

振動式マイクロスクラッチによる塗膜の粘弾性応答

薄膜・表面物性研究室 しばた はじめ
柴田 一

M063508 Shibata,Hajime

目的

Casson の式で与えられる抵抗が作用する場合について、マイクロスクラッチ試験機で塗膜をスクラッチした時の針先の運動をシミュレーションし、そこから得られる信号波形を検討し、塗膜の機械的特性が示す特徴を調べる。

実験概要

塗料のような高分子分散系に対して、塗料皮膜と固体との間に働く粘性力として cone-plate E 型粘度計による測定データの整理に使われる Casson の式 $\sqrt{S} = a\sqrt{D} + b$ がある。ここで S はせん断応力 [Pa]、 D はせん断速度 [1/s] であり、 a^2 は残留粘度、 b^2 はせん断降伏応力 (通常の降伏応力は c^2) と呼ばれる。 b^2 は塗料が球状圧子を押し返す静水圧に等しく、固体では堅さに相当する。したがって荷重 L で押し付けられた圧子の先端が塗膜と接触している面積は $A = L/c^2$ と与えられ (b^2 と c^2 の比は摩擦係数 $\mu = b^2/c^2$ である)、水平方向に働く抵抗 (粘性抵抗+最大摩擦) 力は

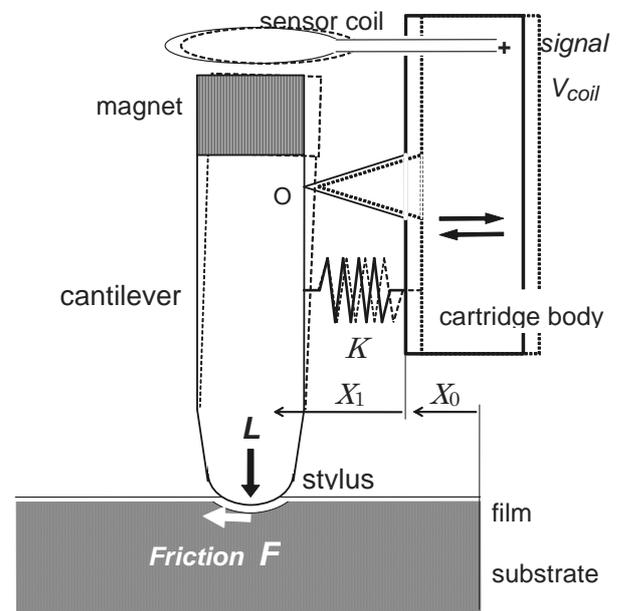


図1 針の挙動モデル

$$|F| = AS = \frac{L}{c^2} (a\sqrt{D} + b)^2 = \frac{Lb^2}{c^2} \left(\frac{a}{b} \sqrt{D} + 1 \right)^2 = \mu L \left(\frac{a}{b} \sqrt{D} + 1 \right)^2 \quad (1)$$

である。ここで D は静止系 (試料) から見た針先の速度を膜厚で割った値になり、この力が運動と逆方向に働くのでカートリッジの運動を $X_c = 50[\mu\text{m}]\sin\omega t$ とし、バネとダンパーを介してカートリッジにつながれた針先の運動方程式を以下のように置いてシミュレーションを行った。

$$m \frac{d^2(X_c + X_s)}{dt^2} = -B \frac{dX_s}{dt} - KX_s - \mu L \left(\frac{a}{b} \sqrt{\frac{1}{h} \frac{d(X_c + X_s)}{dt}} + 1 \right)^2 \cdot \text{sgn} \left(\frac{d(X_c + X_s)}{dt} \right) \quad (2)$$

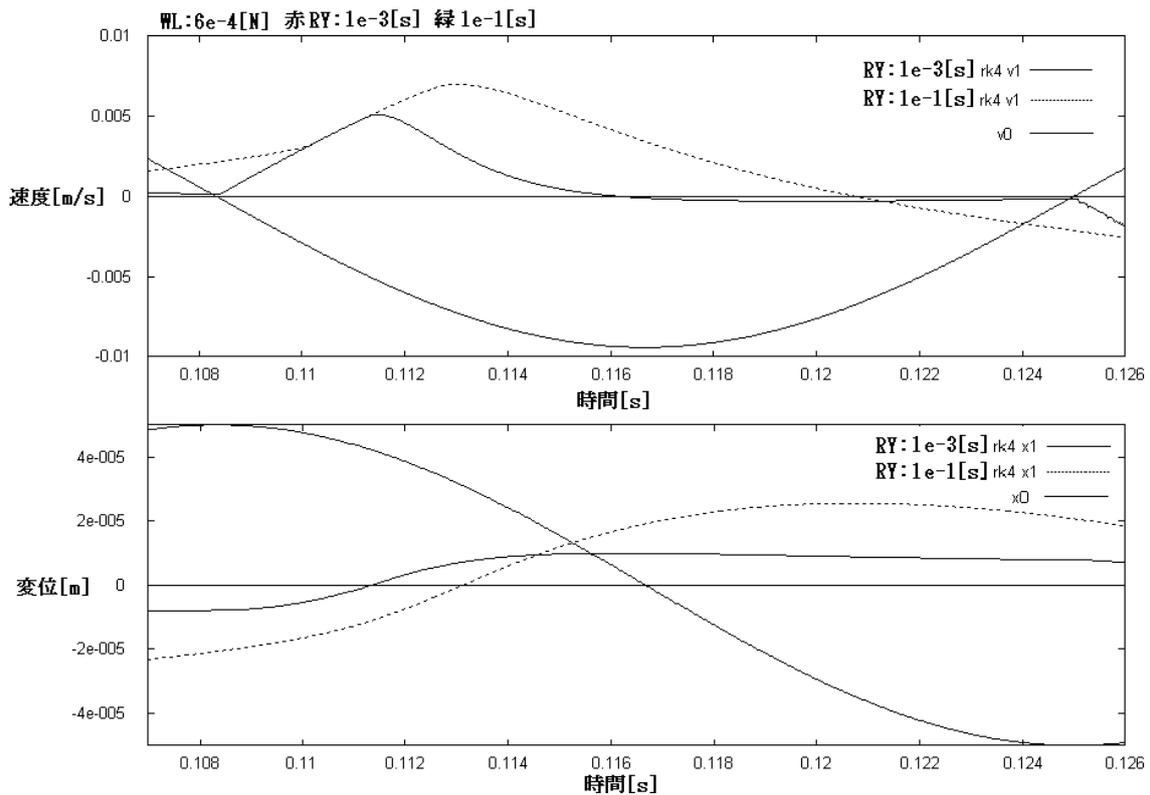


図2 塗膜の抵抗を受けた状態の摩擦信号

シミュレーション結果

一定荷重を印加した状態で、 a/b の比を $1e-3$, $1e-2$, $1e-1$ [s] とだんだん粘性の影響を増やして増加させていった波形のシミュレーション結果が図2になる。 $X1$ が Xs , $X0$ が Xc , $V1$ が dXs/dt , $V0$ が dXc/dt , RY が a/b に相当する。ここから得られた特徴を以下のようにまとめる。

- $a/b=1e-3$ [s] では固体摩擦の様相を示し、そして $a/b=1e-1$ [s] では粘性摩擦の挙動を示している。挙動の別れは $a/b=10^{-2}$ [s] くらいと考えられる。
- カートリッジの速度変化が大きいところから追従の遅れが発生している。
- 針先の遅れがカートリッジの速度が大きいところで確認できるのは、滑走をし始めた直後に速度差が増すと粘性力が増え追従が遅れるためである。

まとめ

Casson の式をマイクロクラッチの運動に適用することでペンキ膜が粘弾性状態から固体膜に変化する様子が観察できることがわかった。