

超々臨界圧火力ボイラ用改良9Cr-1Mo鋼溶接部の クリープ損傷評価法の開発

背景

我が国の石炭火力発電出力の約半分は、蒸気温度593℃以上の超々臨界圧火力発電（USC）プラントが担っている。USCプラントでは、低合金鋼に比べ高温強度に優れる改良9Cr-1Mo鋼が高温蒸気配管等に使用されており、同鋼母材のクリープ強度特性と損傷評価法に関しては多くの研究が行われてきた。一方、同鋼の溶接継手材については、公表されている高温強度データが限られており、クリープ損傷評価法に関しては研究の途上にある。最近では、英国のUSCプラントにおいて改良9Cr-1Mo鋼製管寄せ溶接部での噴破事例も報告され、母材部に比べ溶接部でクリープ強度が顕著に低下することが指摘されている*¹。このようなことから、我が国においても多くのUSCプラントで使用されている同鋼の溶接継手部に対するクリープ損傷評価法の構築とそれに基づく適切な余寿命評価が急務な課題とされている。

目的

改良9Cr-1Mo鋼溶接継手のクリープ強度特性ならびに微視的損傷過程を把握するとともに、溶接継手の損傷過程を定量的に予測できるクリープ損傷評価法を開発する。

主な成果

1. 改良9Cr-1Mo鋼溶接継手のクリープ強度特性

- (1) 650℃および700℃で実施したクリープ試験において、溶接継手試験片は実機ボイラ溶接部と同様に溶接の熱影響を受けた熱影響部で破断（タイプIV破断）した。このタイプIV破断により、溶接継手の破断寿命は母材の約1/5に低下することが明らかとなった（図1(a)）。このように、実機の改良9Cr鋼製ボイラ配管溶接部では母材部に比べ損傷の進行が速いため適切な余寿命評価が必要である。
- (2) 母材、熱影響部、溶接金属からなる溶接継手試験片の有限要素モデルを用いたクリープ解析を実施した。その結果、熱影響部のクリープ変形抵抗が他の部位に比べ低いことから、クリープひずみが熱影響部に集中的に蓄積することが、溶接継手のクリープ破断寿命が母材に比べて低くなる主要因であることが明らかとなった（図1(b)）。

2. 改良9Cr-1Mo鋼溶接継手の微視的損傷過程とその評価法

- (1) クリープ損傷中断材の観察結果から、熱影響部においてクリープ破断寿命（2300時間）のわずか20%で擬球状のボイドが直径5μm程度まで成長することが明らかとなった。最大ボイド長さおよびボイド面積率は、クリープ損傷とともに増大した。これより、ボイドを適切に観察できれば、クリープ損傷の程度を推定できることが示唆された（図2、図3）。
- (2) 当所が既に開発したボイド成長シミュレーションプログラム*²を、ボイド発生・成長の確率因子を考慮できるように改良し、熱影響部のボイド成長過程の予測に適用した。その結果、シミュレーションによるボイド成長と観察結果は概ね一致し、最大ボイド長さおよびボイド面積率のクリープ損傷に伴う変化を良好に予測することができた（図2、図3）。これにより、改良9Cr-1Mo鋼溶接部で進行するクリープ損傷、即ちボイドの成長過程を初めて定量的に予測することが可能になり、実機9Cr鋼製ボイラ溶接部の余寿命評価技術の向上を図ることができた。

今後の展開

本研究で改良し、熱影響部への適用が可能となったボイド成長シミュレーションプログラムを、実機ボイラ配管溶接部の余寿命評価や運転条件の変更に伴う損傷へ影響評価等に活用する。

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 「改良9Cr-1Mo鋼溶接継手のクリープ損傷評価法の開発」電力中央研究所報告：Q06002（2006年10月）

*1：S. J. Brett et. al., "In-Service Type IV Cracking in a Modified 9Cr Header", Proceeding of ECCO Creep Conference, London, 2005, pp. 563-572

*2：緒方、電中研研究報告Q05004、2006

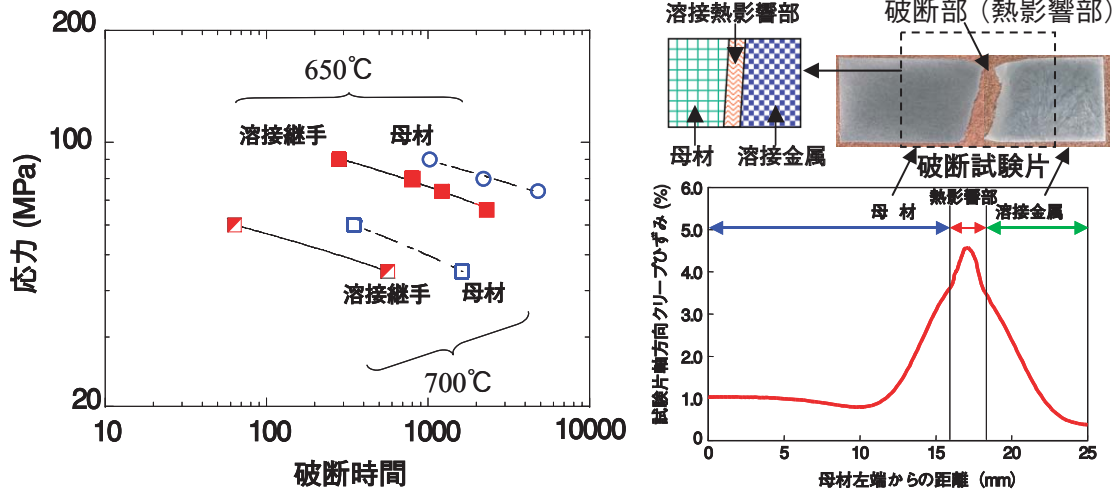


図1 溶接継手のクリープ破断特性と有限要素モデルによるひずみ分布解析結果

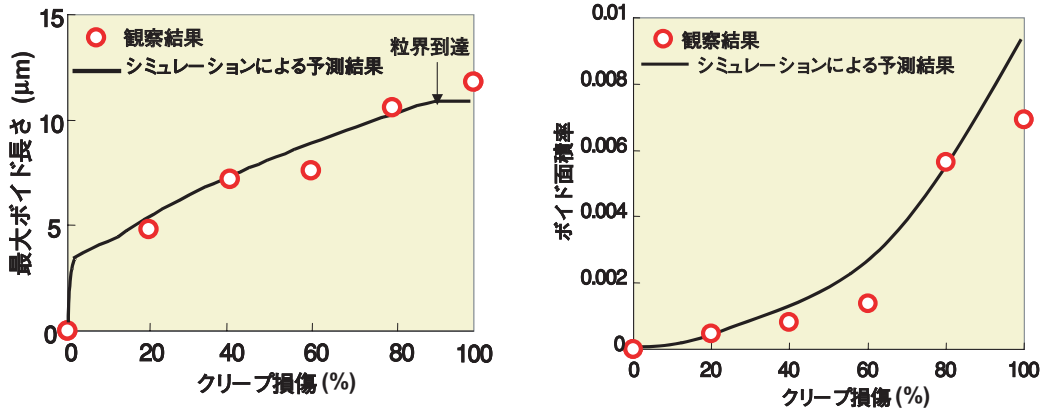


図2 熱影響部細粒部における最大ボイド長さ、ボイド面積率とクリープ損傷の関係

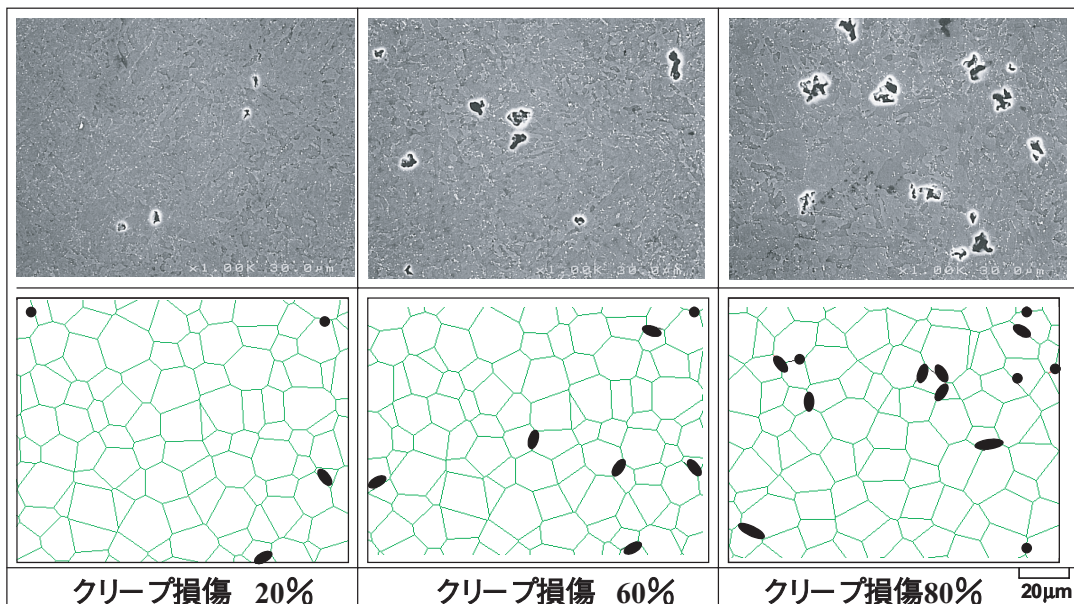


図3 クリープ損傷中断材の観察結果（上）とボイド成長シミュレーション結果（下）の比較