

地震時の破壊伝播に及ぼす摩擦発熱による間隙圧上昇 (thermal pressurization) の効果

Effect of thermal pressurization on earthquake rupture propagation

野田 博之[1]; Andrews Dudley J. [2]

Hiroyuki Noda[1]; Dudley J. Andrews[2]

[1] 京大・理・地球惑星; [2] U.S.G.S.

[1] Earth and Planetary Sci., Kyoto Univ; [2] U.S.G.S.

Sibson [1973] は地震発生時の断層変位に伴う断層の強度低下の機構の一つとして、摩擦発熱による間隙圧の上昇を提唱した。摩擦発熱により間隙流体が膨張、間隙圧が上昇し、これが断層面にはたらく垂直応力を支える事によって摩擦抵抗が減少する。Lachenbruch [1980], Mase and Smith [1987] らによってこのプロセスを扱う数学的モデルが提唱され、また近頃、実際の断層露頭から採取した断層岩を用い透水特性を測定したデータが報告されている[Wibberly 2002, Noda and Shimamoto 2003 等]。Noda and Shimamoto [2003] は花折断層破砕帯の断層露頭から採取した粘土質断層ガウジのサンプルを用い、高封圧下において浸透率、貯留係数の測定を行った。また測定したデータを用いLachenbruch [1980] による数学的モデルを差分法で数値的に解く事により、断層運動時の力学的挙動、摩擦発熱による温度上昇を評価した。測定の結果、花折断層の粘土質断層ガウジは有効圧 80MPa では $10^{-18}[\text{m}^2]$ オーダーの浸透率を、媒質が剛体であると仮定すると約 $5 \times 10^{-11}[\text{Pa}]$ の貯留係数を持つ事が分かった。また計算から、深さや変位速度、変形ゾーンの幅によって変化するが断層が強度を失う変位量、 D_c は 10cm から数 m の値となり地震波の解析から求められる値と良く合う事が分かった[Ide, and Takeo, 1997, Mikumo, et al., 2003, Mikumo, and Yagi, 2003]。この解析結果は断層が一定速度で変位する場合を仮定しており、地震のような動的過程を論じるためには破壊の伝播のシミュレーションにこの断層構成則を組み込む必要がある。

Andrews [2002] は円形のクラックが時間に伴い広がるモデルを考えるとクラックの先端においては相対速度が無限大となるため、無限小の時間で有限大の間隙圧上昇が起こる事を指摘し、この瞬間的な間隙圧の上昇はクラックのサイズが大きくなるにしたがって大きくなる事を示した。また、摩擦発熱による間隙圧の上昇と断層の強度低下を考慮に入れ、弾性体内の断層面における破壊の伝播に対し、解析的に、また数値計算によって考察を行った。その結果、間隙水圧拡散係数 (= 浸透率 / (貯留係数 × 粘性率)) が $0.02[\text{m}^2/\text{s}]$ の場合、破壊面のサイズが小さい間は瞬間的な間隙圧上昇は摩擦係数の変化による断層強度の変化に対し無視できるほど小さいが、破壊面が半径 300m を超えるあたりで無視できなくなる事が分かった。またこの効果は破壊面が大きくなった時に破壊の伝播速度を加速させる事が分かった。地震時に断層面上で破壊の起こる面積は、開放されるエネルギー量に大きな影響を与えるが、Andrews [2002] の結果は断層運動時の間隙圧上昇のプロセスの有効性が地震の大小を決める一つの鍵となる事を強く示唆するものである。

本研究では花折断層破砕帯から得られた変形集中ゾーン周辺の浸透率構造、貯留係数を用い破壊の動的伝播のシミュレーションを行った。摩擦発熱による間隙圧の上昇と断層の強度低下に関してはLachenbruch [1980] による数学的モデルを、弾性体中に仮定した断層の破壊の伝播に関しては 3D TNS 法 (Traction-at-Split-Node Method) [Andrews, 1973, Day, 1977, Archuleta and Day, 1980, Andrews, 1999] を用いた。地下 3km, 静止摩擦係数 0.6, 動摩擦係数 0.4, 断層面における初期の剪断応力を垂直応力の 0.42 倍の条件下で、破壊を半径 180m まで S 波速度の 80% の速度で進展させた後、自発的な破壊の進展をシミュレーションした。その結果、変形集中ゾーンの幅が 5cm の場合には破壊の進展は止まったが、幅が 1cm の場合は破壊は加速しながら進展した。この結果は歪速度分布の時間的变化や変形初期に起こる膨張、圧密等の影響は考慮に入れていないが、変形ゾーンの幅が破壊の伝播時の断層の挙動に大きな影響を与える事が分かった。このように変形集中域近傍での水理学的条件や変形様式により地震時の断層挙動が大きく変化する可能性がある。本研究では主にこの事に関し考察を行う。