

カテーテルのクリープ変形挙動に関する研究 (2段階のステップ荷重下のクリープ変形における曲げと振りの負荷履歴の影響について)

Study on Creep Deformation Behavior for Catheter

(Effect of loading history with respect to bending and torsion on the creep under two stage step loads)

○小林 大樹¹, 加藤 保之²

Daiki KOBAYASHI¹, Yasuyuki KATO²

Abstract: This paper describes the creep deformation behavior, which is obtained under combined loading for bending and torsion. Conducting the experiments for creep deformation under single stage step load with changing the ratio of bending and torsion, the effect of the braid to reduce the creep deformation have been investigated. Moreover, the experiments for creep deformation under two stage step loads are conducted in the present study. Then, the effects of loading history on the creep deformation are revealed with change the order of bending and torsion.

1. 緒言

ステンレスの細いワイヤー (ブレード) で補強されたナイロン樹脂製のカテーテルを研究対象とし, その力学的特性を解明することが本研究の目的である。

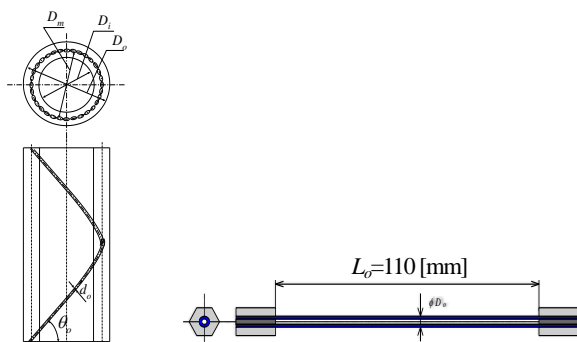
引張と振り, 曲げと振りなどの複合荷重状態に対して, これまでステップ歪下の応力緩和現象を研究してきた。一方で, ステップ応力下で得られるクリープ変形挙動に関しては, 単軸状態に対してのみ詳細な検討が行われてきたが, 引張, 振り, 曲げが同時に加わる複合荷重下でのクリープ変形挙動については, 詳細な実験が行われていなかった。そこで, 前報の研究では, これらの負荷の中でも曲げと振りを研究対象とし, それらを同時に加える1段の比例負荷のステップ荷重下で得られるクリープ変形挙動について研究を行ってきた。

本研究では, 更にステップ荷重を2段階で与え, 負荷履歴の影響を明らかにする。特に, ステップ荷重で与える曲げや振りの順序を変えることで異なる負荷経路の下でクリープ変形挙動を調査し, ブレードがクリープ変形に及ぼす影響を明らかにする。

2. カテーテルの形状ならびに実験装置

2-1 カテーテルの形状

本研究のカテーテルは, ナイロン樹脂製の母材 (外径 $D_o=1.37$ [mm], 内径 $D_i=1.07$ [mm]) に細いステンレスのワ



(a) Shape of catheter (b) Dimension of test piece
Fig.1 Shape of catheter and dimension of test piece

イヤー (ブレード径 $d_b=0.0508$ [mm]) を織り込んだ構造である (図1(a)参照)。このブレードは左右16本, 合計32本で構成されている。なお, ブレードの織り込み角 θ_b は 45 [deg.]であり, 試験片の標点間距離 L_0 は 110 [mm]である。

2-2 実験装置

実験では, 曲げと振りを同時に加える必要があるため, 曲げ試験機 (島津オートグラフ AGS-J) に振り試験機を横向きに組み合わせることで曲げと振りを同時に加えることができる機構となっている。

3. 実験方法

本実験では, 図2に示すように, 1段目と2段目で与える主曲率が同一値となる様に設定して曲げと振りの負荷を与える。1段目のステップでは, 一定速度で 4 [sec]間, 曲げモーメントまたはトルクを与え, それらの負荷を 120 [sec]間保持し, 2段目も同様の条件で実験を行い, その後, 無負荷状態に戻す一連の過程で, 横方向変位 (撓み) と捩れ角の測定を行い, クリープ変形挙動を調べる。なお, この実験の負荷の組み合わせは, 以下の4通りである。

(1) 曲げ→曲げ, (2) 曲げ→振り, (3) 振り→曲げ, (4) 振り→振り。

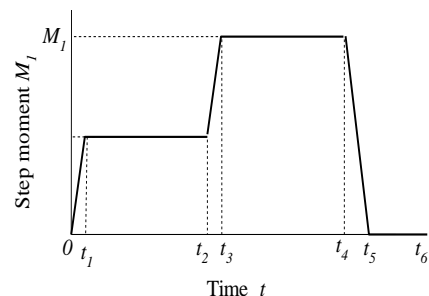


Fig.2 Two stage step moment

4. 実験結果

2段階のステップ荷重下のクリープ実験の結果を図3に示す。この図から, 前述した4つの負荷経路の中で, 経路 (1) の単

軸状態の曲げの結果は、経路 (4) の単純剪断 (振り) の結果と比べて、2段階ともクリープ現象が大きく表れていることが確認できる。これはブレードの織り込み角が45 [deg]であり、ブレードが母材の粘性を抑制する効果が剪断 (振り) で最も大きく表れるためである。

次に、負荷履歴の異なる経路の中で1段目が振りの場合の経路 (3) について考察すると、この経路の2段目では、曲げが加わり複合状態となるため、2段目が剪断 (振り) である経路 (4) と比べて、クリープ現象が増大すると考えられる。一方で、1段目が曲げの場合の経路 (2) について考察すると、この経路の2段目は、剪断が加わり複合状態となるため、2段目が曲げの経路 (1) と比べて、クリープ変形が減少していることが確認できる。したがって、負荷履歴に依存して、クリープ変形の大きさが変化することがこれらの実験の結果より確認できる。

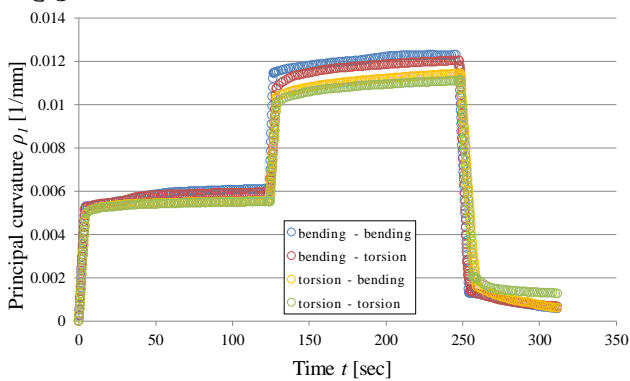


Fig.3 Creep deformation under two stage steps

5. 2段階のステップ荷重下のクリープ変形の数値解析

前節のクリープ変形の実験結果を表すための数値解析モデルについて説明する。本研究では、クリープ変形挙動に対する力学モデルを弾性バネ要素とダッシュポットからなる Voigt モデルと弾性バネ要素を直列に結合した3要素モデルで考えることにする (図4参照)。

このモデルに対する微分方程式は式 (1) で表される。

$$\frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{T_i} \rho = \frac{I}{I_c} \left[C_e \frac{dM}{dt} + \frac{C_i + C_e}{T_i} M \right] \quad (1)$$

なお、上式中の C_e 、 C_i はコンプライアンス係数で、バネ要素の弾性係数の逆数の次元を表し、 T_i は遅延時間である。この微分方程式の一般解を図2の2段階のステップ荷重に関して解くことで、各経路のクリープ変形の数値解析が求められる。ただし、曲げと振りの複合変形下においては、相当曲げモーメント M_I と主曲率 ρ_I を結びつける曲げ剛性 EI_c の値が主軸の方位ごとに異なり予め求め

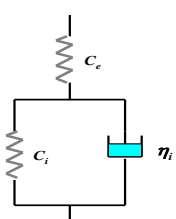


Fig.4 Three parameter mode

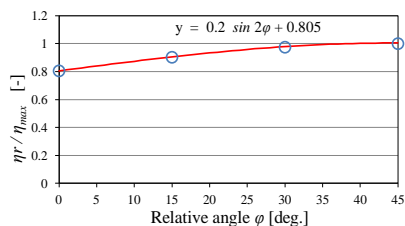


Fig.5 Coefficient of viscosity η_i

ておく必要がある。また、曲げの粘性係数と振りの粘性係数が異なるため、曲げと振りの複合負荷状態での粘性係数も予め求めておく必要がある (図5参照)。この粘性係数より、2段階のステップ荷重下のクリープ変形に対する遅延時間 T_i を決定することができる (紙面の都合上、詳しい誘導過程を省略する)。

クリープ変形挙動の数値解析結果の一例として前述の負荷経路 (2) の結果を図6に示す。実線で表された一段目ならびに二段目で数値計算結果は、実験結果とほぼ一致していることがこの図より確認できる (なお、負荷経路 (3) についても同様に一致が確認できる)。従って、本解析モデルを用いて、曲げと振りに関する2段階の複合負荷状態におけるクリープ変形挙動を予測することが可能であると考えられる。

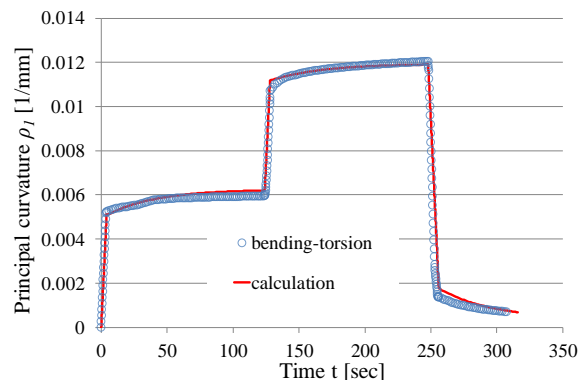


Fig.6 Numerical simulation of creep behavior (Torsion after bending)

6. 結言

曲げと振りの順序を変えて履歴の異なる負荷経路に対して2段階のステップ荷重下で得られるクリープ変形挙動を調べ、以下のことが明らかとなった。

- (1) 負荷履歴の異なる経路の中で、1段目が振り2段目に曲げが加わる経路では、2段目に曲げが加わり複合状態となることでクリープ現象が増大し、逆に1段目が曲げ2段目に振りが加わる経路では、2段目に振りが加わることによりクリープ現象が減少し、ブレードがクリープ変形を抑制する効果が表れることが明らかとなり、負荷履歴に依存して、クリープ変形の大きさが変化することが確認できた。
- (2) 実験結果と数値解析結果がよく一致することから、本解析モデルで曲げと振りに関する2段階の複合負荷状態におけるクリープ変形挙動を予測できることが確認できた。
- (3) 今後の研究の展望として、実際の使用状況を想定し、含水させた試験片を用いて、曲げと振りの複合荷重下で得られるクリープ変形挙動を調査して行く必要があると考えられる。