K5-33

カテーテルのクリープ変形挙動に関する研究
（含水が２段階の単軸ステップ荷重下で得られるクリープ変形挙動に及ぼす影響について）
Study on Creep Deformation Behavior of Catheter
(Effect of Water Content on Creep Deformation Behavior under Uniaxial Two Stage Step Load)

○辻 哲弥[1]，加藤 保之[2]
* Tetsuya TSUJI [1], Yasuyuki KATO [2]

Abstract:　The purpose of this study is to examine the mechanical property of the catheter made of soft nylon resin reinforced with thin stainless wires.　This paper describes the creep deformation behavior under two stage step load, which is obtained under uniaxial loading for tension or torsion.　Especially, the experimental results obtained under water content condition are compared with results of non-water content condition, and effects of water containing condition on the viscoelastic property are revealed.

１．緒　言

本研究の目的は，柔らかいナイロン樹脂の母材にブレード（ステンレス製の細いワイヤー）が織り込まれた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である．これまで，ステップ歪下での応力緩和現象とステップ応力下で得られるクリープ変形挙動を研究対象とし，引張と捩り，曲げと捩りなどの複合負荷状態に対して，それらの比率を変えて，異なる主応力や主歪の下でそれらの粘弾性挙動を調査してきた．

カテーテルの実際の使用状況を考慮すると，含水条件下で使用される．そのため上述の一連のステップ歪下の応力緩和現象やステップ応力下で得られるクリープ変形挙動もまた含水条件下で調査する必要があると考えられる．試験片を含水することによって，母材のヤング率が低下することや，母材とブレードが剥離することが想定されるが，本報ではそれらの影響を明らかにして行く前段階として，最も基本的な引張や捩りが単軸状態で作用する場合に対して，それらを２段階のステップ応力で与えてクリープ変形挙動を調査する．更に，本研究では，それらのクリープ変形挙動を表すための力学モデルを提案し，その数値解析の結果と実験結果を比較することにする．

２．試験片と実験装置ならびに実験方法

２．１　試験片の形状と寸法　図１は，一本のブレードに着目して１ピッチ分のカテーテルの形状を模式的に表したものであり，また，表１には，母材部の内外径及びブレードの直径を示す．なお，この表中のαは，断面積に占める母材の面積比を表している．ブレードは，左右１６本ずつ，合計３２本から構成され，また，ブレードの織り込み角θ_oは 45[deg.]である．次に，図２に試験片の形状を示す．なお，試験片の標点間距離 L_oは，全て同一で 190 [mm]である．

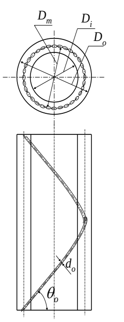


Fig.1 Shape of catheter

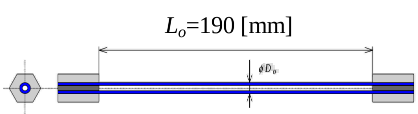


Fig.2 Test specimen

Table 1. Dimensions of test specimens

Outsid diameter D_o [mm]	Inside diameter D_i [mm]	Diameter of braid d_b [mm]	Ratio of matrix- area α [-]
1.37	1.07	0.0508	0.842

2.2　実験装置　引張試験機（島津オートグラフ AGS-J）に捩り試験機を組み合わせた複合負荷試験機を用いる．

２．３　実験方法

２．３．１　含水時間を決定するための実験条件　含水に伴ってカテーテルの母材のヤング率が変化することが想定される．そのため，クリープ変形は，含水状態に応じて異なる．そこで，本研究では，カテーテルに施す含水時間を種々に変えた試験片（t =30, 60, 120, 180, 240 [min.] ）を使用して，最も基本的な単軸引張と単純剪断のステップ応力下でクリープ変形を調査し，試験片に与える含水時間を決定する．なお，実験条件としては，一定速度で 6[sec.]間，荷重を与え，その後，その荷重を 240[sec.]間保持し，その間の変位の測定を行う．

２．３．２　２段階のステップ応力下のクリープ変形実験　１段目と２段目で得られる主歪が同一値となるように，２段階で引張または捩りの負荷を与える．１段目のステップでは，一定速度で 3[sec.]間，荷重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，軸方向変位または捩れ角の測定を行い，クリープ変形挙動を調べる（ただし，これらの実験では，非含水と含水で同一のステップ応力を与えて，クリープ変形挙動を調査する）．

３．実験結果と考察

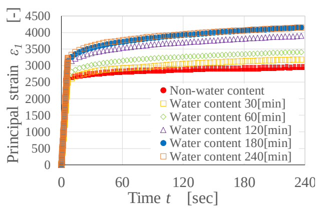
３．１　含水時間の決定　図３（a），(b）は，含水時間

1：日大理工・学部・機械，　2：日大理工・教員・機械

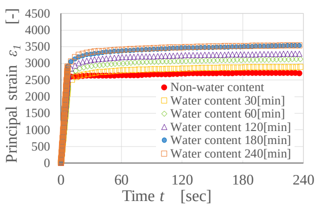
を種々に変えて，ステップ応力下で得られるクリープ変形挙動を調べた結果である．ここで，図３（a）は，単軸引張を与えた際に得られるクリープ変形挙動の結果を，また，図３（b）は，振り（剪断）のステップ応力を与えた結果をそれぞれ表している．これらの図で含水時間が増加するにつれて，クリープ変形は増加するが，t =180[min.]と t =240[min.] の結果を比較して明らかなように，クリープ変形の大きさに違いが見られないことが確認できる．その為，本研究では，試験片の含水時間を t =180[min.] に決定する．

3. 2 ２段階のステップ応力下で得られるクリープ変形

図４ (a) は，２段階の引張または振りステップ応力下で得られるクリープ変形挙動を表したものである．この図で，１段目，２段目ともに含水の引張と剪断の実験結果(すなわち，○, □)は，非含水の結果(○, □)に比べ歪が大きく発生していることが確認でき，含水した試験片を用いた場合は，非含水に比べてクリープ変形が増大することが確認できる．これは，含水に伴い母材のヤング率が低下するためであると考えられる．ここで，含水，非含水共に，単軸引張(○, ○)のクリープ変形は，振り(□, □)に比べて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．

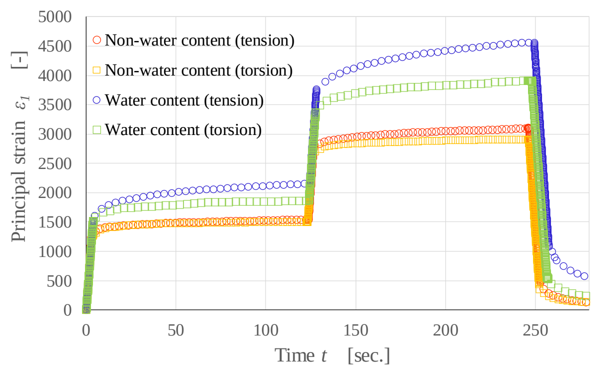


(a) Uniaxial tension

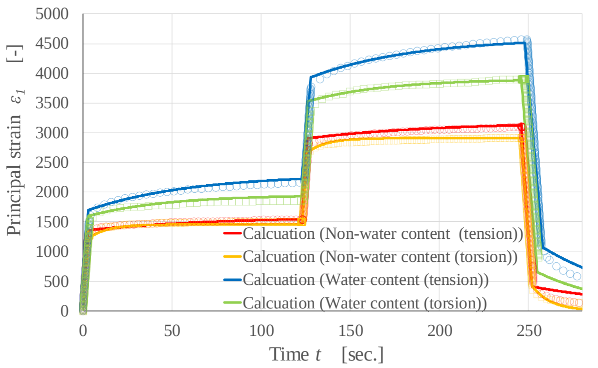


(b) Uniaxial torsion (Simple shear)

Fig.3 Creep deformation behaviors for various water content time



(a) Proportional loading for tension and torsion



(b) Comparison of numerical simulation with experiments

Fig.4 Experimental results and Numerical simulation of creep behavior

4. 数値解析

4. 1 クリープ変形の数値解析

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 (図５参照)．このモデルに対する微分方程式は，式（1）で表される．なお，ε_1 と σ_1 は，主歪と主応力で，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（retardation time）である．

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt}+\frac{1}{T_i}\varepsilon_1=C_e\frac{d\sigma_1}{dt}+\frac{C_i+C_e}{T_i}\sigma_1 \quad \cdots(1)$$

この微分方程式の一般解を図６の２段階のステップ応力に関して解くと，以下のようになる．

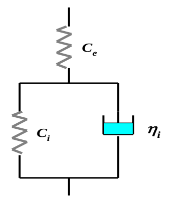


Fig.5 Three parameter mode

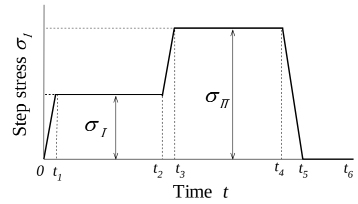


Fig.6 Tow stage step stress

(ｉ) $0\le t\le t_1$，$\sigma_1=b_1t=\frac{\sigma_I}{t_1}t$，$\frac{d\sigma_1}{dt}=b_1=\frac{\sigma_I}{t_1}$ ・・・(2)

$$\varepsilon_1=b_1[(C_i+C_e)t-C_iT_i(1-e^{-\frac{t}{T_i}})] \quad \cdots(3)$$

(ⅱ) $t_1\le t\le t_2$，$\sigma_1=b_1t_1=\sigma_I$，$\frac{d\sigma_1}{dt}=b_2=0$ ・・・(4)

$$\varepsilon_1=b_1[(C_i+C_e)t+C_iT_i(e^{-\frac{t}{T_i}}-e^{\frac{t_1-t}{T_i}})]=\varepsilon_1' \quad \cdots(5)$$

(ⅲ) $t_2\le t\le t_3$，$\sigma_1=b_3(t-t_2)+b_1t_1=b_3(t-t_2)+\sigma_I$，$\frac{d\sigma_1}{dt}=b_3=\frac{\sigma_{II}-\sigma_I}{t_3-t_2}$ (6)

$$\varepsilon_1=\varepsilon_1'+b_3[(C_i+C_e)(t-t_2)-C_iT_i(1-e^{\frac{t_2-t}{T_i}})] \quad \cdots(7)$$

(ⅳ) $t_3\le t\le t_4$，$\sigma_1=b_3(t_3-t_2)+\sigma_I=\sigma_{II}$，$\frac{d\sigma_1}{dt}=b_4=0$ (8)

$$\varepsilon_1=\varepsilon_1'+b_3[(C_i+C_e)(t_3-t_2)-C_iT_i(e^{\frac{t_3-t}{T_i}}-e^{\frac{t_2-t}{T_i}})]=\varepsilon_1'' \quad (9)$$

(ⅴ) $t_4\le t\le t_5$，$\sigma_1=b_5(t-t_4)+\sigma_{II}$，$\frac{d\sigma_1}{dt}=b_5=\frac{-\sigma_{II}}{t_5-t_4}$ (10)

$$\varepsilon_1=\varepsilon_1''+b_5[(C_i+C_e)(t-t_4)-C_iT_i(1-e^{\frac{t_4-t}{T_i}})] \quad \cdots(11)$$

4. 2 数値解析結果と考察

クリープ変形挙動の数値解析結果を図４（b）中の実線で示す．一段目ならびに二段目で数値解析結果は，実験結果とほぼ一致していることがこれらの図から確認できる．従って，本解析モデルを用いて，引張または振りに関する２段階の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．

5. 結　言

本研究では，含水した試験片を用いて引張または振りの２段階の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) 含水と非含水の実験結果を比較した結果，１段目，２段目ともに含水した試験片を用いた場合には，非含水に比べてクリープ―変形が増大することが明らかとなった．

(2) 含水，非含水共に実験と数値解析の結果が一致することから，本解析モデルで引張または振りに関するクリープ変形挙動を予測することが可能である．