



## 東郷 敬一郎

工学研究科 教授

### ■ キーワード

- ・ 応力腐食割れ(SCC)
- ・ ステンレス鋼
- ・ モンテカルロ・シミュレーション
- ・ 表面き裂
- ・ き裂発生・進展・合体
- ・ 破壊力学
- ・ 確率過程
- ・ 寿命評価

### ■ 技術相談に応じられる関連分野

- ・ 各種工業材料(金属, プラスティック, セラミック)の破壊および疲労, 強度評価, 破壊機構解明
- ・ 複合材料, 傾斜機能材料, 機能性材料の変形・損傷・破壊挙動の評価
- ・ 応力解析と強度論に基づく構造設計

# 応力腐食割れシミュレーションによる 構造材料の寿命評価手法の開発

## 研究の背景と目的

近年, CO<sub>2</sub> 排出削減で原子力発電が注目される中, 原子炉内の構造部材に, 応力腐食割れ(SCC)による大きなき裂の発生例が報告されており, 経年劣化という観点から SCC 対策が最重要課題となっている。本研究の目的は, 応力腐食割れ挙動におけるき裂発生, き裂合体・進展挙動に着目したモンテカルロ・シミュレーションを開発し, シミュレーション結果に基づく寿命評価法を提案することである。

## 研究の概要

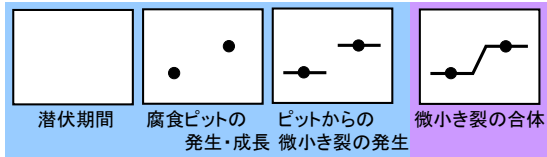
応力腐食割れ(SCC)は, 材料, 環境, 応力の組合せにより生じる極めて複雑な破壊現象である。実構造物に発生する SCC の特徴は, 腐食ピットの発生・成長, ピットからのき裂発生による微小分布き裂の形成, 微小き裂の合体と進展, 巨視的き裂の合体と進展といったマイクロからマクロにわたる過程により形成され, 階層構造を示す。本研究では, 平滑表面に発生する SCC 表面き裂を想定し, 階層構造を示す SCC 挙動を確率論に基づくき裂発生と破壊力学の基づくき裂進展・合体とモデル化を行うとともに, 実機における SCC 挙動を再現できるモンテカルロ・シミュレーションを開発し, シミュレーション結果に基づく寿命評価法を提案した。

◎研究段階…(着想・**基礎**・応用・開発)

## セールズポイント

- ・ 特筆すべき研究ポイント:
  - ・ 階層構造を示す応力腐食割れ(SCC)挙動を再現可能。
  - ・ 構造材料や環境条件に対応した入力データにより解析が可能であり, 解析手法の汎用性がある。
- ・ 新規研究要素: (世界初あるいは日本初など)
  - ・ 微小き裂発生から大きき裂形成にいたる SCC 挙動の各階層の挙動の解明
  - ・ 階層構造を示す SCC 挙動の統合化手法
  - ・ 表面き裂効果の導入
  - ・ 応力分布下の SCC 挙動のシミュレーション
- ・ 従来技術との差別化要素・優位性:
  - ・ 実機における SCC 挙動の再現
  - ・ SCC 挙動を示す階層構造のモデル化

き裂の発生過程



微小き裂の発生

微小き裂発生の累積確率

$$F_i(t) = 1 - \exp\left\{-\frac{(t-a_i)}{\theta_i}\right\} = 1 - \exp\{-H_i(t)\}$$

$a_i, \theta_i$ : 材料・作用応力・環境に依存するパラメータ

モデル化



定常き裂進展・合体

微小き裂の合体

最大発生可能き裂数

$$N_{max} = \frac{\text{Simulation area}}{\text{Average grain area}}$$

発生: Poisson確率過程

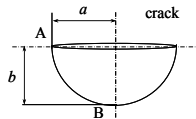
- 時間: 指数乱数
- 場所: 一様乱数
- 長さ: 正規乱数

合体:  $K_I(\sigma, a)$  確定的過程  
成長:  $K_I(\sigma, a)$  (破壊力学)

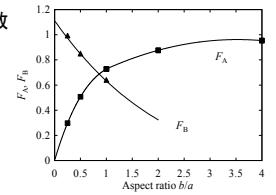
応力拡大係数

$$K_{IA} = F_A \sigma_0 \sqrt{\pi a} \text{ at point A}$$

$$K_{IB} = F_B \sigma_0 \sqrt{\pi b} \text{ at point B}$$



修正係数

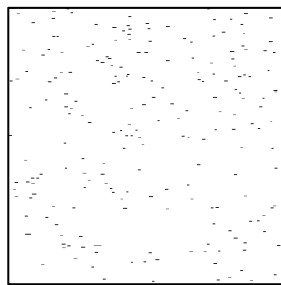


1. 結晶粒寸法の粒界き裂が引張応力方向に垂直に発生
2. 乱数により各き裂に発生時間を与え、発生時間の短いものから発生

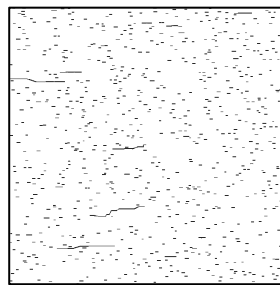
図1 応力腐食割れ(SCC)過程のモデル化

図2 モンテカルロ・シミュレーション手法

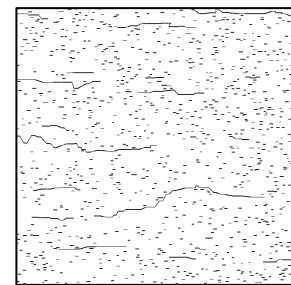
イメージ図



(a) 100 時間後



(b) 300 時間後



(c) 500 時間後

図3 モンテカルロ・シミュレーションによる SCC き裂の発生・合体・成長挙動

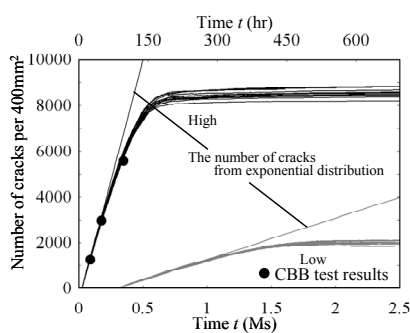


図4 時間—き裂発生数

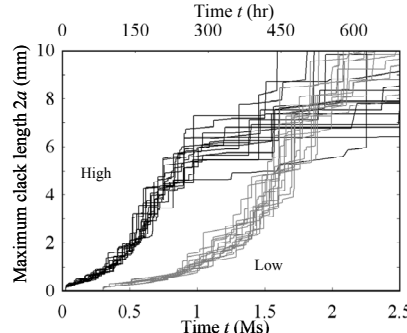


図5 時間—最大き裂長さ

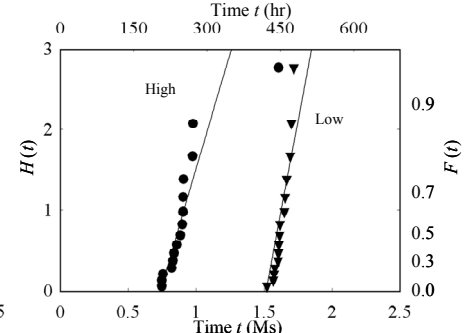


図6 寿命分布

応用、企業化

・対象分野:

素材メーカー, 重電メーカー, 電力・エネルギー関連メーカー

・企業貢献度と内容:

高精度寿命予測に基づく信頼性向上と高経年化への対応

・他分野への応用:

輸送機器(自動車等)や化学プラントへの適用(腐食環境下にある素材の信頼性評価が可能)

その他の研究紹介

- ・ 塑性変形場に発生・進展する応力腐食割れ挙動の解明
- ・ セラミックス—金属系生体適合複合材料・傾斜機能材料の開発と強度評価に関する研究
- ・ 粒子分散複合材料の損傷・粒子寸法効果を考慮した力学モデルおよびナノ粒子分散複合材料の開発
- ・ 超高張力鋼板のスポット溶接継手およびスポットウェルドボンド継手の疲労破壊機構に関する研究
- ・ ペーパー系摩擦材の実使用環境下における疲労破壊機構に関する研究

今後の展望