

摩擦溶融は地震の発生をトリガーするか？ 摩擦溶融の数値シミュレーション

Does frictional melting trigger an earthquake? A simulation of frictional melting

里見 和人[1]; 城野 信一[2]

Kazuhito Satomi[1]; Sin-iti Sirono[2]

[1] 名大・環境・地球; [2] 名大環境学

[1] Env. Studies, Nagoya Univ.; [2] Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University

研究の背景

断層面の特性を表すパラメータとして、 D_c (slip-weakening distance) とよばれる量がある。実験的には、外力を突然変化させたときに摩擦力がある一定の値に落ち着くまでに系がすべった距離として D_c は定義されている。 D_c が短い場合には系は不安定、長いと安定すべりとなる。地震波からは $D_c=0.1\sim 1$ m と推定されている。一方、これまで行われてきた岩石の摩擦実験からは $D_c=10\sim 100$ μm という値が報告されてきた。この値からは岩石表面の凹凸が D_c を決定していることが推測される。しかし地震波から推定される D_c の値とは大きく異なっている。

断層面にはシュードタキライトとよばれる岩石が発見されることがある。シュードタキライトには溶融の形跡がみられることから、すべりの際に発生した摩擦熱によって加熱されているものと考えられている。断層面にメルトがはさまれた場合にはもはや表面の凹凸は意味をなさなくなるので違うメカニズムで D_c が決定されていることが予想される。この問題意識のもとに Shimamoto and Tsutsumi (1994) は円筒状の岩石資料を高速回転させ、すべり面を溶融した場合の D_c を実験的に求めた。その結果 D_c として 29.7m という値が得られた。この値は地震波から推定されている値よりも大きい。

実験装置の制約から、生成したメルトは岩石資料の外側に漏れ出してしまう。メルトが漏れるとメルト層の厚さが薄くなるため、摩擦係数は大きく計測されてしまうことになる。しかし一方で天然の断層面を考えてもそこには多数のクラックが存在することが考えられ、クラックへメルトが抜ける可能性もある。

研究目的

そこで本研究では数値シミュレーションを行うことにより、メルトの抜ける量が D_c の値をどのように変化させるのかを明らかにした。また、融点が高い鉱物から選択的に溶融が起こるため、もとの岩石とメルトの組成は必ずしも一致しない。そこでメルトを特徴づける物性量（熱伝導率）も変化させ、熱伝導率と D_c との関係を明らかにした。

モデル

簡単のため1次元の問題とする。二つの無限平面（岩石）に挟まれた粘性流体（メルト）を考える。一方の平面を一定速度で運動させるとそれに引きずられてメルトが動く。メルトの粘性によって熱が発生し、その熱が岩石を溶融させる。したがって時間と共にメルト層の厚さが増加することになる（ステファン問題）。メルト層の厚さが増加すると、平面を一定速度で運動させるために必要な力（摩擦力）が減少することになる。この減少の度合いで D_c が決定される。

メルト層の速度分布および粘性により発生する熱量はナビエ・ストークス方程式から決定することができる。発生した熱を熱源として熱伝導方程式を解くことにより岩石の溶融速度が算出される。

メルトの粘性係数は Shaw(1972) の経験則を用いた。岩石のすべり速度と法線応力は Shimamoto and Tsutsumi (1994) の値とした。パラメータはメルトの熱伝導率と、メルトの単位時間あたりの抜ける量である。

計算結果

数値計算の結果、以下の4点が明らかとなった

- 1) メルトの抜ける量を大きくすると、最終的に落ち着く摩擦力が大きくなる。これはメルト層の厚さが薄くなるためである。
- 2) メルトの抜ける量を大きくすると D_c が減少する。これはより早い時間において一定摩擦力に落ち着くためである。

3) メルト層の熱伝導率を大きくすると、最終的に落ち着く摩擦力が大きくなる。メルト層から熱が逃げやすくなり、最終的に落ち着くメルト層の厚さが減少するためである。

4) メルト層の熱伝導率を大きくすると D_c が増加する。これはメルト層の厚さの増加率が減少するためである。

考察

以上の数値計算の結果から、地震波から推定されている D_c の値 (0.1-1m) が実現されるためには以下の条件が必要であることが明らかとなった。1) メルトの抜け量が大きく、2) メルトの熱伝導率が小さい。

すべり面に働いている法線応力が大きいほどメルトは抜けやすいので、深部であるほど1) の条件は達成されやすい。また、2) の条件を吟味するためには幅広い成分のメルトの熱伝導率の計測が望まれる。

参考文献

Shaw, H. R., Viscosities of magmatic silicate liquids: an empirical method of prediction, American J. Sci., 272, 870-893, 1972.

Shimamoto, T. and A. Tsutsumi, A new rotary-shear high-speed frictional testing machine: its basic design and scope of research (in Japanese), Struct. Geol., J. Tectonic. Res. Group of Japan, 39, 65-78, 1994.