

# 効率的な三次元弾塑性き裂解析のための X-FEM コードの開発

## 背景

我が国の軽水炉配管の欠陥評価基準には、破壊力学に基づいたき裂付き配管の破壊荷重評価法が規定されている。現行の欠陥評価基準では十分な安全余裕を担保するため、貫通き裂の進展解析の結果をベースに表面き裂(未貫通き裂)の破壊荷重を評価することとされているが、表面き裂の進展挙動を直接的に推定することにより、より合理的な評価法が提案できると期待される。

近年、FEM(有限要素法)を拡張した X-FEM<sup>注)</sup>なる数値解析法のき裂問題への適用が注目されている。同法では、構造の要素分割とき裂形状の設定を独立に行うことができ、き裂の進展に伴う要素の再分割をすることなく、効率的に数値解析を実施できる可能性がある。X-FEM のき裂への応用はこれまで線形問題に限られていたが、これは弾塑性状態におけるき裂先端近傍の変位場の特異性をいかに考慮すべきかが明確になっていなかったことが理由である。X-FEM が表面き裂に対する弾塑性問題にも適用できるようになれば、上記の欠陥評価基準の格段の合理化が期待される。

## 目的

X-FEM を用いた表面き裂の弾塑性破壊解析コードを開発し、その妥当性を検証する。

## 主な成果

以下の成果により、欠陥評価基準の合理化の見通しを得た。

### (1) X-FEM コードの開発

X-FEM による破壊解析の基本的な考え方、および同法を表面き裂の延性き裂進展解析へ適用する際に考慮すべき課題を整理した。その結果を踏まえ、X-FEM による表面き裂の弾塑性破壊解析コード"EPX3D"、およびき裂進展解析を実現するためのプログラム"EXTEND3D"を開発した(図 1 参照)。

### (2) X-FEM コードの検証

上記(1)で開発したコードを用いた各種の検証解析を実施し、解析結果を有限要素解析結果と比較した。より単純な解析モデルを用いた X-FEM コードによる解析結果は有限要素解析結果と良く一致し、開発したコードの妥当性が確認された(図 2 参照)。

注) eXtended-FEM: 拡張有限要素法、従来の有限要素法で用いる内挿関数に、変位場の特性を表現した基底関数(これをエンリッチ関数と呼ぶ)を局所的に付加することで、有限要素分割と独立にき裂形状を定義し、き裂先端の応力場の特異性を扱うことができる。それ以外は従来の FEM 解析技術を基本的にはそのまま継承できる。

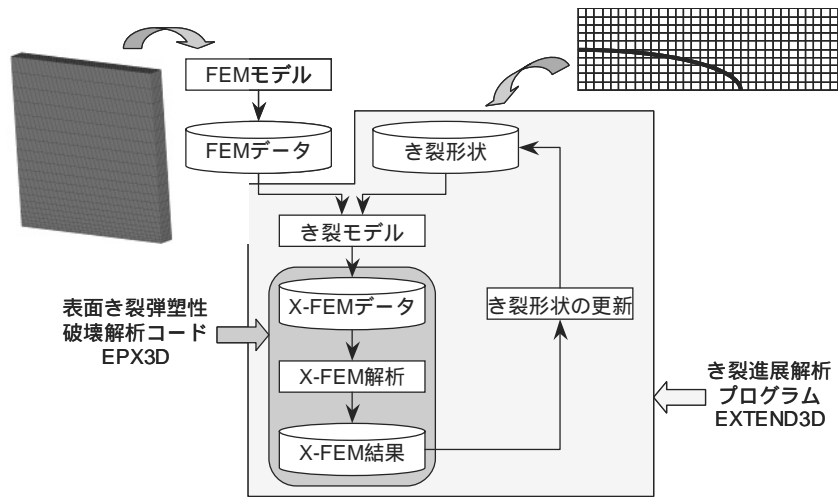
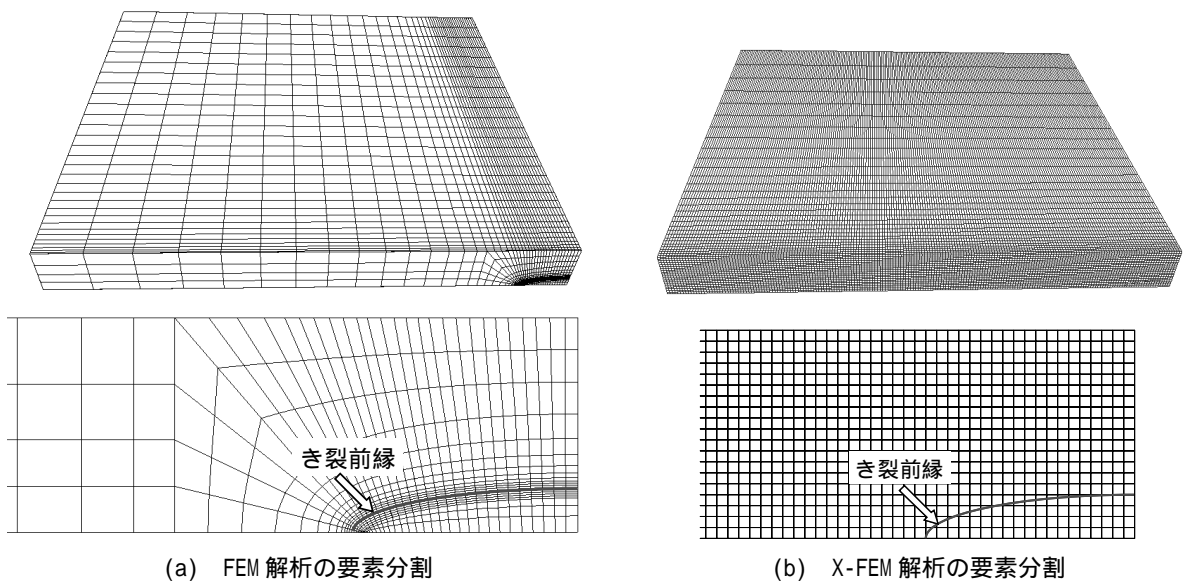
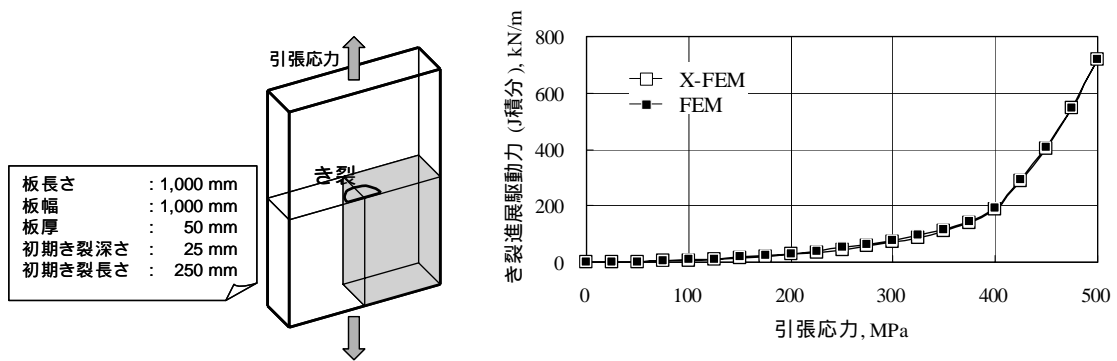


図1 X-FEM を用いたき裂進展解析の流れ



(a) FEM 解析の要素分割

(b) X-FEM 解析の要素分割



(c) 引張応力とき裂最深点における J 積分の関係

図2 FEM および X-FEM による解析結果の比較の例

研究報告 Q07001	キーワード：X-FEM，表面き裂，弾塑性，破壊解析，き裂進展
担当者	三浦 直樹（材料科学研究所 構造材料評価領域）
連絡先	（財）電力中央研究所 材料科学研究所 Tel. 046-856-2121(代) E-mail : msrl-rr-ml@criepi.denken.or.jp