

粉粒体の固着すべり実験：パラメータ依存性の精査

Stick-slip experiments of granular materials: A detailed parameter study

隅田 育郎^{1*}, 東 直矢¹, 坪田 創¹

Ikuro Sumita^{1*}, Naoya Higashi¹, Hajime Tsubota¹

¹金沢大学大学院 自然科学研究科

¹Kanazawa University

はじめに：断層帯には様々なサイズの破碎物質（ガウジ）及び流体（水、滑り時に発生するメルト）が挟まれており、また断層にかかる応力値にも幅がある。固着滑り、スロースリップ、安定すべりに至る、多様な断層滑りを理解するためには、これら個々の要素が摩擦特性に及ぼす影響を知る必要がある。破碎物質のような粉粒体の摩擦特性については、これまでせん断速度依存性（例：Nasuno et al., 1998, Hartley and Behringer, 2003）、粉粒体の形状やサイズ依存性（例：Anthony and Marone, 2005）が調べられてきた。しかし、これら個々の要素が摩擦構成則のどこに関係しているのかはまだ十分に解明されていない。私達のグループでは、過去の摩擦実験には使用されてこなかった回転型粘性率計を用いて粉粒体のレオロジーを調べている。これまで粒径と間隙流体の粘性率の影響について(Higashi and Sumita, 2009)、また固着すべり-安定すべり遷移について（坪田、隅田、2010年連合大会）調べてきた。回転型粘性率計を用いると、定常状態下でのせん断実験を長時間行うことができ、固着滑りの統計的解析が可能となる。また間隙流体の影響が調べ易いこと、せん断場の直接観察が出来ることなどの利点がある。本講演では、これまで得られた結果をレビューし、断層レオロジーへの示唆を考察する。

実験方法：回転型粘性率計に羽根型スピンドルを装着し、ステンレスピーカー内でガラスビーズをせん断した。スピンドルにかかる応力は捻りバネによって測定され、ビーズの固着滑りに伴って変動する応力の時系列データを記録し、解析した。主な可変パラメータは粒径（1桁）、間隙流体の粘性率（7桁）であり、これらを4桁に渡るローディングレートの下でせん断した。またせん断下のガラスビーズを上部から一定時間間隔で撮影し、画像解析によりせん断帯の幅を測定した。

実験結果：

粒径依存性：固着すべりの特徴は粒径に敏感である。粒径が増大することに伴い、固着滑り時の応力振幅と滑りの起きる時間間隔が増加する。これらは主として静止摩擦力が増加するためである。応力が蓄積している間はビーズ同士の固着は不完全でクリープが起きる。このクリープの程度は粒径が小さい程顕著である。また応力降下期間内では、粒径の増大に伴い、滑り方が滑り量に因らずに滑り速度一定に近似される状況から滑り時間一定へと遷移する。以上の性質は、応力の時系列変動の特徴が自己相似ではなく、粒径に供って変わることを意味する。またせん断帯の幅は粒径が増大することに伴い厚くなるが、その幅を構成する粒の数は減少する。

流体の粘性依存性：ガラスビーズの間隙が粘性流体（シリコンオイル）で満たされていると潤滑によりクリープが顕著になり、粘性抵抗により滑り速度が遅くなる。これらの結果、滑りの起きる時間間隔が長くなる。特にローディングレートが一定の下では、臨界粘性率に於いてせん断応力が極小値をとる。これは臨界粘性率では、潤滑圧によって加重を支えることが可能になるためと解釈できる。

断層滑りへの示唆：

粒径依存性：本実験は、断層へのローディングが同じ時でもガウジを構成する破砕物質の特徴的サイズが1桁変わるだけで、滑り方の様式が顕著に変わることを示している。これはガウジ（あるいはアスペリティ）の特徴的なサイズとその磨耗が、滑り方の多様性（例：サンアンドレアス断層沿い）や時間変化（例：セントヘレンス火山:Iverson et al., 2002）をもたらす原因の一つになることを意味する。

粘性依存性：間隙に粘性流体が含まれると、滑りの際の応力降下量が小さくなり、滑りが起きる時間間隔が長くなる。前者は粒径が小さくなる場合と同じセンスだが、後者は逆であり、この性質を用いて粒径の影響と区別することが可能である。また、臨界粘性率（滑り速度、粒径の関数）以上では粘性流体によるブレーキ効果が潤滑効果を卓越する。これは断層面上の温度が摩擦熱によって変わることに伴い、メルトの滑りに及ぼす影響が途中で変わりうることを示唆している。

滑り時間と滑り量の関係：粒径の減少及び粘性率の増大に伴い、滑り方が滑り時間一定近似から滑り速度一定近似へと遷移する。これは、断層の多様な滑り方(Ide et al., 2007; Schwartz and Rokosky, 2007)をもたらす一つの原因かも知れない。

引用文献

- Anthony, J.L., C. Marone, JGR, 110, doi.10.1029/2004JB003399 (2005)
Hartley, R. R., R.P. Behringer, Nature, 421, 928 (2003)
Higashi, N., I. Sumita, JGR, doi:10.1029/2008JB005999 (2009)
Ide, S. et al., Nature, 447, 76, (2007)
Iverson et al., Nature, 444, 439, (2002).
Nasuno et al., PRE, 58, 2161 (1998).
Schwartz, S. , J.M. Rokosky, Rev. Geophys., 45, RG3004/2007 (2007)

キーワード:粉粒体,摩擦実験,固着すべり,回転型粘性率計

Keywords: Granular matter, Friction experiments, Stick-slip, Rotating viscometer