

長時間クリープ強度特性評価と クリープデータシートの作成

SATテクノロジー・ショーケース2014

■はじめに

火力／原子力発電プラントや自動車／航空機用エンジン等の高温機器は、一般に稼働温度を上昇させることにより性能が向上する。世界最高性能を誇る日本の超々臨界圧火力発電プラントは、世界最高レベルの蒸気条件(温度及び圧力)により達成されており、化石燃料の消費量の低減・節約や二酸化炭素排出量の削減に大きく貢献している。しかし、使用温度の上昇は材料の使用環境を苛酷にし、高温機器の基礎的かつ重要な寿命支配因子であるクリープ寿命は大きく低下する。最新の高強度耐熱鋼では、使用温度が50℃上昇することにより、クリープ寿命が1/100程度にまで低下する場合もある。そのため、高温機器の設計基準である許容応力は、10万時間(約11年5ヶ月)でクリープ破断する強度に設計係数(安全率)を考慮して策定されている。安全性・信頼性を十分に確保したうえで高温機器の高性能化を実現するためには、耐熱材料の長時間クリープ強度を正確かつ適切に評価することが重要である。

■クリープ試験

昭和41(1966)年、NIMSの前身である科学技術庁金属材料技術研究所においてクリープデータシートプロジェクトを開始し、44材種の国産耐熱金属材料について、10万時間を超えるクリープ試験データを取得することを目的とするクリープ試験を開始した。その後、新規開発材である22材種の耐熱金属材料を試験対象材料に加え、長時間クリープ試験を継続実施している。これまでに10万時間を超えるクリープ試験データを740点取得しているが、そのうち20万時間(約22年10ヶ月)を超えるデータを126点、さらに30万時間(約34年3ヶ月)を超えるデータを16点取得している。平成21(2009)年には最長のクリープ試験時間が40年を超え、40年を超える長時間クリープ破断データを取得するとともに、平成23(2011)年にはクリープ試験時間が従来の世界最長記録である356,463hを更新した。図1～3

■クリープデータシートの作成

取得したクリープ試験データは材種別に取りまとめで、クリープデータシートとして発行するとともに、NIMS物質・材料データベースの一部として公開している。約1万時間までの試験データをクリープデータシートの初版として発行し、その後3万～5万時間程度の試験データを取得した時点で改訂A版を発行し、10万時間までの試験データを

取得した後、最終版としてB版を発行している。

さらに、クリープ破断試験片の微細金属組織を系統的に掲載した微細金属写真集とクリープ変形データを掲載した変形データ集も発行している。平成25年末までの発行冊数は以下の通りである。

クリープデータシート初版	60冊
クリープデータシートA版	47冊
クリープデータシートB版	34冊
クリープ試験材の微細金属組織写真集	11冊
クリープ変形データ集	2冊



図1 世界最長のクリープ破断試験片

破断時間 : 350,771.8 h
従来の記録 : 339,702 h



図2 世界最長のクリープ試験片

(目黒地区クリープ試験室閉鎖により中止)

試験時間 : 356,838 h
従来の記録 : 356,463 h

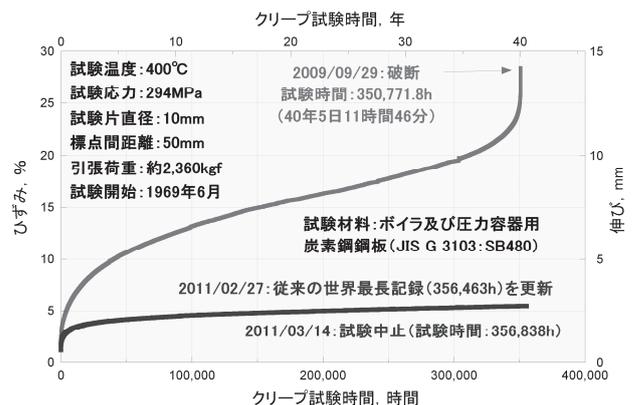


図3 40年を超える世界最長クリープ試験データ

代表発表者 木村 一弘(きむら かずひろ)
所 属 独立行政法人物質・材料研究機構
材料信頼性評価ユニット
問合せ先 〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1
TEL: 029-859-2229 FAX: 029-859-2830
Kimura.kazuhiro@nims.go.jp

■キーワード: (1) 長時間クリープ強度特性
(2) 安全性・信頼性
(3) 寿命予測
(4) 火力発電プラント
(5) 設計基準

■ 寿命予測法

近年開発された高強度フェライト耐熱鋼は、火力発電プラントの蒸気温度を従来の566°Cから620°C程度にまで上昇させることを可能とし、エネルギー効率の向上に大きく貢献している。高強度フェライト耐熱鋼の採用により、世界最高のエネルギー効率を誇る日本の超々臨界圧火力発電技術が実現した。

しかし、これらの高強度フェライト耐熱鋼では、長時間クリープ強度の過大評価の危険性が懸念されていた。そこで、高温での長期使用に伴う強度低下機構を調べるとともに、その知見に基づいて長時間クリープ寿命予測法の高精度化に関する検討を行い、「領域分割解析法」を提案した。「領域分割解析法」は、0.2%耐力の1/2を境界条件として、高応力領域と低応力領域のクリープ寿命を独立に解析する手法であり、図4及び図5に示すように、従来の解析法よりも精度良く、長時間クリープ寿命を予測評価することができる。

■ 設計基準への反映

高強度フェライト耐熱鋼により製作された部材の損傷事例が国内外で認められたことから、高強度フェライト耐熱鋼の長時間クリープ強度の再評価を行った結果、当時の設計基準である許容引張応力は、過大評価された長時間クリープ強度に基づいていることが確認されるとともに、「領域分割解析法」による長時間クリープ強度評価結果の妥当性が確認された。そこで、「領域分割解析法」を用いた長時間クリープ強度の再評価結果に基づいて、平成17年12月に5鋼種、平成19年8月に7鋼種の高強度フェライト耐熱鋼の許容引張応力が改訂された。図6はその一例である。また、既設プラントの高温機器の余寿命評価式にも、「領域分割解析法」による評価結果が採用されており、高温機器の寿命管理を通して、火力発電プラントの安全性・信頼性の向上に貢献している。

■ 関連情報(クリープ試験施設)

昭和41年当時、目黒地区に1,000台を超えるクリープ試験機を整備して長時間クリープ試験を開始した。平成7年以降、つくば(千現地区)へのクリープ試験機の移設作業を進めた結果、平成23年度までに約500台の移設作業を完了し、平成24年3月に目黒地区のクリープ試験施設を閉鎖した。

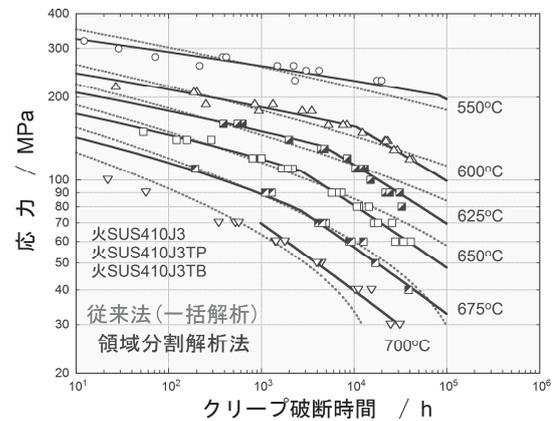


図4 火 SUS410J3 系鋼クリープ破断強度の従来法と領域分割解析法による解析結果

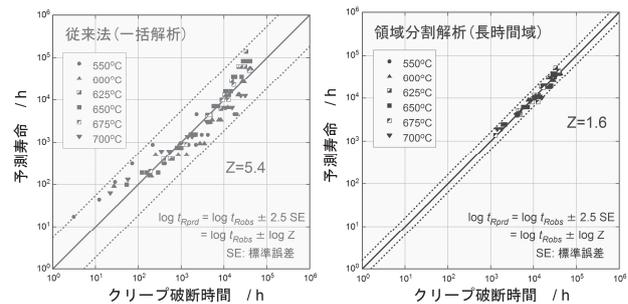


図5 従来法と領域分割解析法によるクリープ破断時間の予測結果と実測値との比較

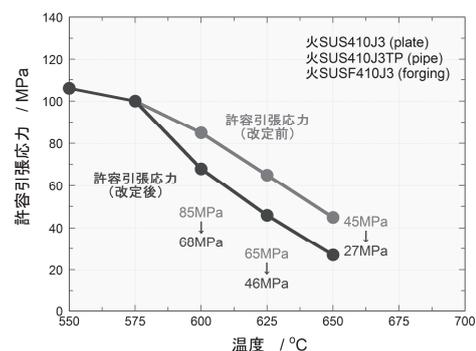


図6 領域分割解析法による再評価に基づく火 SUS410J3 系鋼の許容引張応力の見直し