



# プラスチックのクリープ

## 目次

1. 粘弾性とクリープ	1
2. クリープ試験	1
3. クリープ特性と寿命評価	3

クリープやプラスチックに関連するねじ締結技術ナビ技術資料、コンテンツもあわせてご覧ください。

- [金属のクリープ](#)
- [クリープ破壊](#)
- [プラスチック材料とは？（基本編）](#)
- [プラスチックおよびセラミックスの疲労](#)



ハードロック工業株式会社

# 1. 粘弾性とクリープ

一般的に材料が一定温度、一定応力条件下で時間の経過とともに変形が進行する現象をクリープといいます。プラスチック材料では一定の温度で荷重をかけて応力を加え続けると、ひずみが時間の経過とともに増加し続け、最終的に破壊に至ります。この現象がクリープですが、プラスチックの場合は金属材料に比べて耐熱性・融点がかなり低いため、クリープは室温でも顕著に発生します。プラスチック部品の製造では使用条件として応力がかかる場合がありますが、耐クリープ性に優れることも重要なポイントの一つになります。プラスチック材料の中で分類的には熱硬化性樹脂の方が熱可塑性樹脂よりも耐クリープ性が一般的に良好といわれています。熱可塑性樹脂の中ではスーパーエンジニアリングプラスチックである PEEK (ポリエーテルエーテルケトン樹脂) や PPS (ポリフェニレンサルファイド樹脂) などが耐クリープ性に優れています。

プラスチックは力学的性質として粘弾性を示すことが大きな特徴であります。粘弾性とは弾性的な性質と粘性的な性質を併せ持った性質であることを指します。弾性は外力によって生じた変形が外力を除去すれば元に戻る性質のことで、粘性は一般的には流体のねばさを表す性質のことで、せん断方向の力に対する抵抗力で表されます。プラスチックのような固体材料でも粘性の性質を併せ持つことから、粘弾性という表現で力学的性質が表されています。

図 1 はプラスチックの粘弾性特性の概要を示した図です。プラスチックは構成成分としてポリマーとよばれる長鎖巨大分子集合体から成り立ちますが、外力によって応力が負荷されると、その瞬間時には可逆変形可能な弾性によるひずみが発生します。次に、時間経過とともにポリマー分子間のずれが生じて不可逆変形の粘性によるひずみが発生するようになります。この粘性によるひずみ分は時間の経過とともに増加していきます。プラスチック材料が有するこの粘弾性特性が応力緩和、そしてクリープという現象の起因になっています。ここで、応力緩和とは一定の応力を加えた状態で時間の経過とともに初期応力が緩和する現象のことをいいます。

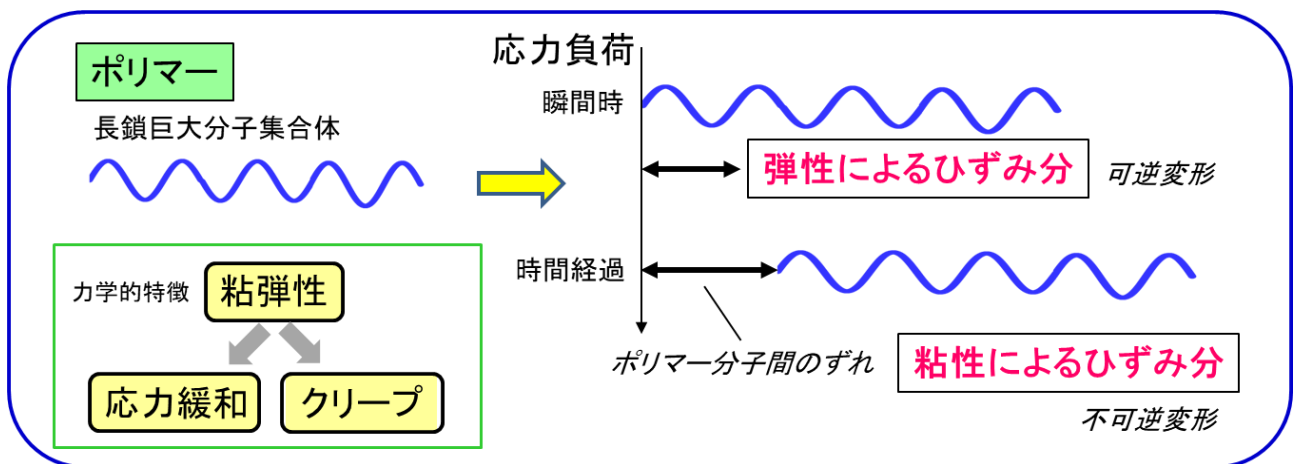


図 1 プラスチックの粘弾性特性の概要

## 2. クリープ試験

クリープ試験では、一定温度に保った試験片に一定の応力を加えて時間経過によるひずみの大きさの変化を測定します。また、実用的には、ある応力の大きさを長期間負荷させて最終的に破壊させるク

クリープ破壊試験などが行われます。クリープ試験は通常、クリープ試験機で行われます。クリープ試験機の模式図を図 2 に示します。プラスチック材料のクリープ試験には主要なものとして引張応力を加える引張クリープ、3点曲げ応力を加える曲げクリープ、圧縮力を加える圧縮クリープがあります。

図 2 に示されるクリープ試験機では荷重をレバーを介して試験片に加えます。引張クリープについては JIS K 7115（プラスチッククリープ特性の試験方法—第 1 部：引張クリープ）に、また曲げクリープについては JIS K 7116（プラスチッククリープ特性の試験方法—第 2 部：3 点負荷による曲げクリープ）に規定されています。JIS では主に、試験方法、試験片、測定データのまとめ方（結果の表し方）について規定されています。引張クリープでは試験片をチャックで挟んで引張応力を加えますが、曲げクリープと圧縮クリープでは治具を用いて試験機からの引張力を試験片に 3 点曲げ応力あるいは圧縮応力として負荷させるようにします。試験機メーカーから単軸の引張クリープ試験機が市販されていますが、治具を交換することで 1 台の試験機で引張、3 点曲げ、圧縮の各クリープ試験が行えます。

クリープ試験は加熱炉中で試験片温度を一定に保持して行われ、クリープ試験結果は主に、各種試験温度に対してクリープひずみと経過時間の関係、あるいは負荷応力とクリープ破壊時間の関係でまとめられます。プラスチックのクリープ試験ではバラツキが生じやすく、精度を上げるためには測定数を多くすること、また出来るだけ長期間のデータ取得が望まれます。なお、試験環境として温度だけでなく湿度の影響も出やすいので、JIS では湿度の管理と報告も必要とされています。

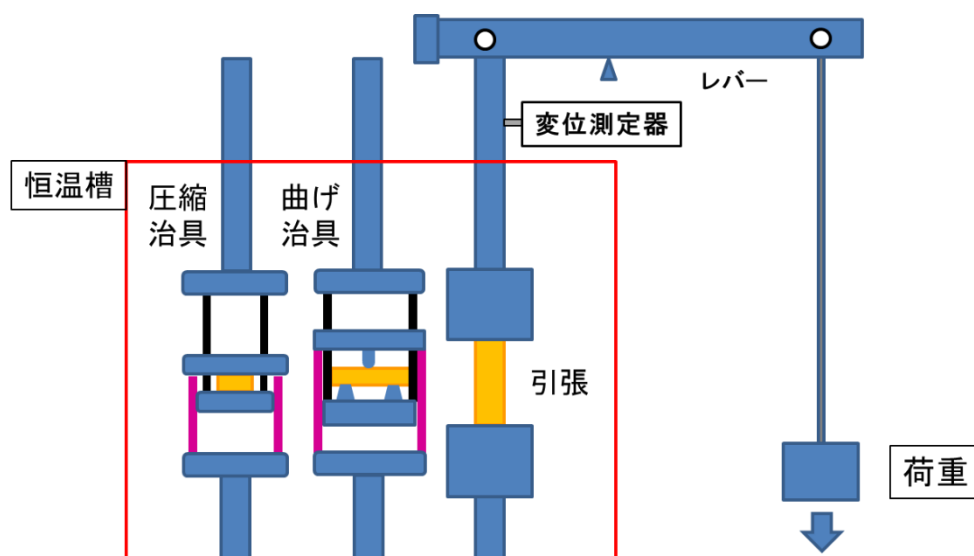


図 2 クリープ試験機の模式図

プラスチックについてのクリープ曲線、すなわちクリープひずみと時間の関係を表した概念図を図 3 に示します。試験片に応力がかかりますと瞬間的に弾性ひずみが発生しますが、時間が経過するとせん断降伏ひずみが発生してこれらの両者による全ひずみが増加します。経過時間において短時間側ではクリープひずみの増加は大きいですが、次第に横軸に平行線として示したクリープ限度ひずみに近づきます。当然ですが、負荷応力が増加するほど、あるいは温度が高くなるほどクリープひずみは大きくなり、図中で表されたクリープ曲線は上方向に移動することになります。

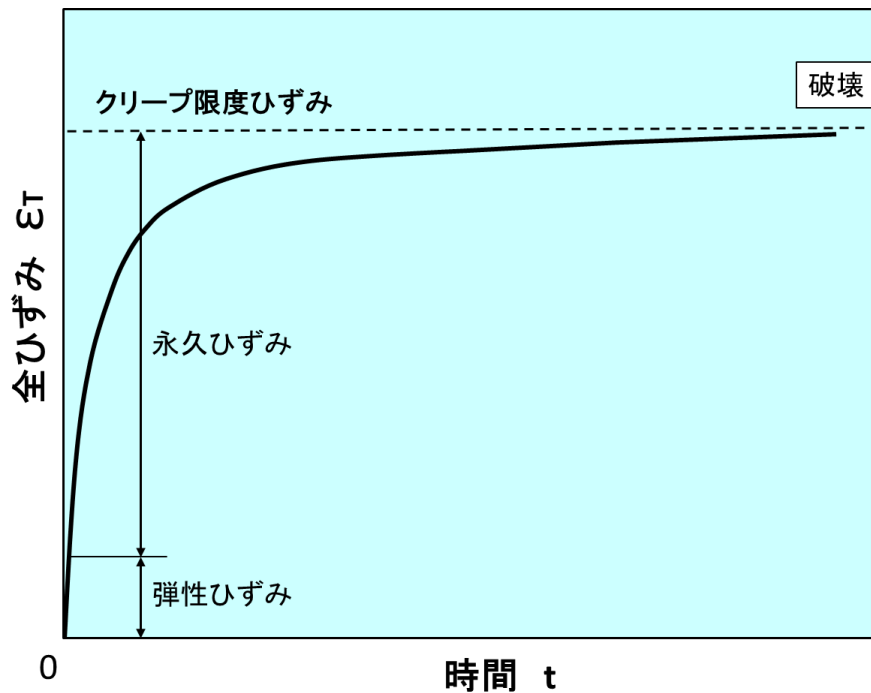


図3 プラスチックのクリープ曲線

### 3. クリープ特性と寿命評価

材料のクリープ特性は実用面で、一定温度における等温クリープ破壊曲線（等温クリープ破壊線図ともいう）で表されて寿命評価・予測に利用されます。等温クリープ破壊曲線とは縦軸が負荷応力、横軸がクリープ破壊時間（対数）で表した図で、クリープ試験によって測定されます。図4にプラスチックの等温クリープ破壊曲線のイメージ図を示します。同図では応力が大きいほど、また温度が高くなるほどクリープ破断時間は短くなります。この結果を元に温度と応力をそれぞれ X 軸、Y 軸として破壊時間をパラメータとした線図も作成できます。

等温クリープ破壊曲線（横軸は対数表示）では一般的に負の勾配の直線になりますが、クリープ破壊の過程で延性破壊から脆性破壊に変化する場合には必ずしも直線性を示す訳ではありません。この場合、クリープ破壊曲線は試験時間の途中で大きく曲がって変曲点をもった形になり、変曲点より左側では延性破壊であるのに対し、変曲点より右側では脆性破壊していることとなります。

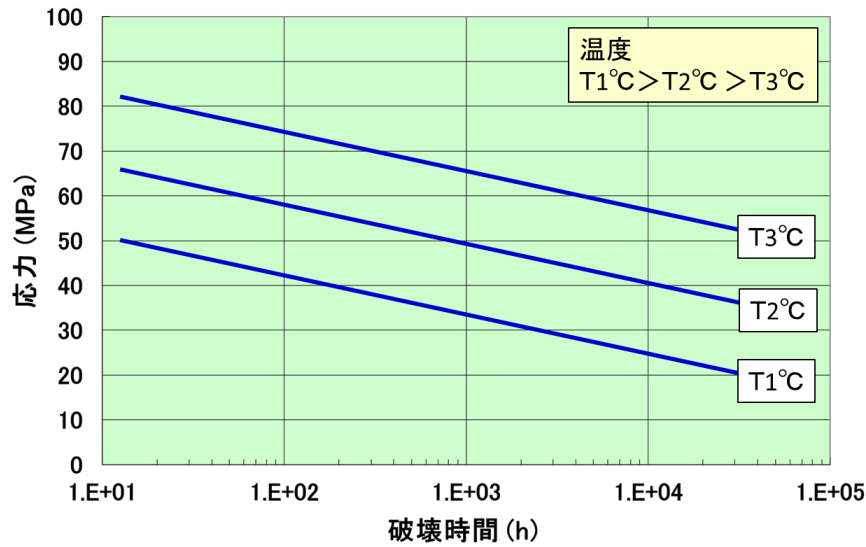


図4 プラスチックの等温クリープ破壊曲線のイメージ図

プラスチック材料の室温におけるクリープ破壊曲線の一例を図5に示します。ナイロン材では強化材を充填した強化ナイロンでおよそ100 MPaクラスのクリープ強度を有する材料もあります。PP（ポリプロピレン）やPE（ポリエチレン）材はクリープ強度が低く、10–20 MPa程度です。特に強化処理していない一般的なプラスチック材の引張強さはナイロンが80 MPa、PC（ポリカーボネート）が65 MPa、PPが35 MPa、PEが30 MPa程度です。強化ナイロンの引張強さは120–160 MPa程度が多いようです。図5に示された材料のクリープ強度の大小関係は引張強さの大小関係と相関することがわかります。先に述べたPEEKは強化グレードで引張強さが200 MPa以上と高強度で、耐クリープ性にも非常に優れたプラスチック材料です。

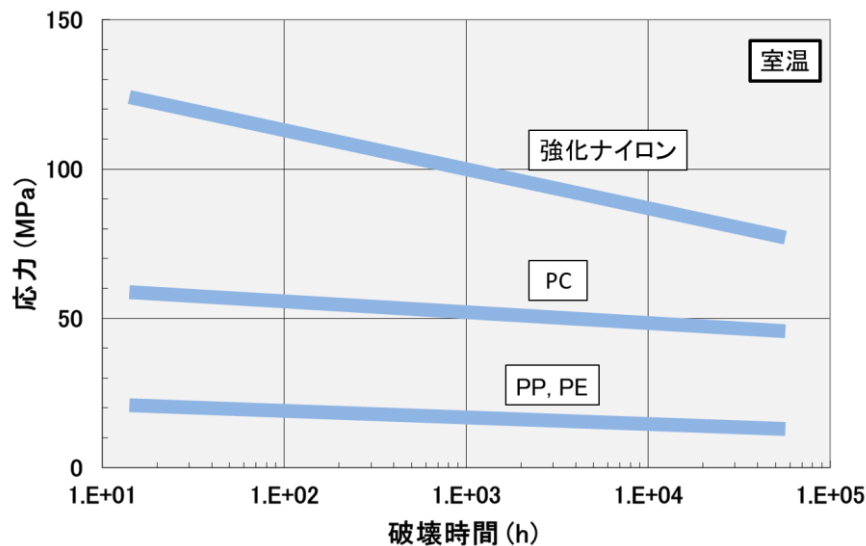


図5 プラスチックのクリープ破壊曲線の一例（室温）

次に、クリープ破壊に関してクリープ寿命の評価・推定法について説明したいと思います。

負荷応力 $\sigma$ とクリープ破壊時間 $t$  (対数) との間には一般的に次式が成立することが知られています。

$$\log t = a - b\sigma \quad (a, b : \text{温度に依存する定数})$$

クリープ破壊試験は長時間を要することから負荷応力を高くして比較的短時間でクリープ破壊させることがあります。上式の関係を使えば、高応力における短時間クリープ破壊時間から低応力側の長時間クリープ破壊時間を外挿によって推定することが可能になります。

図 6 はクリープ破壊における寿命評価と推定について概念的に示した説明図であります。図 6 は、あるプラスチック材料について室温で負荷応力とクリープ破壊時間の関係をクリープ試験で求めて、実測部を実線で、直線外挿部を点線で表した図です。この場合、実測は最長で数千時間程度に抑えることができます。

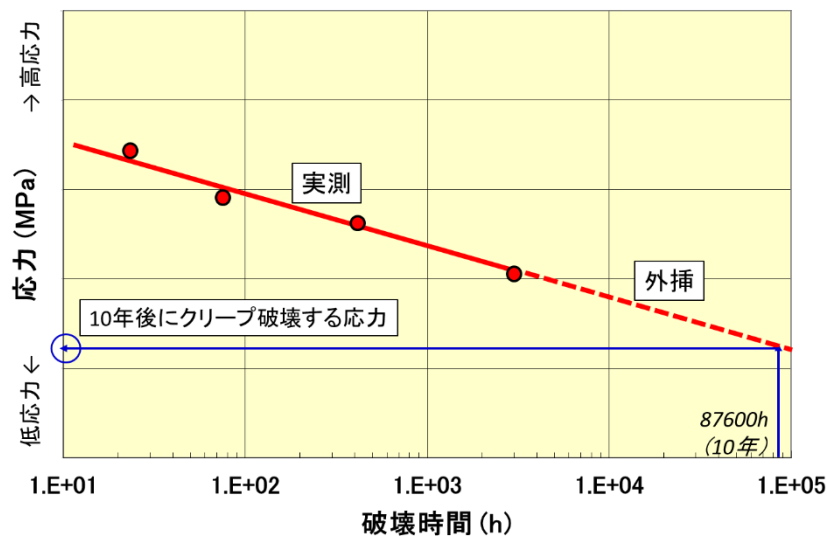


図 6 クリープ破壊の寿命評価と推定

図 6 において例えば 10 年後にクリープ破壊する応力を求めたい場合、横軸の破壊時間において 10 年すなわち 87,600 h の座標における外挿線上の交点を求め、その交点に対する縦軸の応力の値を求めることによって、10 年後にクリープ破壊する応力を知ることができます。

一方、クリープ破壊の寿命評価において、 $T$  : 絶対温度、 $t$  : クリープ破壊時間として横軸に  $T(\log t + C)$  を取り、縦軸に負荷応力を取ると 1 本の直線に乗ることが理論的に知られています。 $C$  は材料で異なる材料定数で予め実験で決定します。この関係式に基づいてクリープ破壊寿命を推定する方法を Larson-Miller (ラーソン・ミラー) 法といい、プラスチック材料においてもこの手法を使ってクリープ破壊寿命推定も行われています。