

流体拡散を考慮に入れたスロー地震のモデル化

研究集会 (2008/09/18)

鈴木岳人・山下輝夫 (東京大学地震研究所)

1. はじめに

近年地震波をほとんど放出しない地震の存在が知られるようになっていっている：スロースリップ、低周波地震、超低周波地震などである。これらのゆっくりとした地震の特徴は、破壊伝播速度や滑り速度、そして応力降下量 (1-10kPa) が通常の地震よりも極端に小さいことである。本研究の目的は、こういったゆっくりとした地震の発生のメカニズムを動的なモデルの枠組みで説明することである。

本研究では特に流体の存在が重要である。地震学的観察から、高压流体がゆっくりとした地震の発生領域に含まれていると考えられている。また断層帯を構成する物質の permeability から、高速な断層滑りの間にも流体は数センチメートル流れることができると考えられ、この長さは断層コアの厚さと同程度である。それゆえ流体の流れは、通常のものよりもはるかに小さい破壊伝播速度を持つゆっくりとした地震の発生過程で重要な役割を果たしているであろう。

2. 動的モデル

熱多孔質媒質中の断層を仮定するが、その際流体の流れと非弾性な空隙の生成も考慮に入れる。本研究が基礎を置く我々の過去の研究 (Suzuki and Yamashita, 2008) では、動的な断層の成長において無次元数 S_u が重要な役割を果たしていることが示された。このパラメータは、流体の流れがないという条件の下で、非弾性な空隙生成の効果が摩擦発熱の効果に対してどれくらい支配的かを表すものである：特に $S_u > S_u^c$ (S_u^c は臨界値) で滑り強化則が現れることに注意する。そして、流体の流れを考えに入れた場合においても S_u は重要な役割を果たすことがここで示される。

破壊の始まりの段階として、破壊核の存在を仮定する。その内部では S 波速度の 20% で強制的に破壊を伝播させ、外部では Coulomb の破壊基準に従って自発的に破壊を伝播させた。滑り摩擦係数を破壊核の内部と外部でそれぞれ 0.5 と 0.68 とした。また媒質固有の滑り弱化則も導入した。なお、応力降下量に関する考察から、ここでは非常に小さい初期剪断応力が要求されることが重要である。

3. ゆっくりとした地震の典型例

上記のモデルにより、破壊伝播速度が S 波速度よりはるかに小さい地震が再現された (図 1)。これは滑り強化と流体の流入の双方の効果によるものである：それを確かめるために、permeability を 0 とし

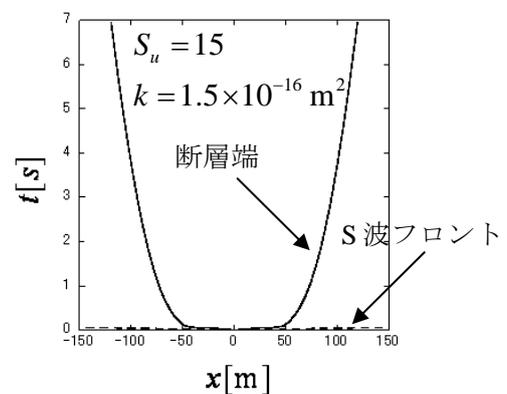


図 1 ゆっくりとした地震の典型例

て計算すると（すなわち流体の流入の効果がないとすると）、断層端が大きく成長することなく断層面上すべての点で滑りが停止した。また計算終了時の応力低下量は観測値より大きくなったが（およそ 190 kPa）、それでも通常の地震よりは非常に小さい値が得られた。

4. ゆっくりとした地震が再現される条件

モデル中に現れるパラメータの値を変化させ、どのような破壊伝播が得られるか調べる。まず S_u の変化を考える。図 2 から、 S_u が大きい時、破壊伝播速度が小さくなることがわかる。これはその時滑り強化の効果により強く現れるからである。高速破壊を起こさないという条件では、Suzuki and Yamashita (2008) で仮定した値 ($1 < S_u < 2$) よりもはるかに大きい S_u の値が適当であると言える。

また permeability についても種々の値について計算を行った。その結果、その値が大きいほど大きい破壊伝播速度が得られた。これは流体の流入の程度が大きいほど滑り摩擦力が小さくなり（すなわち応力低下量が大きくなり）、断層面上での滑りを停止しにくくするからである。すなわち permeability が小さいほどゆっくりとした地震を再現することになるが、それを 0 としてしまうと上述のように破壊が大きく成長しない。

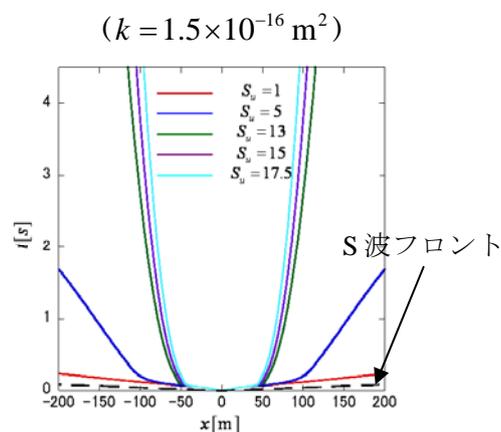


図 2 S_u の値の違いによる破壊伝播速度の変化

5. 地震の初期フェーズとの違い

ここで得られた破壊過程が、後に高速破壊に発展していく地震の初期フェーズではないことを示す。それに関して、天然の断層には物性の不均質が存在していることに注意する。ここではその不均質の一例として、静止摩擦係数がある領域の外部でわずかに大きくなるという空間変化を考え、破壊の伝播がどのような影響を受けるかについて調べる。その結果、そのわずかな擾乱によって伝播が停止する傾向が現れた。すなわち、ここで得られた破壊過程が今後高速破壊へと成長する可能性は低く、ゆっくりとした滑りのまま終わると考えられる。

6. まとめ

本研究ではゆっくりとした地震を特徴付ける遅い破壊伝播速度や滑り速度、そして小さい応力低下量を、動的枠組みを用いて正しく再現できた。今回明らかになった、ゆっくりとした地震を再現するのに必要な要素は（1）通常の地震よりも非常に大きい S_u の値を仮定すること、（2）非弾性に生成された空隙の中への流体の流入を仮定すること、及び（3）通常の地震に対してなされるよりも非常に小さい初期剪断応力の値を仮定すること、の 3 点である。