

FEM - を用いた不均一体の破壊現象のモンテカルロシミュレーション

東京大学 学生会員 若井 淳
 東京大学 正会員 堀 宗朗
 東京大学 正会員 小国 健二

1. はじめに

固体計算力学分野での破壊現象は理想的均一体モデルを使ったものが主流である。一方、実際の物体では材料不均一性が亀裂進展を変える。理想的均一体モデルではなく不均一体モデルを使い、ばらつきも含めた亀裂進展経路を計算することは重大な課題であると思われる。

不均一性をさまざま変えたモンテカルロシミュレーションに通常の FEM 解析を適用することは簡単ではない。この点を考慮し、著者らは安い計算コストの新しい FEM 解析、FEM- β を提案している。

上記を背景とし、本論文は、FEM- β を使った不均一体モデルの破壊現象のモンテカルロシミュレーションを行う。

進展を計算する。強度を使った単純な破壊基準を用いる。板の寸法は 4×2 であり、亀裂長 0.2 の二つの初期亀裂が反対称の位置に置かれている。境界条件は鉛直方向一様引張変位である。材料特性と境界条件は表-1 に整理する。

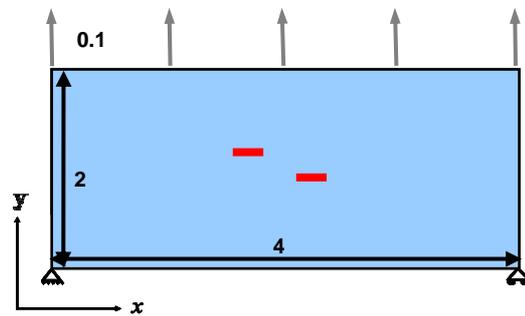


図-2：並行亀裂進展問題

弾性係数	1.0
ポアソン比	0.25
境界変位量(鉛直方向)	0.1
軸ひずみ	0.05

表-1：並行亀裂進展問題の設定

2. FEM- β

FEM- β は関数の離散化に粒子離散化を組み込んだ FEM である。粒子離散化は、Voronoi 分割された領域の特性関数を使った離散化である(図-1 参照)。局所的な平均値を使って関数が離散化され、離散化された関数の微係数の計算には Voronoi 分割と双対をなす Delaunay 分割を利用する。

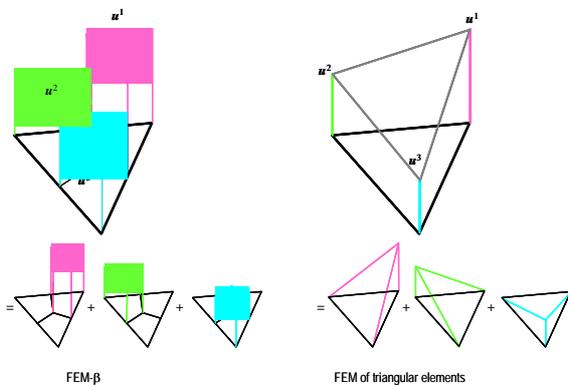


図-1：2次元問題の変位場の離散化

3. 不均一体のモンテカルロシミュレーション

図-2 に示す平面ひずみ状態にある板内の並行亀裂の

既往の研究で得られた理想的均一体モデルの数値解との比較を行う。不均一体モデルの亀裂進展経路の一例を図-3 に示す。理想的均一体モデルでは、内側の 2 つの亀裂端から始まる経路はともに緩やかな勾配で他方の亀裂の外側の端に向かうのに対して、不均一体モデルでは、内側の亀裂端からの経路が二つの亀裂で異なっている。

不均一体モデルの亀裂進展を視覚的に捉えるために、モンテカルロシミュレーションから亀裂進展経路の確率分布を計算し、それを図-4 に示す。この図から、不均一体モデルの亀裂進展経路は相当なばらつきを持っており、一方の亀裂の内側を始点とする進展が、急勾配でもう一方の亀裂の内側に向かうもの、緩勾配でもう一方の亀裂の外側に向かうもの、

ほぼ真っ直ぐに進展するものなど、軌跡にはさまざまなパターンがあることを示している。

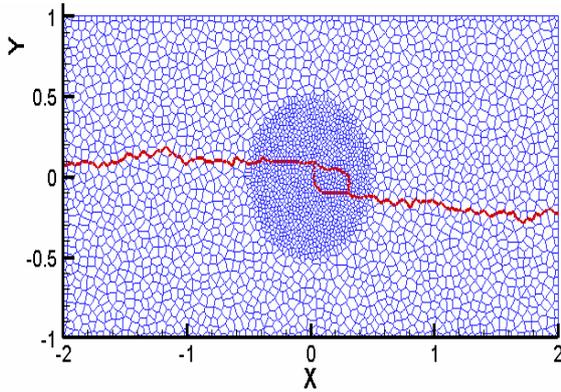


図-3：亀裂進展経路の例

計算される亀裂進展経路の平均値は、理想的均一モデルの経路とは完全に一致しない。

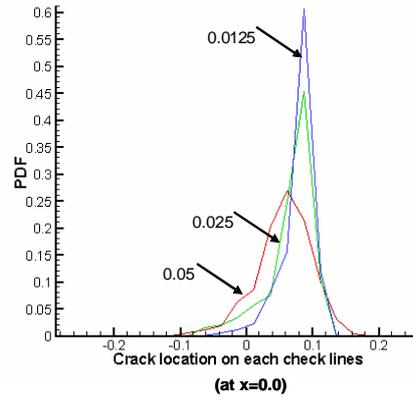


図-5：亀裂進展経路の確率密度関数

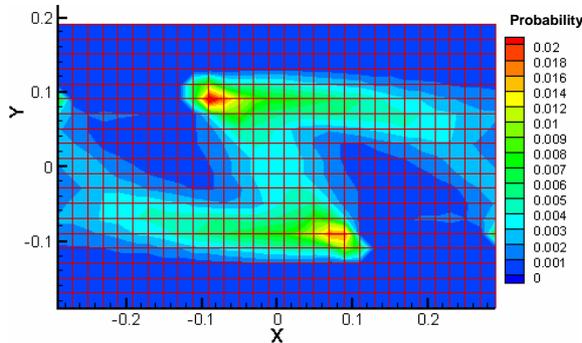


図-4：亀裂進展経路確率密度関数

図-4には、内側の亀裂端からの経路にほぼ鉛直方向に進展する亀裂があることが示されている。鉛直方向への一様引張では、水平な初期亀裂からこのような亀裂進展が起こることは直感的には理解できない。しかし、モンテカルロシミュレーションによると、このような鉛直方向の進展は、他方の亀裂が先に緩勾配でほぼ水平に進展する場合に発生する。

次に、異なるメッシュサイズを使って、亀裂進展経路の確率密度関数の収束を検討した。サイズが小さくなると確率密度関数が収束し、その平均は理想的均一モデルの二つの亀裂の進展経路に近づくことが予想される。確率密度関数を図-5に示す。予想通り、メッシュサイズを小さくすると確率密度関数が収束していく。しかし、収束する確率密度関数から

4．おわりに

単純な平行亀裂の進展でも、相互作用の結果、進展経路には相当のばらつきが発生する。このようなばらつきが理想的均一モデルの進展経路の解の分岐階に対応するのであれば、進展経路のばらつきの評価は、理想的均一モデルを対象とした通常のFEM解析では困難である。計算効率の良いFEM- β を使ったモンテカルロシミュレーションの有効性が示唆される。

参考文献

- ・小国健二，堀宗朗，阪口秀：破壊現象の解析に適した有限要素法の提案，土木学会論文集，Vol.766，1-68，pp.203-217，2004.
- ・Masayuki KAMAYA: A Crack Growth Evaluation Method for Interacting Multiple Cracks, JSME International Journal, Series A, Vol.46, No.1, pp.15-23, 2003.
- ・Masayuki KAMAYA, Nobuo TOTSUKA: Influence of interaction between multiple cracks on stress corrosion crack propagation, Corrosion Science, pp.2333-2352, 2002.

キーワード：不均一性解析，モンテカルロシミュレーション，FEM-

連絡先：〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1 東京大地震研究所 TEL 03-5841-5756