

亀裂先端におけるFe濃度の拡散評価解析

Diffusion analysis of the concentration of Fe at the crack tip

石川覚志¹⁾, 寺地巧²⁾

Satoshi Ishikawa and Takumi Terachi

1) 博(工) 株式会社IDAJ (〒650-0001 神戸市中央区加納町4-4-17 ニッセイ三宮ビル, E-mail: ishikawa.satoshi@idaj.co.jp)

2) 博(工) 株式会社原子力安全システム研究所 (〒919-1205 福井県三方郡美浜町佐田64号, E-mail: terachi@inss.co.jp)

The composition change rate at the crack tip is important factor for SCC(stress corrosion cracking) on metallic materials of nuclear power plants. This paper indicates the numerical method for analyzing the grain boundary diffusion and the lattice diffusion around the crack tip. To accurately evaluate these two diffusion rates, it is necessary to consider the effects of stress and strain on diffusion behavior.

Key Words : Grain boundary diffusion, Lattice diffusion, SCC(Stress Corrosion Cracking)

1. はじめに

原子力発電所で用いられる金属材料（ステンレス鋼など）の応力腐食割れに関する研究の一環として亀裂先端の組成変化に関する検討がある。Shen, Zhao, et al[1]は透過電子顕微鏡を用いた実験で、亀裂先端の粒界で発生する組成変化を確認した。金属成分としてFeやCrは亀裂の開口部方向に拡散で溶出し、Niは相対的に酸化しづらいため逆方向に拡散することが報告されている。これらFeを主体とした金属濃度の減少は、応力腐食割れの機構に影響を及ぼす可能性がある。

本研究では、亀裂先端の粒界周辺におけるFe, Cr, Niの拡散を汎用FEMによるシミュレーションで解くための手法を検討した。汎用FEMとしてAbaqusの質量拡散解析プロシージャを適用した。本研究では、濃度拡散の解析手法を一般論として論ずる。

2. 粒界拡散と体拡散

たとえばFeの濃度として、亀裂先端部での組成変化の模式図を図1に示す。亀裂先端上部の領域、特に亀裂延長線上の領域において、亀裂進展方向に粒界拡散、亀裂垂直方向に体拡散が生じる。これらの変化は亀裂延長線上の濃い青の拡散度が他の領域と比較して数桁のオーダーで小さいことが原因であると予想されている。本研究では、Feを対象として濃度分布をFEMで得る。

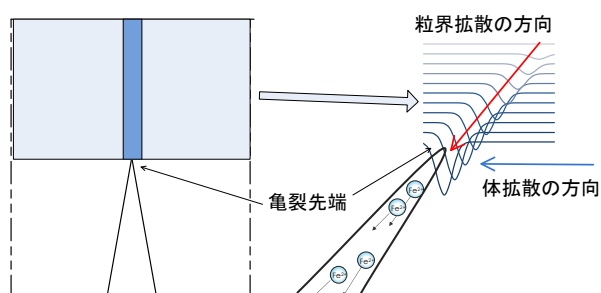


図-1 亀裂先端での拡散模式図

3. 解析条件

解析は2次元平面モデルで行った。要素タイプはAbaqusの質量拡散4辺形要素DC2D4を用い、図-2に示すメッシュ分割とした。このメッシュモデルは図-1薄墨の四角形領域の右側1/2領域を右90度回転した状態を表している。

境界条件として、図-2下側領域は無窮領域を表し、濃度を15000カウントで固定した。図-2左上部の1節点が亀裂先端を表し、濃度を4000カウントで固定拘束条件を与えた。初期濃度は15000カウントとし、500000秒の現象時間を非定常応答で解析した。

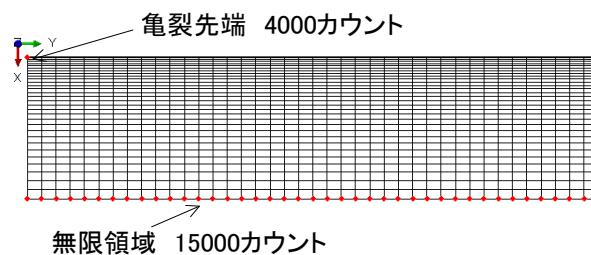


図-2 解析モデル

モデル全体の拡散度は100とし、図-2のモデル上部の1層分の要素の拡散度は0.005として、5桁のオーダーで異なる拡散度を設定した。

4. 解析結果

図-3に示すパスプロットの位置で経過時間ごとの濃度分布を確認した。

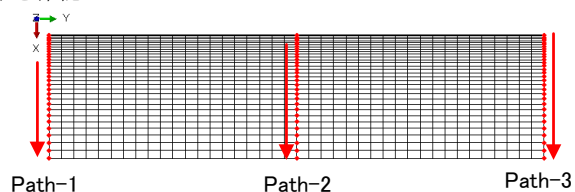


図-3 評価するパスプロットの位置

一定の時間経過後のそれぞれのパスプロット位置での濃度分布を図-4から図-6に示す。時間が経過するにしたがって、濃度が定常状態に近づいている。また体拡散と粒界拡散の様子を捉えることができています。

これらの拡散評価の結果は亀裂先端における既往知見による観察結果と同様の傾向を示すが、定量的には更なる検討が必要と考えられる。具体的には、応力やひずみ等の影響因子を踏まえて、計算手法の確立が必要と考えられる。

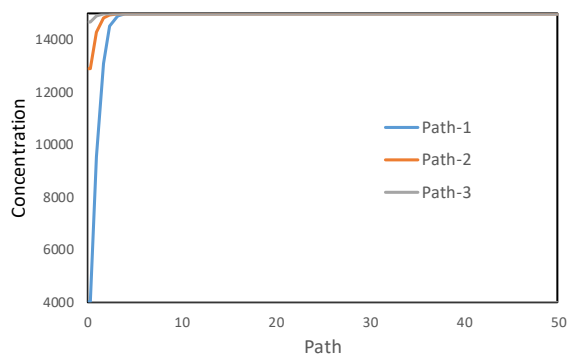


図-4 100 秒経過後の濃度パスプロット

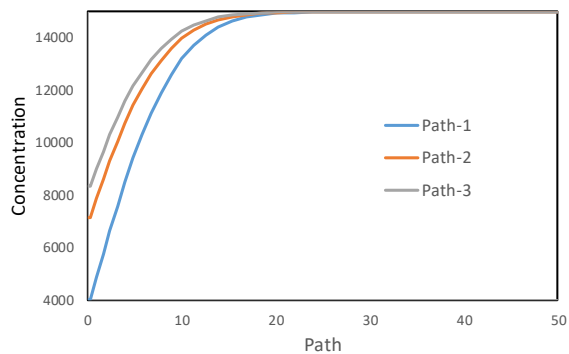


図-5 5000 秒経過後の濃度パスプロット

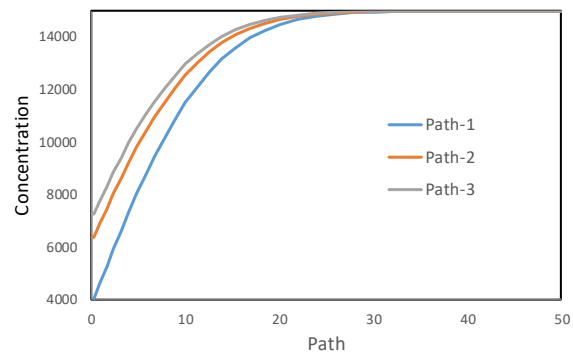


図-6 10000 秒経過後の濃度パスプロット

5. まとめ

亀裂先端での金属濃度の拡散現象をFEMで解析する試みを行った。本研究では粗い設定での拡散度を使用した。適正な結果を得るためには拡散度の詳細な検討が必要である。

濃度分布が亀裂先端での応力、ひずみに及ぼす影響が重要であり、今後は質量拡散解析と応力解析を連成させた計算手法を確立する予定である。

参考文献

- [1] Shen, Zhao, et al.: Mechanistic understanding of the temperature dependence of crack growth rate in alloy 600 and 316 stainless steel through high-resolution characterization, *Acta Materialia*, Vol.165, pp.73-86, 2019.