

せん断変形下の粉粒体レオロジー：粒径と間隙流体粘性の効果

Experiments on granular rheology: effects of particle size and fluid viscosity

東直矢 [1]; # 隅田 育郎 [2]

Naoya Higashi[1]; # Ikuro Sumita[2]

[1] 金大・自然; [2] 金大・自然研

[1] Grad School Natural Science Technology, Kanazawa Univ; [2] Nat.Sci.Tech., Kanazawa Univ.

<http://hakusan.s.kanazawa-u.ac.jp/~sumita/>

はじめに：断層帯には様々なサイズの破砕物質（ガウジ）及び流体（水、滑り時に発生するメルト）が挟まれている。固着滑りからスロースリップまで、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。これまで特に岩石の摩擦実験（例：Anthony and Marone, 2005）から、破砕物質の形状やサイズの影響が調べられてきた。しかし系統的なパラメータ依存性という観点ではまだ不十分な状況にあり、これらの要素を摩擦構成則に組み込むまでには至っていない。本研究(Higashi & Sumita, in press)では、特に粒径と間隙流体の粘性率の影響に焦点を当てて、これまで摩擦の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せん断実験を行った。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。

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（9通り）と間隙流体の粘性率（8通り）であり、これらを5通りの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求めた。

実験結果：

粒径依存性：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が増加するためである。応力が蓄積している期間中はビーズ同士は完全には固着しておらずクリープが起きる。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い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。そこで応力蓄積と降下過程を特徴付けるために2つの新しい無次元数を導入したところ、この遷移を良く特徴付けられることが分かった。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ことが分かった。

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の違い、または破砕に伴うサイズの変化に伴い、滑り方の様式が変わることを示唆している。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。また本実験で新たに導入した2つの無次元数は変位の比で定義できるため、実際の断層滑りも同様に特徴付けられる可能性がある。

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ことを示唆している。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 and Marone, JGR, 110, doi.10.1029/2004JB003399 (2005)

Higashi, N. and I. Sumita, JGR, 2008JB005999 (in press)

Ide, S. et al., Nature, 447, 76, (2007)

Iverson et al., Nature, 444, 439, (2002).

Schwartz, S. and J.M. Rokosky, Rev. Geophys., 45, RG3004/2007 (2007)