

温度依存の粘性率と移動境界を考慮した地震すべりと融解層の相互作用のシミュレーション

Simulation of the interaction between seismic slip and melt layer considering temperature dependent viscosity and moving boundary

松澤 孝紀[1]; 武尾 実[2]

Takanori Matsuzawa[1]; Minoru Takeo[2]

[1] 東大・地震研; [2] 東大・地震研

[1] ERI, U. Tokyo; [2] ERI, Univ. Tokyo

1. Introduction

エネルギー収支の観点からみると、地震は蓄積された歪みエネルギーが地震波エネルギーの放射と断層近傍でのエネルギー散逸として消費される現象である。断層近傍で散逸するエネルギーは、断層帯における破壊エネルギーと摩擦熱へと分配されると考えられる。この摩擦熱が断層面での間隙水圧の急激な上昇や融解を引き起こし、最終的に大きな応力降下量および地震すべりを引き起こす可能性がこれまで指摘されてきた。しかしながら、このような効果と地震すべりの間の相互作用はこれまで定量的に評価されてこなかった。本研究では摩擦熱による融解が地震すべりに与える影響の定量的な評価を目指して、温度依存するメルトの粘性と固相/液相の境界が移動する効果を考慮したシミュレーションを行った。

2. 一定速度の loading

最初に、一定速度 (V_e) の loading に対する融解層の応答を調べた。融解層内は層流とし、相変化および温度変化に対しても密度は一定とし、固相と液相間には明確な境界が存在すると仮定して一次元のモデルを考えた。この仮定により、温度分布は熱拡散方程式から計算される。また、粘性率の温度依存性は $A \cdot \exp[B/(T+C)]$ の形で与えた (T : 温度, A, B, C : 定数)。計算に用いた諸パラメータは、Huppert and Sparks (1988) 及び Otsuki et al. (2003) を参考に決定した。なおこの問題では、粘性によるエネルギーの散逸が融解層内部の熱源となるものとする。移動境界問題の計算にあたっては、Murray and Landis (1959) による front tracking 法を用いた。境界条件としては、融解層の中央で熱の flux がなく、固液の境界面で温度 T_m (融点)、断層から十分離れた場所で T_0 であるような条件を与えた。また、初期条件として、融解層には初期厚さ (h_0) で一様な温度 (T_m) を与え、固体部分は一様に温度 T_0 を与えた。

ここでは、loading の速度 V_e と、融解層の初期厚さ h_0 を変化させて計算を行った。すべり始めの段階では速度勾配の大きな領域が融解層中央に集中するとともに温度場が形成され、融解層内部の温度上昇による断層摩擦力の急激な降下が見られた。その後、応力の変化は穏やかになり、断層面の厚さは増加していった。 $V_e=1\text{m/s}$ の場合では、応力降下までの特徴的な時間は $h_0=1\text{mm}$ のとき 0.1 秒、 $h_0=0.1\text{mm}$ のとき 0.001 秒、 $h_0=10\text{mm}$ のとき 10 秒であった。しかしながら、この特徴的な時間の loading 速度 V_e に対する依存性は小さかった。これらのことから、応力降下の特徴的な時間は系の熱的な応答の時間に対応していることが考えられる。

3. 断層運動と融解過程の相互作用

地震すべりに対する影響を見積もるために、seismic radiation damping モデル (Rice, 1993) を使用して一次元での相互作用のモデル化を行った。この定式化では断層面からは外向きの S 波のみが放射されるものとしており、もし応力降下がすべり開始から変化しない場合には、すべりレートは exp 型で減少する。しかし、融解のような二次的な応力の降下がある場合には、すべりレートの減少は緩やかになり、特に急激な応力降下が生じた場合にはすべりレートは上昇する。

V_e が一定の場合および seismic radiation damping モデルの場合の断層での粘性摩擦の挙動の例が図に示されている (実線: V_e が一定, 点線: seismic radiation damping モデル; 初期条件 $V_e=0.1\text{m/s}$, $h_0=1\text{mm}$)。この場合にはすべり速度は応力降下に伴って急激に上昇した (最大 1.9 m/s)。なお、弾性的な応答としては数百 m の大きさのクラックに対応したもの (exp 内の時定数が 0.1s) を用いた。実際の断層では、二つの特徴的な時間 (弾性的な応答と熱勾配の形成時間) が応力降下の挙動を決定していると考えられる。

文献:

Huppert and Sparks, (1988), J. Petrology, 29, 599-624.

Murray and Landis, (1959), J. Heat Transfer, Trans. ASME (c) 81, 106-112.

Otsuki et al., (2003), J. Geophys. Res., 108(B4), doi:1029/2001JB001711.

Rice, (1993), J. Geophys. Res., 98, 9885-9907.

