

## 最大滑り速度約 0.4 m/s 最大滑り量約 0.6 m の固着すべり時の摩擦履歴を観察するための簡単な実験

### A simple observation of friction history during stick-slips with a maximum slip rate of ~0.4 m/s and a maximum slip of ~0.6 m

岡村 豊明[1], 桑原 研[1], 高階 豊希[1], 高橋 光司[1], 高橋 真由美[1], 竹内 淳一[1], 中野 純[1], 東野 由佳[1], 村上 英輝[1], # 小笠原 宏[2]

Toyoaki Okamura[1], Ken Kuwabara[1], Toyoki Takashina[1], Koji Takahashi[1], Mayumi Takahashi[1], Junichi Takeuchi[1], Jun Nakano[1], Yuka Higashino[1], Hideki Murakami[1], # Hiroshi Ogasawara[2]

[1] 立命館大・理工・物理, [2] 立命大・理工

[1] Dep. Phys. Sci., Fac. Sci. Engr., Ritsumeikan Univ., [2] Fac.Sci. Engr., Ritsumeikan Univ.

ベルトコンベア上にブロックを置き、バネの一端をブロックにつなぎ、もう一端を固定すると、固着滑りを簡単に再現できる。最大滑り速度 0.4 m/s、最大滑り量約 0.6 m のパラメータを持つブロック・バネ・システムを、ランニング・ペースメーカーの上に乗せ、その挙動をビデオカメラで撮影し、1/30s 毎の位置を読みとった。摩擦が速度と状態に依存しない場合、スリップ中のブロックの動きは単振動の一部と同じであるから、その残差に多項式を最小自乗的にフィットさせ、2階微分してバネの力を引くことによって、固着開始からスリップ終了までの摩擦履歴を明瞭に抽出することができた。見かけの  $D_c$  は約 5 cm であった。

速度と状態に依存する摩擦の構成則は、地震に関わるさまざまな現象を理解するために非常に重要な役割を果たしている（例えば、Dieterich, 1994; Scholz, 1998）。しかし、摩擦の構成則は主に岩石室内実験スケールの現象に基づいて構築されているため、1 m/s のオーダーの速度で 1 m オーダーのスリップが起こる巨大地震を考察するときには、構成則のスケール依存性の正確さが非常に大きな問題になる。とりわけ、巨大地震の発生準備過程においては、摩擦構成則の重要なパラメータ（例えば  $D_c$ ）がスケールにどのように依存するかが非常に重要である。例えば、地震波形から  $D_c$  を導き出す試みもあるが（例えば Ide and Takeo 1997）、ごく限られた数の巨大地震について試みられているだけであり、もし可能であれば、さまざまな大きさのスリップ速度やスリップ量で摩擦構成則を検証できる可能性のある方法を見出し、パラメータのスケール依存性を調べる必要がある。

また、摩擦構成則は、高性能な実験装置を持つごく限定された人数の岩石実験学者か、高度な地震波形解析に熟練した地震学者しか享受できないものである、という感が強い。そこで、我々は、大学学部低回生実験の一つのテーマとして、我々に非常に身近な材料による単純な実験によって、1 m/s に近い速度で 1 m 近いスリップをする固着滑り現象を作り、その際に摩擦履歴を観察できるかどうかを試みた。

一定速度で動き、摩擦のあるベルトコンベア上に質量  $m$  のブロックを置く。バネ定数  $k$  のバネの一端をブロックにつなぎ、もう一端を固定すると、ブロックの固着滑りを簡単に再現できる。固着滑り中の摩擦が、速度と状態に依存しない最大静止摩擦係数  $\mu_s$  と動摩擦係数  $\mu_d$  で表される場合、滑り出したブロックの動きは、動摩擦力とバネの力が釣り合う位置 ( $L_0 - \mu_d mg / k$ ) を振動中心とし、周期が  $2\pi \sqrt{m/k}$  である単振動の一部と同じである（例えば、立命館大学理工学部 2000 年度入学試験⑥理科問題）。ここに、 $L_0$  はバネの自然長、 $g$  は重力加速度である。このとき、ベルトコンベアに対する最大滑り速度は  $\sqrt{v^2 + m\{(f_s - f_d)g\}^2/k} - v$  であり、最大滑り量は、 $2(\mu_s - \mu_d)mg/k + v t_s$  である。ここに、 $g$  は重力加速度、 $t_s$  はスリップしている時間である。だから、質量やバネ定数を変えると、さまざまなスリップ速度やスリップ量の固着滑りを作り出すことが原理上可能である。そして、運動方程式は、 $0 = ma + kx + F$  である。ここに、 $a$  は加速度、 $F$  は摩擦力である。だから、ブロックの変位と加速度を観察すれば、上記の運動方程式から  $F$  が導出できる。そして、固着時の動きがプレスリップなどによって直線からどのようにはずれてゆくか、また、スリップ時の動きが単振動からどのようにはずれるかに注目すれば、速度と状態に依存する摩擦構成則の特徴を観察できる可能性がある。そこで、アスレチック・ジムでよく見られるランニング・ペースメーカーの上にバネをつないだ箱を乗せ、その動きを家庭用ビデオカメラで撮影した。ビデオカメラは 30 フレーム/秒で撮影をするため、1/30 s 毎に箱の位置  $x$  を読みとることができた。観察された箱の最大スリップ速度は約 0.4 m/s あり、最大スリップ量は約 0.6 m であった。1/30s 毎の変位の差分は非常にばらつくため、変位とその差分から  $F$  を求めることはしなかった。そのかわり、固着時の直線的な動きとスリップ時の単振動的な主要な動きは、速度と状態に依存しない摩擦法則によって説明される動きであるから、まず、それらを観測された変位に最小自乗的にフィットさせて、残差を得た。次に、固着時、スリップ時の前半および後半の残差に、それぞれ多項式を最小自乗的にフィットさせ、えら得た多項式を 2 階微分することによって箱の加速度の時間履歴を得、箱の位置によって決まるバネの力を差し引くことによって、固着開始からスリップ終了までの、速度と状態に依存する摩擦成分の変化を明瞭に抽出することができた。得られた見かけの  $D_c$  は約 5 cm

であった。この手法による摩擦現象の観察は、家庭用ビデオカメラを使っている限りは  $1/30\text{s}$  という時間分解能の制約はあるが、様々なスケールの固着滑り時の摩擦歴を調べることができる可能性を持つ方法である。

なお、この実験は、立命館大学理工学部物理科学科 2 回生の正課授業、理論物理学セミナーの一テーマとして行われた。