。すると応力が緩和し、再び固化しスティックする。これを繰り返すことによりスティックスリップ運動を起こしていることがエネルギーの解析からわかった。そして高速では非周期的なカオティックな運動が見られる。このように駆動速度を変えることにより、運動形態の相転移を示す。

我々はさらに、他のパラメーターを一定として上下の基盤と介在物の間の結合定数を変化させたときの系の振る舞いを調べた。このとき最大静摩擦力は適当な結合定数のところで最大値をとることがわかった。これは次のように考えられる。結合定数が十分小さければ、滑りは基盤と介在物の間で起こり、摩擦力は小さい。逆に結合定数が十分大きいと、基盤に接している介在物の層は基盤の結晶格子の周期にロックされる。このとき、滑りは介在物の層の間で起こるが、いま上下の基

盤と介在物はインコメンシュレートな関係にあるため、このときも摩擦力は小さい。適当な結合定数のときは、基盤に接している介在物の層が、内部の介在物の層と基盤を仲介するため、摩擦力が大きくなると考えられる。これはエネルギーを結合定数で割った量の振る舞いともコンシステントである。

参考文献

[1] H.Yoshizawa, Y.L. Chen and J. Israelachvili: J. Phys. Chem. **97**, 4128 and 11330 (1997).

[2] C. C. Scholz: "The Mechanics of Earthquake and Faulting",Cambridge Univ. Press, (1990)（邦訳「地震と断層の力学」、古今書院 (1993)）.

[3] T. Hirata: J. Phys. Soc. Jpn. **68**, 3195 (1999).

[4] 那須野悟：日本物理学会誌 **53**, 775 (1998)；S.Nasuno*et al.*:Phys. Rev. Lett. **79**, 949 (1997), Phys. Rev. **E58**, 13932 (1998).