

三次元境界積分方程式法を用いた屈曲断層での動的破壊シミュレーション

Simulation of Dynamic Rupture Propagation on a Bending Fault Using 3D Boundary Integral Equation Method

青地 秀雄 [1], 福山 英一 [2], 松浦 充宏 [3]

Hideo Aochi [1], Eiichi Fukuyama [2], Mitsuhiro Matsu'ura [3]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 防災科研, [3] 東大・理・地球惑星物理

[1] Earth & Planet. Physics, Univ. of Tokyo, [2] NIED, [3] Dept. of Earth & Planetary Physics, Univ. of Tokyo

三次元境界積分方程式法（青地ら，1998，地震学会）を用いて折れ曲がった断層上での動的破壊伝播のシミュレーションを行い，曲がり方の違いによる影響を調べた．緩やかに曲がる断層の場合，破壊は屈曲部を乗り越えて伝播しつづけるが，急激ないし不連続的に走行を変える断層では，破壊の伝播は屈曲部において非常に妨げられる．この違いはクラック先端近傍での応力の放射パターンと断層の走行の複雑な兼ね合いによって引き起こされていると考えられる．つまり，断層の形そのものが，断層の性質を特徴付ける剪断強度や臨界すべり量などの構成パラメータの空間分布を支配していることを示唆している．

断層の複雑な形状，或いはその構造自体が地震時の動的破壊伝播に与える影響を解明することは，地震発生の物理過程を理解するためだけでなく，その後の強震動予測という観点からしても非常に重要である．そのためには，断層の形状や構造が単純な一枚の平面ではない場合の破壊伝播過程を記述できなければならない．これまでに我々は，三次元均質無限弾性体における境界積分方程式法を用いて，平面断層上の剪断すべりに対する任意地点での一般的な応力表現，ならびに断層を微小矩形要素で離散化したときの離散応力表現を解析的に求めてきた（青地ら，1998，地震学会）．これにより屈曲した断層を微小平面断層の集まりで近似的に表現できるようになった．

今回，これまでの定式化に基づいて，形状を持った断層面上で自発的に伝播する動的破壊過程を計算機上で数値シミュレーションした．実際の複雑な断層構造を考える第一段階として一枚の屈曲断層を考え，その断層走行の折れ曲がり方（屈曲部を表現するグリッド数）と最終的な角度（ $10 \sim 30$ 度）を様々に変えて円形クラックの動的破壊伝播の様子を調べた．初期条件は，断層に沿った方向の剪断応力が一様，与えた初期円形クラック内では断層強度は予め低下しているものと仮定した．なおすべりも断層走行方向のみとし，初期円形クラック外では法線応力依存性のない，一様なすべり弱化的断層構成則を与えた．方程式の規格化は，すべり弱化的臨界すべり量，破損強度低下量ならびに初期クラックの大きさ（直径約5グリッド）にて行う．緩やかに折れ曲がる断層（最終角度約30度，屈曲部約12グリッド）の場合，破壊も滑らかに連続的に伝播していくが，折れ曲がり方が急になるに従って，屈曲部において破壊伝播が妨げられ，特に平面から平面へ不連続的に走行が変わるような断層の場合，その接続の角度（最終角度30度）によっては折れ曲がりバリヤーとして働き破壊伝播がその先へ非常に伝わりにくくなることがあることが確認された．特にこれは，初期クラックのすべり方向延長線上に強く現れ，断層の奥行き方向にずれるに従い屈曲部を乗り越えて破壊が伝播するようにも見られる．つまり，既存の断層面が一様な強度をもって曲がって存在し，その上を同じように破壊が伝播してくるにも関わらず，折れ曲がり方によってその後の破壊伝播に影響が現れる．これは，クラック先端が作り出す動的応力場の放射パターンと断層走行の兼ね合いによって生成されていると思われ，実際の断層構造を正しく反映したモデルで計算する必要性がある．

実際の断層（断層系）は非常に複雑であるが，こうした断層構造（形状）が地震破壊伝播に影響していることは明らかであり，断層面の性質を特徴づける構成パラメータは断層面の形状によって拘束されることを示唆している．