

高温・多軸応力環境における 機械構造用金属材料の特性評価

福井大学 学術研究院 工学系部門工学領域
機械工学講座 准教授 旭吉 雅健

① 課題 (ニーズ)

構造物の安全設計や健全性保障, 余寿命評価のためには対象となる構造材料の各種の特性を正確に把握することが重要である。

金属材料の評価試験として主に引張試験が用いられるが同試験で得られる材料特性は, 引張強度や破断伸び, ヤング率等の静的な機械的性質に限られる。

実構造物では負荷が時間とともに変化することによって疲労現象を生じたり, 構造部品は形状不連続を有していることから応力集中や多軸応力も生じる。また, 高温環境では室温と異なる材料特性を示す。

本課題では, 実機を想定した高温・多軸応力環境での材料特性を評価する。具体的には, 疲労およびクリープに着目して実験力学的に解明する。

② キーワード

【1】 疲労

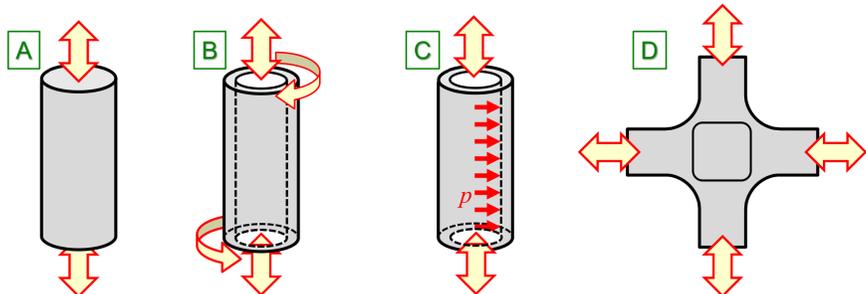
低応力であっても, それが多数回負荷されると材料が損傷したり, き裂の発生進展によって破損する。塑性変形を伴う低サイクル疲労と弾性変形が主の高サイクル疲労等がある。繰返し数依存型の損傷である。

【2】 クリープ

室温では問題にならない応力であっても, 材料融点の約2分の1以上の温度域では, 長時間使用中に材料のひずみを生じて最終的には破断に至ることもある。時間依存型の損傷である。

【3】 多軸応力

単純丸棒試験片の引張り負荷以外はすべてが多軸応力である。構造物のほとんどが多軸応力状態であることから多軸試験が不可欠であるものの, 市販装置のほとんどは単軸負荷仕様である。



- (A) 丸棒軸負荷 (単軸)
(B) 中空円筒試験片を用いた引張・ねじり負荷 (研究室のシーズ)
(C) 中空円筒試験片を用いた引張+内外圧負荷 (共同研究でのシーズ)
(D) 十字型試験片を用いた二軸負荷 (研究室のシーズ)

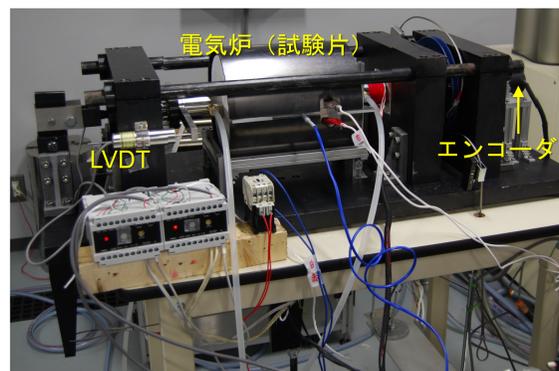
多軸応力試験の手法 (例)

③ 成果 (シーズ)

■ 引張-ねじり型装置を用いた多軸クリープ寿命評価

【③-1】 設計開発した試験装置

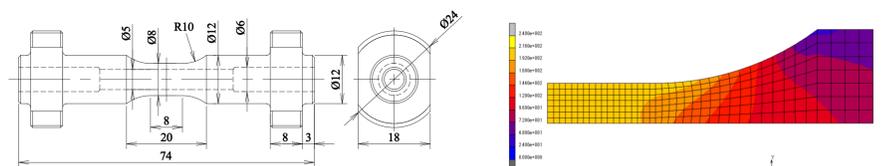
軸荷重とねじりトルクを重畳負荷できる高温多軸クリープ装置を設計開発した。主応力比 λ $-1.0 \leq \lambda \leq 0.0$ のクリープ破断寿命および特性検証を可能とした。



※主応力比とは...
多軸応力度合いを表すパラメータ

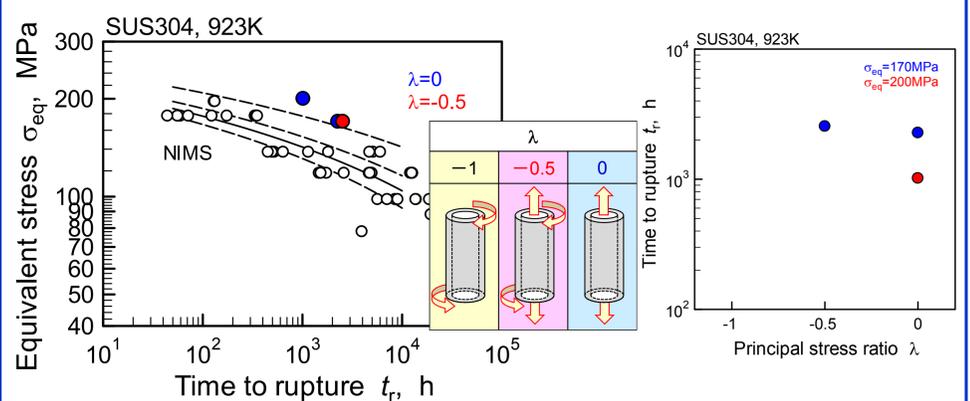
仕様
最高温度 : 700°C
軸荷重 : 6kN
ねじりトルク : 12Nm

引張・ねじり型多軸クリープ試験装置の外観



引張・ねじり型多軸クリープ試験片とその設計解析例

【③-2】 途中成果 (クリープ寿命)



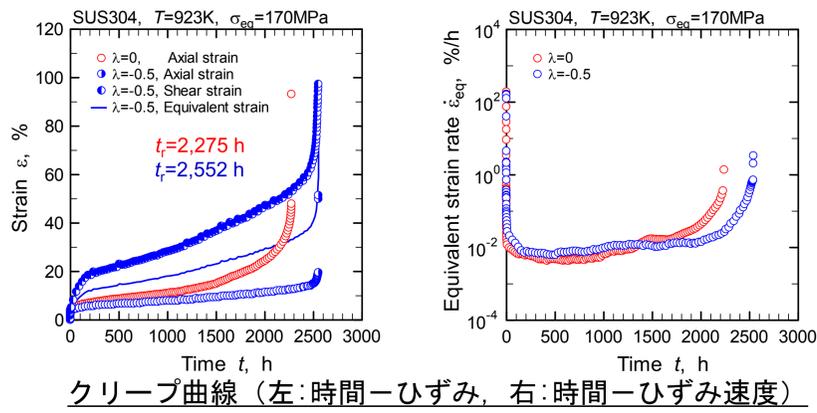
クリープ破断寿命 (応力-破断時間)

これまでにオーステナイト系ステンレス鋼を対象として, 試験温度923K (650°C), 相当応力 $\sigma_{eq} = 170\text{MPa}$ の $\lambda=0$ および $\lambda=-0.5$ のクリープ破断試験を完了した。

破断寿命は, $\lambda=0$ で2275時間, $\lambda=-0.5$ で2552時間であり, 単軸 $\lambda=0$ に比べて多軸 $\lambda=-0.5$ がやや長寿命となる傾向があるものの, 顕著な寿命差はみられない。引き続き $\lambda=-1.0$ での多軸クリープ試験や他の応力レベル, 温度環境での検証も行い, クリープ破断寿命に及ぼす応力多軸度等の影響を定量的に検証する。

③ 成果（つづき）

【③-3】クリープ特性



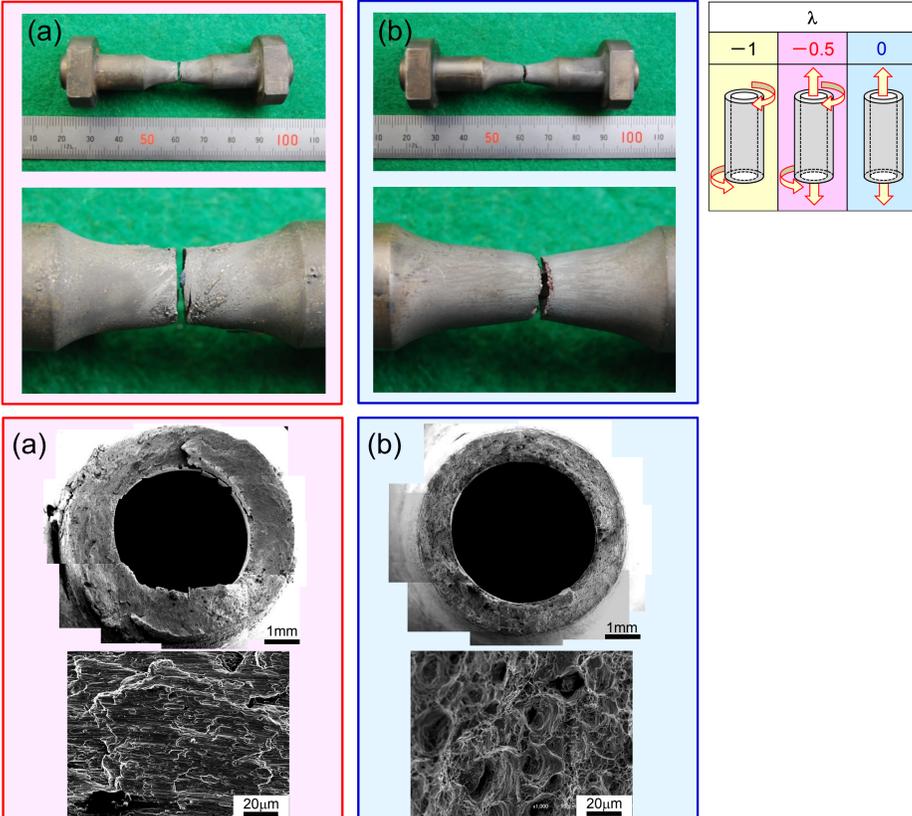
クリープ曲線（左：時間-ひずみ，右：時間-ひずみ速度）

左図中の○は $\lambda=0$ での軸ひずみを示している。 $\lambda=-0.5$ については、軸ひずみおよびせん断ひずみの結果に併せて算出した相当ひずみもプロットした。いずれの試験においても、試験初期から破断までの試験片の軸方向変位とねじれ角を計測できている。

$\lambda=-0.5$ の破断直前のねじれ角は約2.6 radであり、そのせん断ひずみは100%を示す。

$\lambda=-0.5, t_f=2,552 \text{ h}$

$\lambda=0, t_f=2,275 \text{ h}$



破断後の試験片（上：全体と標点部，下：破断面の電子顕微鏡観察）

（上）(a) $\lambda=-0.5$ では、標点部が一方向にねじられた痕が巨視的にも観察される。(b) $\lambda=0$ では、標点部の軸方向への延性的な変形がみられる。

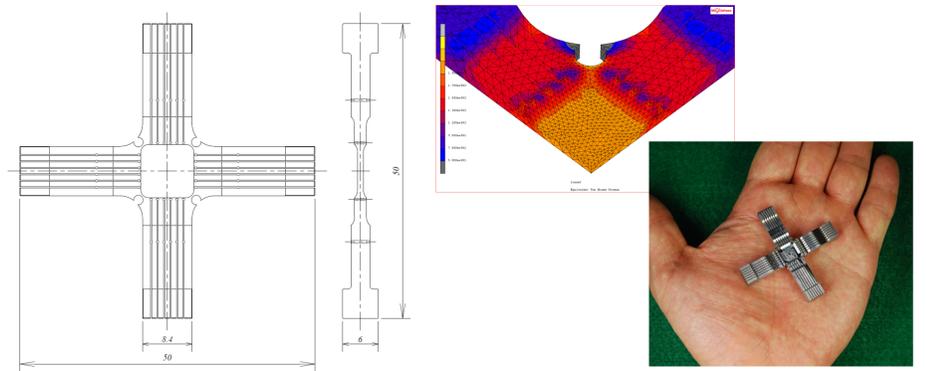
（下）(a)の $\lambda=-0.5$ では、断面積の著しい減少はみられない。(b) $\lambda=0$ では、試験片標点部の軸方向の伸びによって断面積が減少した様子が観察される。延性変形によるディンプルが多数観察される。

【知的財産権】

・特許第5804469号
「多軸負荷試験装置及び方法」

③ 成果（別シリーズ）

■ 十字型試験片を用いた多軸クリープ寿命評価 設計開発のコンセプト



十字型多軸クリープ試験片の設計解析例と加工トライ結果

十字型形状試験片を用いたミニチュア二軸引張型多軸クリープ試験手法およびその試験装置を開発中である。

主応力比 $0.0 \leq \lambda \leq +1.0$ のクリープ破断寿命や特性検証を可能とする。さらに試験片サイズが小型であることから、実機の任意局所位置から採取した微小素材を用いた強度特性評価も可能とする。材料損傷の定量評価や余寿命評価法の高精度化に寄与できる。

④ 研究室の特色

構造材料の寿命評価式の高精度化のためには、**実機環境をより正確に模擬した実験**を行い、寿命データの取得とともに、材料の変形挙動やき裂の発生・進展過程を詳細に解析することが必要である。

当研究室では、**産業ニーズに応える学術研究**を目指して実験力学研究に取り組んでいる。とくに市販されていない試験装置を用いる必要もあることからニーズに応じたユニークな試験装置開発のシーズも有している。



実験室の様子



学協会主催の技術研修会への学生参加



福井大学 学術研究院
工学系部門工学領域 機械工学講座
准教授

旭吉 雅健 ひよしのりたけ
✉ hiyoshin@u-fukui.ac.jp



【連絡先】

福井大学 産学官連携本部

知的財産・技術移転部 中山 淑恵
TEL: 0776-27-9725 FAX: 0776-27-9727
E-mail: titeki@ad.u-fukui.ac.jp