

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：82641

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820017

研究課題名(和文)ミニチュア試験片による高温構造機器のクリープ損傷評価および寿命診断技術の開発

研究課題名(英文)Development of creep damage and remaining life evaluation methods using miniature specimen for high temperature applications

研究代表者

張 聖徳 (Zhang, Shengde)

一般財団法人電力中央研究所・材料科学研究所・主任研究員

研究者番号：00454520

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、標点部直径1mmのミニチュア試験片を用いて、高経年損傷を受けた発電プラントの新たなクリープ損傷評価を開発した。母材の場合ミニチュア試験片のクリープ変形および破断特性は標準試験片と大きな差がないが、溶接継手の場合クリープ破断時間は試験片直径の減少に伴い顕著に低下した。さらに、クリープ破断時間に及ばず寸法依存性を考慮することによって、ミニチュア試験片で従来の標準試験片と同程度の精度で実機経年劣化材のクリープ損傷が評価できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：A new method using miniature specimen with 1mm in diameter for evaluating the creep damage of long-term used power plant was developed in this study. Creep deformation and rupture of the miniature specimen were closely agreed with those of standard specimen for base material, but times to creep rupture decreased significantly with decreasing the diameter of specimen in case of welded joint. In addition, it is found that the miniature specimen with considering the size dependency on times to creep rupture is applicable to the creep damage evaluation of actual aged materials as well as the conventional standard specimens.

研究分野：機械工学

キーワード：高温構造機器 クリープ損傷 余寿命診断 ミニチュア試験片 溶接継手 高クロム鋼

1. 研究開始当初の背景

(1) 火力発電プラント等においては、総数の約半分(50%)が15万時間以上(約17年)運転されており、設計寿命と言われている30年を超えているプラントも数多く存在する。従って、発電プラントの安全性保証というものが、技術的・社会的に必要不可欠かと言うまでも無い。

(2) 発電プラントの長時間安全使用にかかる最大の技術課題は、既設プラントのクリープ損傷程度を正確に評価する手法の開発である。これまで発電プラントのクリープ損傷には、非破壊損傷評価法と破壊損傷評価法の2つの手法が使用されてきた。前者には、被検査部品の継続使用が可能であるが、損傷評価の精度が低い問題がある。一方、後者では被検査部品から厚さ10mm程度のサンプルを採取し、高精度な評価を可能とするが、被検査部品の継続使用ができないという問題点がある。従って、高精度に損傷評価を行うことができ、かつ被検査部品の継続使用が可能な手法の開発が強く望まれている。微小試験片を用いて材料のクリープ特性を求める手法は、供用中の設備に悪影響を与えない程度の微小なサンプルを切出すため、この試験片を用いた高温機器の損傷評価と寿命診断の精度向上が期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、発電・エネルギーなどの分野における基盤インフラ設備の長時間安全使用を目指し、標点部直径1mmのミニチュア試験片を用いて、高経年損傷を受けた発電プラントの新たなクリープ損傷評価および寿命診断法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、代表的なフェライト系耐熱鋼である改良9Cr-1Mo鋼を供試材とし、以下の研究を実施する(図1)。

(1) ミニチュア試験片のクリープ特性

10万時間程度の経年劣化した実機のボイラ配管の母材および溶接部から標点部直径1mmのミニチュア試験片を加工し、クリープ試験を行う。得られたクリープ破断時間と標準試験片のそれと比較することによって、試験片の寸法効果を明らかにする。

(2) 経年劣化材のクリープ損傷評価

上記(1)で得られたミニチュア試験片のクリープ破断時間からボイラ配管が受けたクリープ損傷(図1の -)を評価する。

(3) 標準試験片による損傷評価の検証

経年劣化したボイラ配管の母材および溶接部から標準試験片を加工し、クリープ破断時間を求め、上記(2)で求めたクリープ損傷と比較することによって、微小試験片による損傷評価の精度を検証する。

4. 研究成果

(1) ミニチュア試験片の製作

本研究で用いた供試材は、10万時間程度使用された改良9Cr-1Mo鋼(火STPA28)のボイラ主蒸気管の溶接継手である。主蒸気管の外形および肉厚はそれぞれ412mmおよび103mmであり、厚さの内面側から外面側までの組織がほぼ同等であることを確認した。

図2に、製作した3種類のミニチュア試験片(標点部直径1mm, 2mmおよび3mm)および標準試験片の形状および寸法を示す。母材については、直径1mmのミニチュア試験片および標準試験片を製作したが、溶接継手については、試験片の寸法効果が確認されたため、直径2mmおよび3mmの試験片を追加した。なお、溶接継手試験片は片側の溶接境界を試験片中心と一致させ、荷重軸が溶接境界とほぼ垂直になるように加工した。

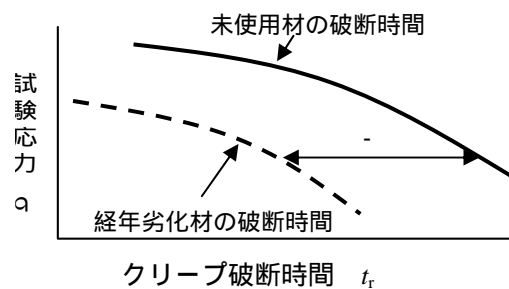
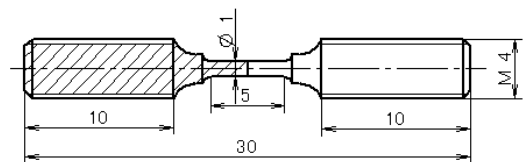
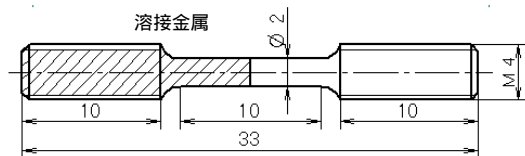


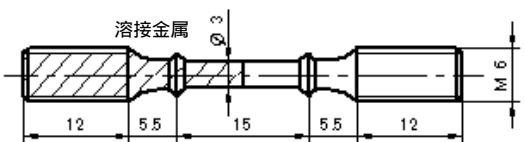
図1 クリープ損傷評価法の模式図



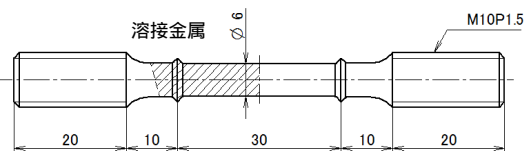
(a) 直径1mmのミニチュア試験片



(b) 直径2mmのミニチュア試験片



(c) 直径3mmのミニチュア試験片



(d) 直径6mmの標準試験片

図2 試験片の形状および寸法

(2) ミニチュア試験片のクリープ特性
母材の場合

図 3 に、直径 1mm のミニチュア試験片および直径 6mm の標準試験片の 600、160MPa と 130MPa におけるクリープ曲線を比較した。クリープ破断時間にばらつきがあるものの、ミニチュア試験片のクリープ曲線は標準試験片のそれらと大きな差がなく、クリープ変形に及ぼす試験片形状の影響が少ないことがわかる。

両試験片のクリープ破断時間を応力で整理した結果を図 4 に示す。図中の実線は標準試験片のデータを基準に引いた線であり、破線は係数 2 のばらつき範囲を示す。同図からわかるように、ミニチュア試験片のクリープ破断時間は標準試験片のそれらとほぼ同程度であった。このことは、試験片の微小化によるクリープ破断時間への影響がほとんどないことを示唆している。

溶接継手の場合

図 5 に、650、70MPa におけるミニチュア試験片および標準試験片のクリープ曲線を示す。試験片が大きい程、クリープ変形は遅くなり、破断時間も長くなることわかる。

試験片の寸法依存性を定量化するため、各試験片の破断時間 (t_r) を標準試験片の破断時間 (t_{r0}) で規格化した寿命比と試験片直径との関係を図 6 に示す。破断時間は明確な寸法依存性を示し、その関係は次式で示すことができる。

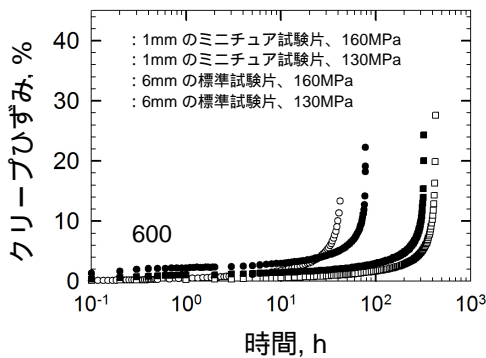


図 3 母材のクリープ曲線

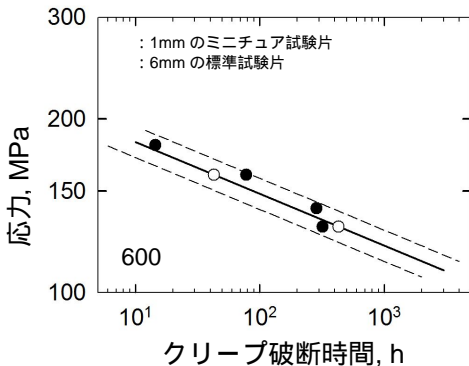


図 4 応力による母材のクリープ破断時間の整理

$$t_r / t_{r0} = 0.27d^{0.74} \quad (1)$$

同式から、直径 1mm の破断時間は標準試験片の 1/4 程度まで低下することがわかる。

以上のことから、母材の場合直径 1mm のミニチュア試験片のクリープ変形および破断特性は従来の標準試験片と大きな差がないが、溶接継手の場合は、クリープ変形および破断特性に及ぼす試験片のサイズの影響が大きく、寸法依存性を考慮する必要があると考えられる。

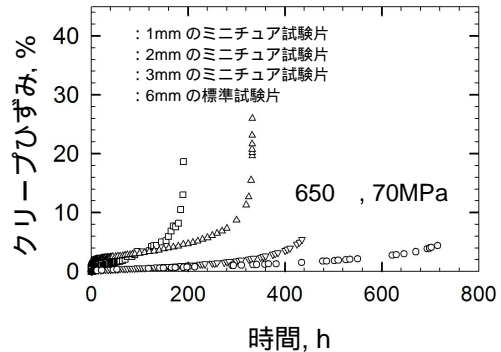


図 5 溶接継手の母材のクリープ曲線

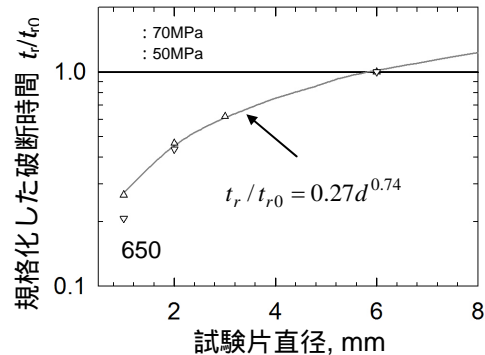


図 6 クリープ破断時間の寸法依存性

(3) 経年劣化材のクリープ損傷評価

図 7 および図 8 に、それぞれ直径 1mm のミニチュア試験片による経年劣化母材および溶接継手のクリープ損傷を評価した結果を示す。未使用材のクリープ破断時間がないため、設計に用いた平均破断時間を実線で示し、実線からの寿命低下の割合 (図 1 の -) でクリープ損傷を評価する。また、ここでは各応力下での結果の平均値をそれぞれ母材および溶接継手のクリープ損傷値とした。さらに、溶接継手については式(1)に示すクリープ破断時間の寸法依存性を考慮して計算した。

以上のように計算した母材および溶接継手のクリープ損傷はそれぞれ 86% および 16% となった。ここで、溶接継手の損傷より母材の損傷が大きく評価されたが、その理由は下記のように推測される。本研究では配管の未使用材のクリープ破断時間がないため、寿命評価曲線の平均破断時間を用いた。しかし、

実際の高クロム鋼のクリープ破断特性は、ヒート間差によって1桁以上異なる可能性がある。さらに、今回の試験条件は高応力、短時間のデータであるため、実機運転条件と異なる。従って、クリープ損傷を正確に評価するためには、ヒートごとの初期特性を適切に把握するとともに、実機運転条件に近い試験を実施することが重要であると考えられる。

(4) 標準試験片による損傷評価の検証

上記(3)で求めたミニチュア試験片によるクリープ損傷を検証するため、標準試験片のクリープ破断時間を用い、経年劣化母材および溶接継手のクリープ損傷を評価した。図9に標準試験片およびミニチュア試験片によるクリープ損傷評価の結果を比較した。ミニチュア試験片によるクリープ損傷値は、標準試験片とほぼ同じであることがわかった。

このことから、本研究で提案したミニチュア試験片で従来の標準試験片と同程度の精度で実機経年劣化材のクリープ損傷が評価できると考えられる。

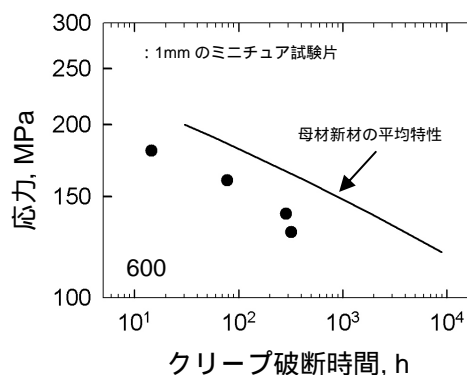


図7 母材のクリープ損傷評価

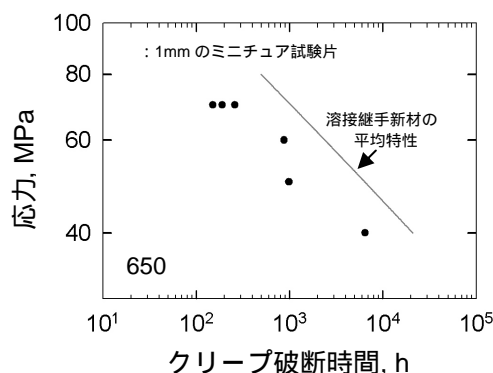


図8 溶接継手のクリープ損傷評価

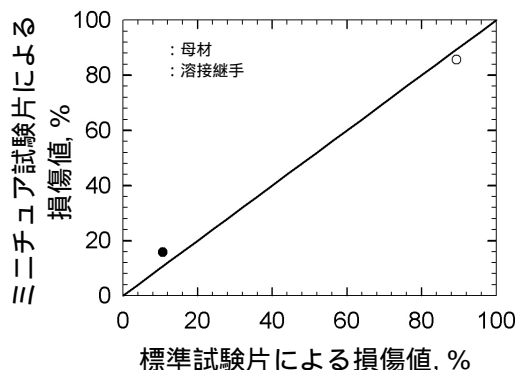


図9 ミニチュア試験片による損傷値と標準試験片による損傷値の比較

<引用文献>

K. Kimura and M. Yaguchi, Proc. ASME 2016 Pres. Vessel & Piping Div. Conf., PVP2016-63355, (2016).
M. Yaguchi, K. Nakamura and S. Nakahashi, Proc. ASME 2016 Pres. Vessel & Piping Div. Conf., PVP2016-63316, (2016).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 4 件)

Shengde Zhang and Souichi Yamazaki, Creep Deformation and Rupture for Welded Joint of Mod.9Cr-1Mo Steel Using Miniature Specimen, 9th China-Japan Bilateral Symposium on High Temperature Strength of Materials, October 18, 2016, Changsha, China, No.39

Shengde Zhang and Souichi Yamazaki, Creep Deformation and Rupture of Long-term Used Gr.91 using Miniature Creep Specimen, Proceedings of International Conference on Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength 2016, September 21, 2016, Toyama, Japan, No.16-204

張聖徳, 山崎 壮一, ミニチュア試験片による改良 9Cr-1Mo 鋼溶接継手のクリープ変形および破断特性, 日本材料学会第 53 回高温強度シンポジウム, 2015 年 12 月 11 日, 和倉温泉観光会館, 石川

Shengde Zhang, Yukio Takahashi and Masao Sakane, Remaining Life Evaluation of Long-term Used Gr.91 using Miniature Creep Specimen, 13th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures, June 02, 2015, Toulouse, France

[図書](計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

張 聖徳 (Shengde, Zhang)
一般財団法人電力中央研究所・材料科学研究
所・主任研究員
研究者番号：00454520

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()