

C-01 クリープ破壊

1. クリープの概要

高温において、金属材料は一定荷重（応力）の下で時間とともに変形が進行し（クリープ変形）、最終的に破壊にいたる（クリープ破壊）。図1の模式的クリープ曲線（クリープひずみと時間の関係）に示すように、変形の進行（定常クリープ域では一定速度で進行）——空隙（キャビティーあるいはボイド）の発生（通常、定常クリープ域で発生）——クラックへの成長、進展（加速クリープ域）——破断の経路を辿る。この曲線の形状は、応力、温度および材料によって異なるが、同一材料の同一応力、温度条件でもかなりばらつくのが普通である。

クリープ破壊過程は、図1の模式図のように粒界における空孔の核生成、成長、合体、及び最終破断の一連の過程によって起こり、主として粒界破壊である。

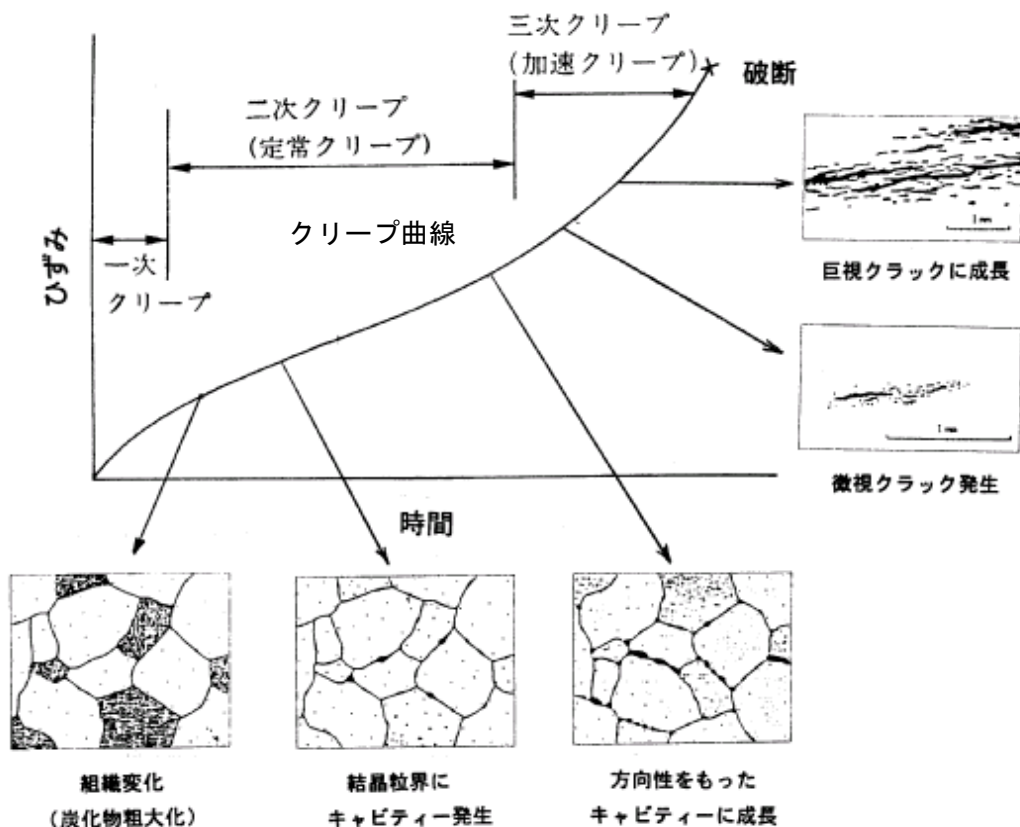


図1 クリープ曲線および破壊過程の模式図

2. クリープ発生条件

クリープは全ての金属材料で起こる。発生の温度条件は、絶対温度での材料の融点の約1/2以上とされている。

3. クリープ特性の表現方法

クリープ試験は、試験片を一定温度に加熱保持し、一定の荷重を掛け、伸びと破断時間を

計測する方法で行われる。材料のクリープ特性は、一定温度、応力における伸び速度、一定時間後の伸び量、破断までの時間で表示される。一般的には、応力－破断時間曲線または応力－時間温度パラメータ曲線で表現されることが多い。

3. 1 応力－破断時間曲線

図2に応力－破断時間曲線の例を示す。

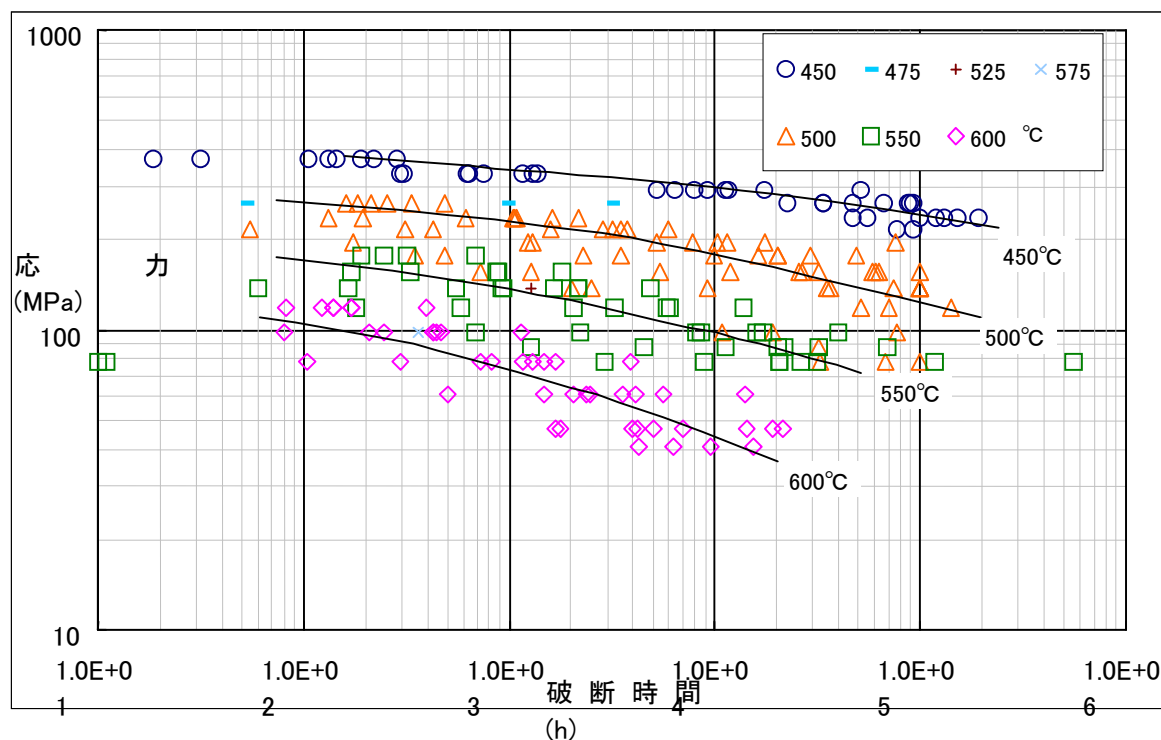


図2 応力－破断時間曲線（例：12Cr ステンレス鋼）
NIMS クリープデータシート No. 13B（1994）より

3. 2 応力－時間温度パラメータ曲線

ボイラ、加熱炉、タービンなどの高温設備・機器は高温で長時間運転されるので、長時間クリープ破断強さを基準に設計される。例えば10万時間破断強さが使われることが多いが、10万時間は12年に相当し、実際に試験をするには長すぎる。そこで、長時間強度の推定方法が不可欠である。長時間強度の推定方法としては、時間温度パラメータ法が使われる。パラメータとしては、下式に示すラーソン・ミラーパラメータが最もよく使用される。

$$P = T(C + \log tr)$$

ここで、P：ラーソン・ミラーパラメータ、T：温度(K)、C：材料定数、tr：破断時間(hr)

4. 余寿命予測

高温で使用される設備・機器においてクリープは不可避であり、疲労、応力腐食割れなどの他の時間依存型破壊と異なり、設計（材料選定を含めて）で回避することはできない。従って、余寿命評価を行って、寿命を管理しながら、使用しなければならない。余寿命評価方法には、使用履歴（温度、応力、時間）から線形損傷則などを用いて算出する方法、試験材をサンプリングしてクリープ試験、組織（ボイド、割れなどを含む）観察あるいは超音波などの非破壊試験を用いる方法が開発されている。使用材料、使用条件によって適切な方法を選択して用いることが必要である。