

拡張有限要素法 (X-FEM) を用いた自発的な断層破壊の数値解析手法の開発  
Extended finite element method(X-FEM) for spontaneous rupture propagation

○和田一範・後藤浩之

○Kazunori WADA, Hiroyuki GOTO

We apply an extended finite element method (X-FEM) for spontaneous rupture propagation on a planar fault. Mesh layout of X-FEM need not to match the fault plane with the mesh edge because a discontinuity of the displacement can be analysed inside the element. In order to apply X-FEM for spontaneous rupture propagation, we control slip displacement by adopting geometrical boundary conditions and traction by adopting kinetic boundary conditions. We consider two soil layers, and fault tip is located at the boundary of each layer. Results for the cases of higher dip angles show that large strain occurs in the inclining direction of the fault rather than extended direction. It may be related to forming the flower structure near surface during strike-slip shallow earthquake.

### 1. はじめに

断層の自発的な破壊進展問題を数値解析するための方法としては、差分法 (FDM) や有限要素法 (FEM), 境界積分方程式法 (BIEM) などが挙げられるが、1) 不均質な地盤の解析が可能であること、2) 不連続な境界を自由に導入できること、の両者を十分に満足させることは以上に挙げた解析手法では難しい。一方、近年 Belytschko and Black<sup>1)</sup> や Moes<sup>2)</sup> らによって提案された拡張有限要素法 (X-FEM) は要素内に不連続な境界を導入できる手法である。エンリッチノードと呼ばれる新たな自由度を節点に追加し、エンリッチ関数と呼ばれる不連続関数を形状関数に導入することで、要素内の不連続な境界を表現できる。

本研究では、二層構造の 2 次元 SH 波動場の自発的な破壊進展問題に対して、X-FEM を適用し、傾斜角の違いによる媒質境界付近の挙動を検証する。

### 2. 解析手法

断層の破壊基準は Ida<sup>3)</sup> の滑り弱化型摩擦則を用いる。断層が破壊している領域は、表面力をエンリッチノードにかかる外力に置き換えることで制御する (力学的境界条件)。まだ破壊していない領域は、滑り変位に係るエンリッチノード値を 0 として制御する (幾何学的境界条件)。降伏表面力で規定する破壊の判定は要素を切る断層の領域の表面力で行い、両方の効果が混在する要素が破壊先端に位置する。

### 3. 数値解析例

二層構造地盤における断層を対象にした数値解析について記す。断層を上端が媒質境界に接するように配置し、様々な傾斜角で、地盤のひずみ場とその方向を計算した。傾斜角が低角の場合は断層の上盤側に大きなひずみの領域が存在するため水平方向に非対称なモードとなる可能性がある。また、この非対称性の程度は、高角になるにつれ減少していく。また、傾斜角が高角の場合、上層で断層面の延長方向に大きなひずみ場が発生するのではなく、断層面の延長方向に対して傾いて大きなひずみ場が発生する。これはフラワーストラクチャのような地表付近の断層面形成 (Dalguer and Irikura<sup>4)</sup>) と関連している可能性がある。

### 参考文献

- 1) Belytschko, T. and Black, T : Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing, *Int. J. Numer. Meth. Engng.*, **45**, 602-620, 1999.
- 2) Moes, N., Dolbow, J., Belytschko, T : A finite element method for crack growth without remeshing, *Int. J. Numer. Meth. Engng.*, **46**, 133-150, 1999.
- 3) Ida, Y : Cohesive force across the tip of a longitudinal-shear crack and Griffith's specific surface energy, *J. geophys. Res.*, **77**, 3796-3805, 1972.
- 4) Dalguer, L. A. and Irikura, K. : Simulation of tensile crack generation by three-dimensional dynamic