

立命館大学 大学院 ○高田登志之
立命館大学 理工 大南 正瑛

立命館大学 理工 坂根 政男
(株)神戸工業試験場 鶴井 孝文

1. 緒言

高温で多軸応力が負荷される強度部材の設計の際には、ミーゼス型の相当応力や最大主応力が使用されることが多い。しかし最近の研究結果では、多軸応力下でのクリープ破断寿命評価にミーゼス型の相当応力を使用する点について疑問が出されている¹⁾。

本研究では高精度の高温多軸クリープ疲労評価法確立のための基礎研究として、広範囲な主応力比のもとで実験が可能な十字型試験片用高温多軸クリープ試験装置を開発し、性能確認試験を行った結果について述べる。併せて、1～2の予備的試験についても述べる。

2. 試験装置

今回、試作した十字型試験片を用いるクリープ試験装置はオーステナイト系およびフェライト系の耐熱鋼の試験が可能なように、最高使用温度923K、最大荷重容量98kNのものである。

試験装置の概観写真をFig.1に、その機構をFig.2に示す。試験装置は設置場所をできる限りコンパクトにするため、10:1のレバー(③,④)を2つ組み合わせたものを垂直方向に組み付け、支点と力点にはベアリング(⑦)を用いた。また、試験片(⑧)を水平に取り付けるため、プルロッド部の自重により試験片に負荷される曲げ応力を逃

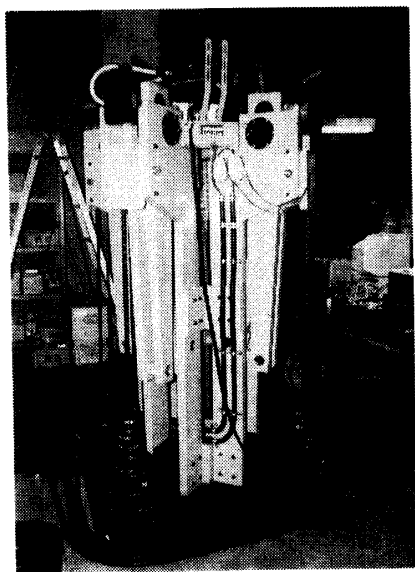
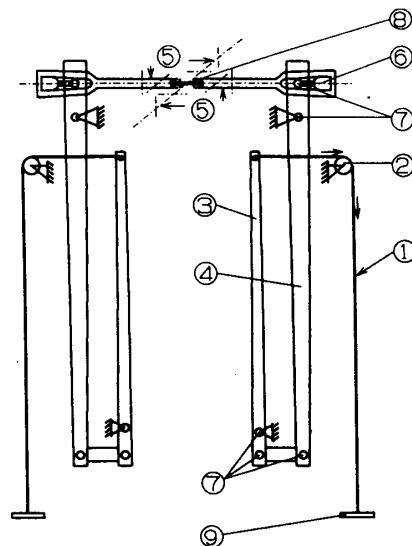


Fig.1 General view of the test apparatus.



①Chain ②Pulley ③Lever(S) ④Lever(L) ⑤Universal joints ⑥Jack ⑦Bearing ⑧Specimen ⑨Plate

Fig.2 Structure of the test apparatus.

がすように垂直・水平方向にユニバーサルジョイント(⑤)を組み込んだ。さらに、重錘皿の位置調節およびレバーの傾きの調節用として、プルロッド部に油圧ジャッキ(⑥)を組み込んだ。

3. 試験片

十字型クリープ試験片の場合、荷重負荷方向をX、Y方向とするとX、Y方向の変形をお互い拘束しないように、標点部からグリップ部までの間にスリットを設ける必要がある。そこで、標点部で均一な二軸応力状態を実現し、標点部以外から破壊しないように、汎用有限要素法解析プログラムMARC(K5)を用いて定常クリープ解析を様々な試験片形状について行い、試験片形状決定を行った。解析に用いた材料定数は日本鉄鋼協会SUS304スペシメンバンク材の873Kにおける値²⁾、すなわち、ヤング率 $E=149.94\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、定常クリープ速度 $\dot{\epsilon}=2.036 \times 10^{-14} \sigma^{4.674} (\dot{\epsilon}:\%/hr, \sigma:\text{MPa})$ である。

Fig.3に等二軸引張クリープ(各方向荷重19.4kN)の場合の標点部中央($X=0\text{mm}, Y=0\text{mm}, Z=2.5\text{mm}$)の節点でのX、Y方向の垂直応力の時間的変化を示す。十字型試験片の場合、荷重負荷時から短時間内に応力の再配分が生じ、X及びY方向の垂直応力共に低下するが、その後は断面積の減少に伴って増加することがわかる。本研究では公

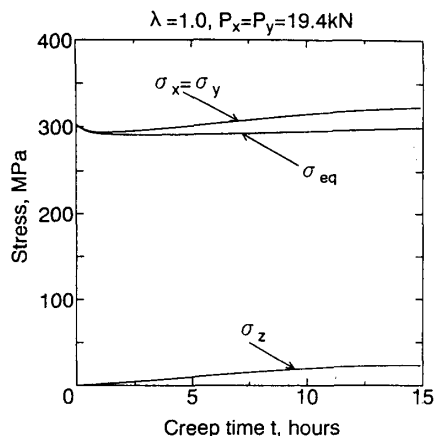


Fig.3 Variation of stress at the center of specimen.

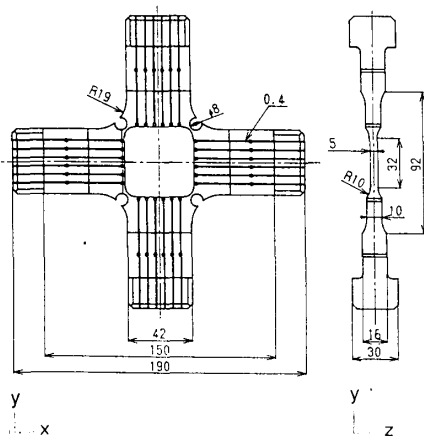


Fig.4 Specimen shape determined FEM analysis(mm).

称応力 σ_n をこの点での応力の最小値とした。

FEM解析により最終的に決定された試験片の形状・寸法をFig.4に示す。試験片平行部は32mm四方があるが、X、Y方向の変位計を取り付ける標点間距離は16mmとした。

4. 実験方法

予備的試験の供試材はSUS304ステンレス鋼であり、化学成分をTable 1に示す。なお、本供試材は1373Kで1hrの溶体化処理材である。試験片形状・寸法はFig.4に示したものをを用いた。また、加工ひずみ除去のため、試験片加工の最終段階で898Kで2.5hr保持の熱処理を行った。試験は923K大気中で、ミーゼス型の相当応力が196MPa一定の下で、① $\sigma_x=196\text{MPa}$, $\sigma_y=196\text{MPa}$, 主応力比 $\lambda=\sigma_y/\sigma_x=1$, ② $\sigma_x=226.4\text{MPa}$, $\sigma_y=113\text{MPa}$, 主応力比 $\lambda=\sigma_y/\sigma_x=0.5$ の2種類の試験を行った。

5. 実験結果および考察

Fig.5に破断時間と主応力比の関係を示す。ミーゼス型相当応力一定のクリープ試験では、破断時間が主応力比

Table.1 Chemical composition of the material tested.

wt%						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0.05	0.52	1.31	0.28	0.02	18.31	8.44

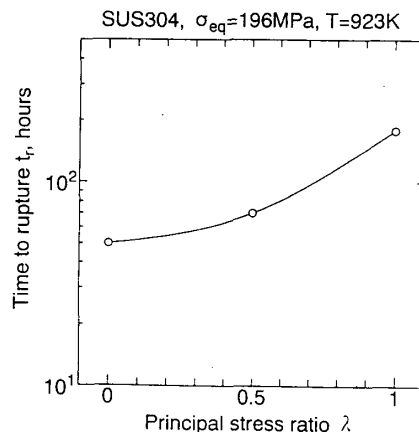


Fig.5 Relationship between time to rupture and principal stress ratio.

の増加に伴い長くなっていることが図からわかる。すなわち、ミーゼス型相当応力では多軸応力下におけるクリープ破断時間を良好に整理できないことを示している。なお、図中の $\lambda=0$ の値は、日本鉄鋼協会SUS304ステンレス鋼板材の単軸応力下、923Kでのクリープ破断試験結果⁴⁾である。今後、さらに実験結果を積み重ねて行く予定である。

6. 結言

(1) 十字型試験片用クリープ破断試験装置を試作した。試作した装置では、荷重容量98kN、最高温度923K、主応力比が0~1の範囲の試験が可能である。同試験装置の性能確認試験の結果、荷重誤差 $\pm 3\%$ 以内、温度変動 $\pm 4^\circ\text{C}$ 以内、変位計の計測誤差 $\pm 0.5\%$ (G.L.)以内での試験が可能であることが判明した。

(2) ミーゼス型相当応力一定の試験では、主応力比の増加に伴い破断時間が大きくなることが明らかになった。したがって、同相当応力では多軸応力下での破断時間を良好に整理できないことが判明した。

参考文献

- 1) 浜田直巳, 材料, 41, 471(1992).
- 2) 日本鉄鋼協会 高温研究委員会, 切欠き効果試験分科会, "クリープ疲労相互作用下におけるSUS304ステンレス鋼の高温低サイクル疲労寿命に及ぼす切欠き効果に関する研究"(1988)
- 3) 日本鉄鋼協会 クリープ委員会, "金属材料高温強度データ集 第2編ステンレス鋼 編"(1975)