

樹脂開発効率化に向けた クリープ破断時間予測の短時間化

■ 松田 隆真

Ryuma Matsuda

■ 森 佑介

Yusuke Mori

■ 滝澤 明広

Akihiro Takizawa

東光高岳では、さまざまな電力用モールド機器を製造しており、例えば、一般的な屋内用モールド機器だけでなく、屋外用や耐クラック性を向上させたモールド機器などがある。また、モールド機器に要求される特性に合わせた樹脂や環境への配慮など社会的なニーズに合わせた樹脂の開発も行っている。樹脂開発においては、電気絶縁性能や機械的強度などさまざまな特性を取得する必要がある。その中の一つであるクリープ破断時間の予測には、一般的に長い時間を要する。そこで、樹脂開発を効率的に行うために、クリープ破断時間の短時間予測に取り組んだ。その結果、一般的な予測方法の1/10～1/20程度の期間で予測可能となった。本稿では、この取り組みの概要と効果について紹介する。

1 はじめに

エポキシ樹脂は電気絶縁性や機械的強度が優れており、電力用モールド機器の絶縁材料として広く用いられている。東光高岳においても、モールド変成器をはじめ、さまざまな機器に使用しており、機器に要求される特性に合わせた樹脂や環境配慮などの社会的なニーズに合わせた樹脂の開発も行っている。例えば、モールド機器を小型化するために、樹脂厚を薄くできる耐クラック性を向上させた樹脂の開発⁽¹⁾や、環境配慮の観点から材料そのものが環境負荷低減に貢献するバイオマス樹脂の開発⁽²⁾などを行っている。

樹脂開発過程では電気絶縁性や機械的強度などさまざまな特性を評価する。特性の評価においては、数十年使用されることもある電力用モールド機器に適用するため、長期的な機械的強度を示すクリープ特性が重要な評価項目の一つとなる。クリープ特性の取得には長い時間を要するため、樹脂開発が長期化する要因の一つである。

今後の樹脂開発の効率化に向けてクリープ特性の短時間予測に取り組んだ。本稿ではこの取り組みの概要とその効果について紹介する。

2 一般的なクリープ破断時間予測

クリープ特性には、一定の力がかかることでひずみが徐々に増大する現象（クリープ現象）の過程を示すクリープ変形や、ひずみが増大して破断に至るまでの時間を示すクリープ破断時間などがある。モールド機器に使用している樹脂は長時間破断しないことが求められるため、クリープ破断時間が重要となるが、直接取得する場合、非常に長い時間を要する。そこで、クリープ破断時間の取得に要する試験時間を短縮するため、一般的に、時間温度換算則によるクリープ破断時間予測が行われている。

時間温度換算則とは、ある温度で得られた特性を時間軸に平行移動することで、任意の温度の特性に換算でき

るものである。換算できる特性はさまざまあるが、ここではクリープ破断時間に時間温度換算則を用いたイメージを図1に示す。複数の応力条件や温度条件で測定したクリープ破断時間を時間軸方向に平行移動させ、1本の線を作ることで任意の温度におけるクリープ破断時間を得ることができる。図中 T_3 のように、高い温度の測定結果を換算することで長時間側の結果が得られ、長時間のクリープ破断時間を短時間で予測することができる。このように、実際のクリープ破断時間に比べて短時間で予測できるものの、モールド機器に使用している樹脂の場合、応力条件や温度条件次第では試験全体で6ヶ月～1年も要してしまうことが多い。ここで要する時間を短縮できれば、樹脂開発を効率的に進めることができる。

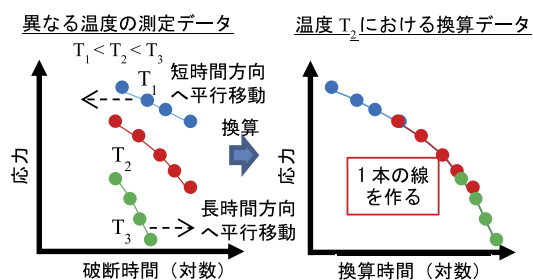


図1 時間温度換算則のイメージ

3 クリープ破断時間予測の短時間化

より短時間でクリープ破断時間を予測するために、樹脂の粘弾性からクリープ破断時間を予測する方法を採用した。本章では、その概要について説明する。

3.1 粘弾性とクリープ変形の関係

クリープ現象は、材料の粘弾性に起因して生じる。粘弾性は、弾性^{注1)}と粘性^{注2)}の二つを合わせた特性であり、弾性挙動を示すばねと粘性挙動を示すダッシュポットで構成された粘弾性モデルによって挙動が説明されている⁽³⁾。

図2にクリープ現象を表す粘弾性モデル（Voigtモデル）を示す。モデルの一端を固定し、もう一端に一定の

引張力をかける。このとき、単純なばねの場合は瞬時に伸びるが、**図2**に示すような粘弾性モデルではダッシュポットの影響により、時間経過で徐々に伸びが大きくなるクリープ現象を示す。そのため、クリープ現象によって生じたクリープ変形は、モデルを構成しているばねやダッシュポット自体の特性（粘弾性）から求めることができる。この粘弾性は動的粘弾性測定により取得できる。動的粘弾性測定は材料に繰り返し力を加え、そのときの応答を測定するものであり、短時間で実施できる。動的粘弾性測定においても、複数の温度条件にて粘弾性を取得することで時間温度換算則を用いることができ、任意の温度におけるクリープ変形を短時間で予測することができる。

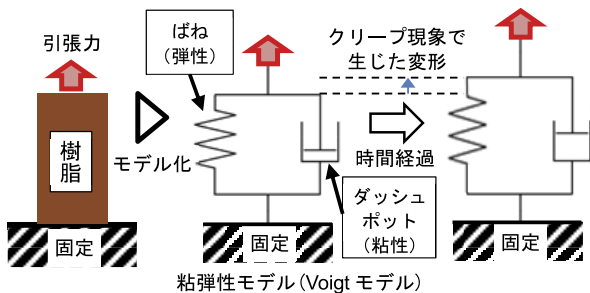


図2 粘弾性モデルによるクリープ現象のイメージ

3.2 クリープ変形とクリープ破断時間の関係

前節のクリープ変形をもとにクリープ破断時間を予測する。クリープ変形にともないひずみが増えると、材料内部には元の形状に戻ろうとするエネルギーが貯まる。ただし、貯められるエネルギーには限界がある。そのエネルギーが限界に達するまでの時間を求めることでクリープ破断時間を予測することができる。

この予測方法は幅広い樹脂に適用されており、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）のような樹脂を基材とした複合材料などにも適用が進んでいる⁽⁴⁾。しかし、電力用エポキシ樹脂に適用した例は見当たらない。そこで、本予測手法を電力用エポキシ樹脂に適用し、クリープ破断時間の予測精度と短時間化の検証を行った。

4 短時間予測の適用と効果

粘弾性を用いたクリープ破断時間の短時間予測の例として、耐クラック性を向上させた電力用エポキシ樹脂に適用したものを挙げる。**図3**にクリープ破断試験を行った実測結果と、粘弾性を用いてクリープ破断時間を予測した結果の比較を示す。実測と予測はよく合っており、実用上十分な予測精度が得られている。

次に、粘弾性を用いた短時間予測による効果を**表1**に示す。短時間化した予測方法を用いることで、一般的な予測方法に比べて1/10~1/20程度の期間でクリープ破断時間の予測が可能となった。

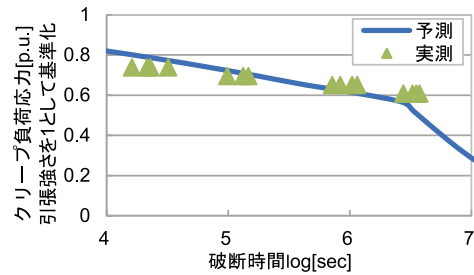


図3 クリープ破断試験（実測）と予測の比較

表1 短時間予測の効果

項目	一般的な時間温度換算則を用いた予測	粘弾性を用いた短時間予測
試験期間	6ヶ月~1年	2週間

5 おわりに

樹脂開発の効率化のために、電力用エポキシ樹脂を対象としてクリープ破断時間の短時間予測に取り組んだ。その結果、十分な精度で、一般的な予測方法の1/10~1/20程度の時間でクリープ破断時間を予測できるようになった。今後も、クリープ破断時間の短時間予測方法を活用し、樹脂開発の効率化に繋げていきたい。

■参考文献

- (1) 「新エポキシ樹脂を用いたコンパクト型モールド変成器」, 東光高岳技報, Vol.1, pp75 (2014)
- (2) 大竹美佳, 山下太郎:「エポキシモールド機器のライフサイクル全体にわたる環境配慮技術」, 東光高岳技報, Vol.7, pp19-20 (2020)
- (3) 只野雄一:「解析講座 粘弾性モデルの基礎 (前編)」, CAEのあるものづくり, VOL.21, pp20-24 (2014)
- (4) R.M.Guedes:「Time-dependent failure criteria for polymer matrix composites a review」, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29 (20), pp3041-3047 (2010)

■語句説明

注1) 弾性: 固体に代表される特性で、力を加えると、力に比例して変形し、力を除くと元の形状に戻る。

注2) 粘性: 液体に代表される特性で、力を加えると、力に比例した速度で変形するが、力を除いても元の形状に戻らない。

松田 隆真

技術開発本部
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属

森 佑介

技術開発本部
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属

滝澤 明広

技術開発本部
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属