

蒸気タービンロータ材のクリープボイド成長挙動の解明と ボイド成長シミュレーションプログラムの開発

背景

電力自由化が着実に進行する中で、電力各社においては経年火力高温機器のさらなる寿命延伸と検査の合理化による補修コスト低減に努力が払われている。信頼性を維持しつつ、コスト低減を図るには、高温機器が使用中に受ける損傷、即ち損傷の出発点であるクリープボイド*¹の発生から、微小き裂の発生・成長を定量的に予測できる損傷定量評価法の開発が必要不可欠である。特に、高速回転体であり巨視き裂の存在が許容されない蒸気タービンロータについては、その必要性が高い。しかしながら、これまでは温度・応力解析に基づいて巨視き裂の発生時期（寿命）を予測する手法は開発されているものの、同手法では損傷の進行過程を定量的に予測することは困難である。

目的

タービンロータ材のクリープ疲労条件下におけるボイド成長挙動を明らかにするとともに、実機タービンロータの損傷状態を定量的に推測できるボイド成長シミュレーションプログラムを開発する。

主な成果

1. タービンロータ材（Cr-Mo-V鍛鋼）を対象に、走査型電子顕微鏡内でクリープ疲労試験（温度600℃、応力180MPa）を実施し、微視的な損傷の進行過程を連続的に観察した。その結果、寿命（き裂長さ2mm、繰返し回数1800回）の20%までに2μm程度の擬球状ボイドが発生し、それらはき裂状ボイドに遷移して成長を続け、寿命の50%～70%程度で10μmを超える微小き裂を形成することが明らかとなった。これは、ボイドが発生初期の拡散支配から拡散および結晶粒のクリープ変形が寄与する複合メカニズムで成長することを示唆している。また、本観察結果からボイド発生後も十分な余寿命を有することがわかった。
2. クリープボイドの成長挙動を定量的に予測するため、既報*²で提案したボイド成長モデルに基づく“ボイド成長シミュレーションプログラム”を開発した（図-2）。同プログラムでは、コンピューター上に作成した模擬組織の粒界上にボイドを配置し、任意の温度・応力条件下でそれらのボイドの成長から微小き裂の発生・成長過程をシミュレーションすることができる。これにより、実機タービンロータの任意の部位におけるボイド成長過程を定量的かつ簡便に予測することが可能となった。
3. 上述したクリープ疲労試験において観察された任意の回数での最大ボイド・微小き裂長さは、同一条件でのボイド成長シミュレーションによって概ね予測できることが明らかとなった。（図-3）。また、シミュレーションによって得られた領域全体（0.5mm x 0.5mm）のボイド成長、微小き裂の成長過程は、上述の走査型電子顕微鏡による観察結果と同等であったことから、開発したプログラムによって領域全体の損傷の進行状態を表現できることがわかった（図-4）。

今後の展開

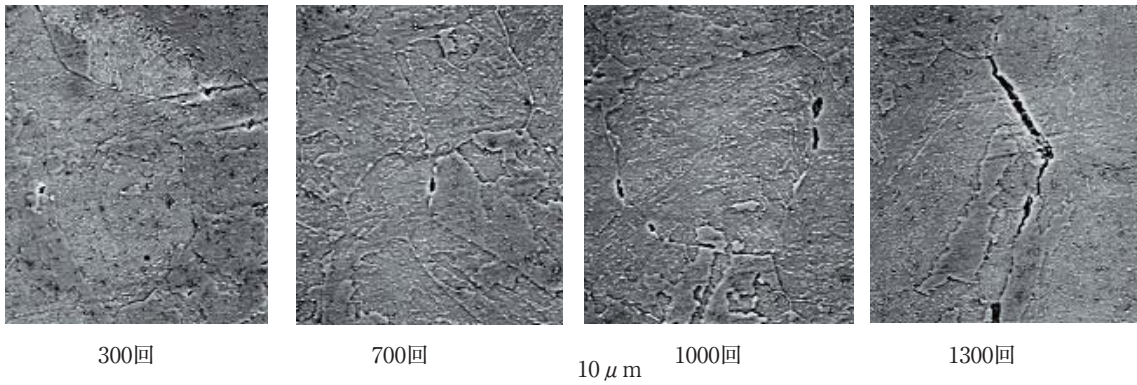
ボイド成長過程における不規則性を考慮できるようプログラムの改良を行うとともに、ケーシングやボイラー溶接部におけるクリープボイド成長シミュレーションへの適用性を明らかにする。

主担当者 材料科学研究所 構造材料評価領域 上席研究員 緒方 隆志

関連報告書 「タービンロータ材のクリープボイド成長挙動の解明とボイド成長シミュレーションプログラムの開発」 電力中央研究所報告：T03007（2003年12月）

*1：長さ10μmまでをボイド、それを超える場合を微小き裂と定義した

*2：緒方、日本機械学会論文集A編 68, 665, pp.74（2002）。



300回 700回 1000回 1300回
 10 μm
 (クリープ疲労試験でき裂が2mmに達した時点の繰返し回数を寿命と定義した(寿命1800回))

図-1 電子顕微鏡内のクリープ疲労試験過程において観察されたクリープボイド

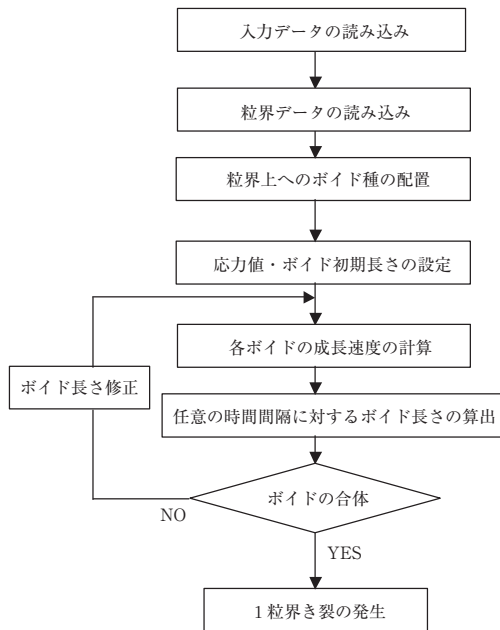


図-2 ボイド成長シミュレーションフロー

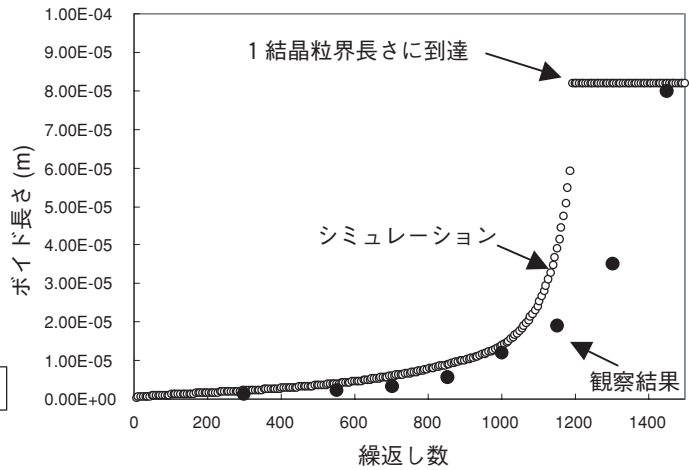
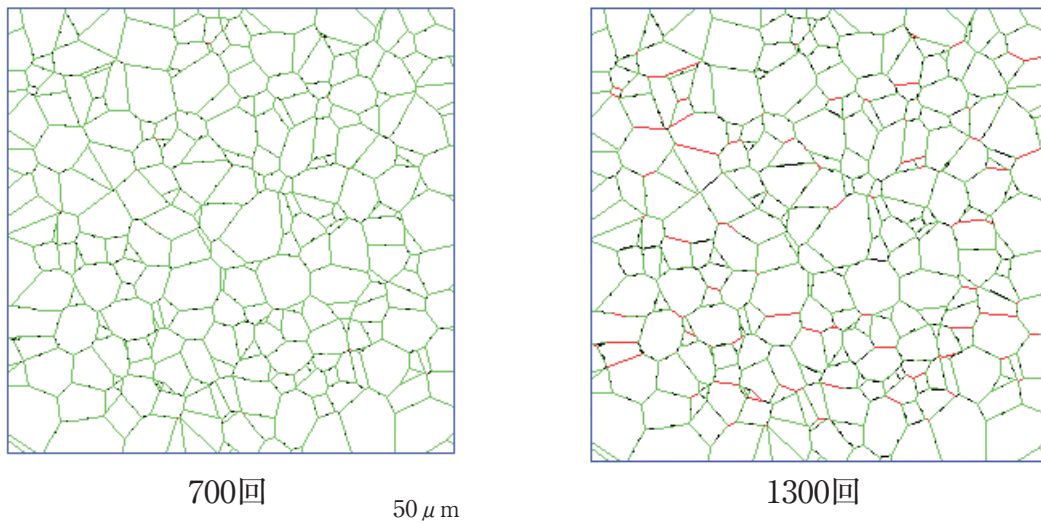


図-3 実験とシミュレーションにおける最大ボイドの成長挙動の比較



(緑色：結晶粒界、黒色：ボイド、微小き裂、赤色：粒界を貫通したき裂)

図-4 クリープ疲労条件下のボイド成長シミュレーション結果(寿命1800回)