

## 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 [1]; 後藤 浩之 [2]

# Kazunori Wada[1]; Hiroyuki Goto[2]

[1] 京大・工; [2] 京大・防災研

[1] Engineering, Kyoto Univ.; [2] DPRI, Kyoto Univ.

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、一般に領域型の解法や境界型の解法が用いられている。差分法 (FDM) や有限要素法 (FEM) といった領域型の解法は、不均質な媒質や非線形な媒質を容易に設定できる反面、断層のように変位が不連続である境界を考えるためには、境界を要素境界に沿わせて節点の自由度を倍にする (Split Node) など、特別な処理を施す必要がある。一方、近年 Belytschko and Black(1999) や Moe(1999) 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する。

本研究では、自発的破壊進展問題に X-FEM が有用な解析手法に成り得るかを検討する。Ida(1972) などが提案した滑り弱化型摩擦則を用いて 2 次元 SH 問題について行う。BIEM で解が得られるような単純な問題に対して、X-FEM で求められる結果と BIEM による結果とを比較して精度を確認する。

断層が破壊している領域は、表面力が規定される力学的境界条件に相当し、まだ破壊していない領域は、滑り変位 (=0) が規定される幾何学的境界条件に相当する。力学的境界条件は外力項として与えることができるので、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。幾何学的境界条件は、滑り変位値と表面力の釣り合い式とからエンリッチノード値を求めて、エンリッチノード値を制御する。解析は 4 節点アイソパラメトリック要素で行い、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う。破壊進展時には、いずれの要素も幾何学的境界条件が力学的境界条件かを選択することになり、エンリッチノードで見ると両方の効果の含まれた節点が破壊先端に相当する。

2 次元の全無限均質媒質において、X-FEM による結果と BIEM による結果を比較したところ、破壊核形成領域と断層端の特異点付近で精度が落ちたものの、他の点では一致する。また、半無限媒質内の傾斜角 90 度の断層において、鏡像断層を用いて自由表面を実現した BIEM と比較すると、自由表面を切る点の特異点とならないために高い精度で一致する。また、全無限均質媒質で傾斜角を変化させて比較したところ、全ての傾斜角で解が一致した。