

ブレードで補強されたカテーテルの振りの線形負荷後の除荷時のクリープ変形挙動  
(順方向振りを再度与えた場合のクリープ変形挙動に及ぼす含水の影響について)

Creep Deformation Behaviors for Catheter Reinforced with Braids under Unloading Conditions after Applying Linear Torsion  
(Effects for Water Containing Conditions on Creep Deformation Behaviors in Case of Torsion Applying in Forward Direction Again)

○染谷春希<sup>1</sup>, 熊本海人<sup>2</sup>, 加藤保之<sup>3</sup>

\*Haruki Someya<sup>1</sup>, Kaito Kumamoto<sup>2</sup>, Yasuyuki Kato<sup>3</sup>

Abstract: This paper describes the creep deformation behaviors for catheter made of soft nylon resin reinforced with stainless steel wires, i.e., braids, which are generated under combined loading for tension and torsion. In the present study, a linear torsional loading when the torsional moment is increased with a constant value is investigated instead of the step loading of torsion that have already been revealed in our previous studies. As for the loading history of torsion, the creep deformation behaviors for normal strain, shear strain and principal strain are investigated under experimental conditions that a linear torsional loading is firstly applied, then unloaded it, and held for a certain period of time, and after that, a linear torsional loading is applied in the same direction again. In particular, in order to make clear the tendency of shear peeling between the soft nylon and the braid occurs in an early stage due to the water contained, these experiments are conducted by using water containing specimens and non-water containing specimens.

1. 緒言

この一連の先行研究では、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て、引張と振りの比率を変えてステップ負荷を与え、その後、振りを除荷してクリープ変形挙動を調査してきた。しかしながら、それらの振りの負荷や除荷に関しては、これまでの研究では最初に与えるトルクを一定値に保持するいわゆるステップ負荷の場合に限定され、最初のトルクを与えた後に更にトルクを一定値に増加させて行う線形負荷の場合については、検討が行われてこなかった。そこで、本研究では、振りの線形負荷の履歴に着目し、一段目に順方向の線形負荷を与え、無負荷状態まで除荷した後一定時間保持し、再度順方向に二段目の振りを与える場合について検討する。特に本報では、含水と非含水の試験片に対し、除荷時の伸びの不連続量や振りのクリープ変形量を調査する。

2. 引張と振りの負荷履歴について

本研究では、最初に引張と振りを同時に加え、その後、引張の負荷のみを一定値に保持(ステップ負荷)したままで、図1の赤色の線で示したように振りのみを線形に増加させた後にそれを除荷する。次に、引張の負荷は一定値に保持したままで、振りを  $t^*$  秒間無負荷状態にし、その後、再度、順方向に振りを線形に増加させ、最後に、振りと引張を同時に除荷する一連の負荷履歴の条件に対してクリープ挙動を調査する。

図2は、時間経過に伴う伸び歪の挙動を模式的に表したものである。引張のステップ負荷を与える過程では、理論上、伸び歪は増加し、歪速度が時間と共に徐々に減っていく遷移型クリープ変形が認められる(この図の灰色の曲線)。しかし、1段目の振りの除荷時(この図の赤色の円)ならびに2段目の振りの負荷時(この図の青色の円)で、剥離

の影響を考慮していない理論上の曲線と実験結果(この図の緑色の曲線)の差  $\epsilon_y^*$  が生じることになる。一方で、図3は、時間経過に伴う剪断歪の挙動を模式的に表しており、剥離が発生すると、理論上の解析結果(灰色の曲線)と実験結果(剪断歪は青色の曲線)に差異が生じることが予想される。

3. 試験片ならびに実験装置と実験方法

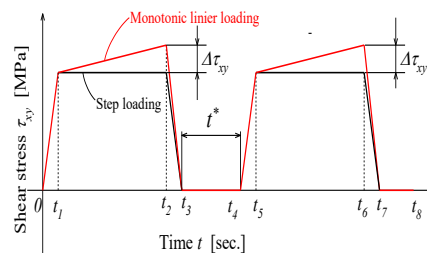


Fig.1. Shear stress – time diagram.

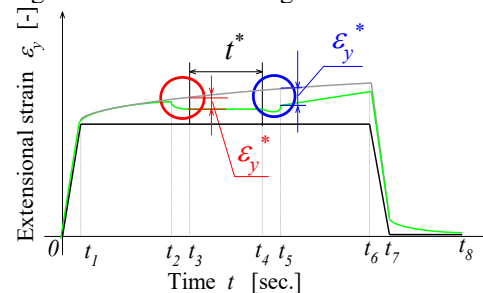


Fig.2. Extensional strain – time diagram.

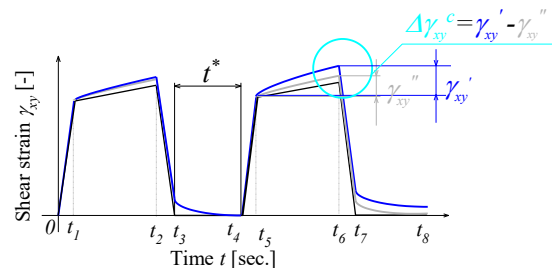


Fig.3. Shear strain – time diagram.

1 : 日大理工・学部・機械、2 : 日大理工・院(前)・機械、3 : 日大理工・教員・機械

### 3.1 カテーテルの断面形状と実験装置

本実験で用いる試験片は、ナイロン樹脂製の母材の中に左右16本、合計32本のブレードが織り込まれている。これらの初期織り込み角は、45, 135[deg.]で、標点間距離は、190[mm]である。なお、詳細寸法を表1に示す。

本実験では、引張試験機（島津オートグラフ）と振り試験機を組み合わせることで、引張と振りを同時に作用させることのできる装置を使用する。

Table 1. Dimensions of test specimens

Outside diameter $D_o$ [mm]	Inside diameter $D_i$ [mm]	Diameter of braid $d_b$ [mm]	Ratio of matrix-area $\alpha$ [-]
1.37	1.07	0.0508	0.842

### 3.2 実験条件について

#### 3.2.1 試験片の含水時間について

含水時間の異なる試験片 ( $t = 30, 60, 120, 180, 240$  [min.]) に対し、単軸引張と単純剪断のステップ応力を加えてクリープ変形を調査し、 $t = 180$  [min.]と  $t = 240$  [min.]のクリープ変形量に差異が生じないことが既に明らかとなっている。そのため、含水時間は  $t = 180$  [min.]と決定する。

#### 3.2.2 振りの線形負荷の実験について

1段目の負荷では、引張と振りを同時に作用させる比例負荷を一定速度で6[sec.]間与え、引張の負荷を一定値に保持したまま、図1の赤色の線で示した様に振りのみを120[sec.]間線形に増加（ただし、トルク値を6段階  $T = 8, 9, 10, 11, 12, 13$  [Nmm]に設定）させた後に6[sec.]間で除荷する。更に、一定時間 ( $t^* = 120$  [sec.]) 保持した後（ただし、 $t^* = 0$  [sec.]も行う）に2回目の振りの負荷を6[sec.]間で与え、同様に引

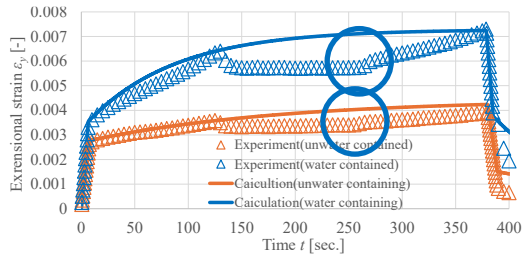


Fig.4. Extensional strain – time diagram.

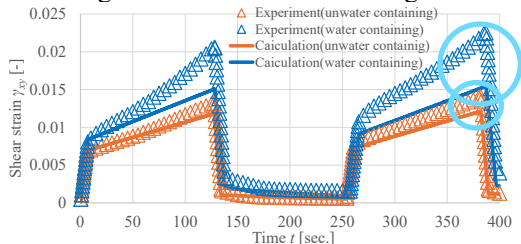


Fig.5. Shear strain – time diagram ( $t^* = 120$  [sec.]).

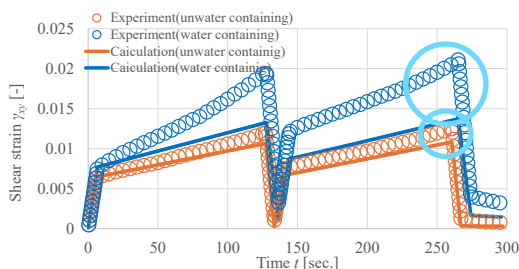


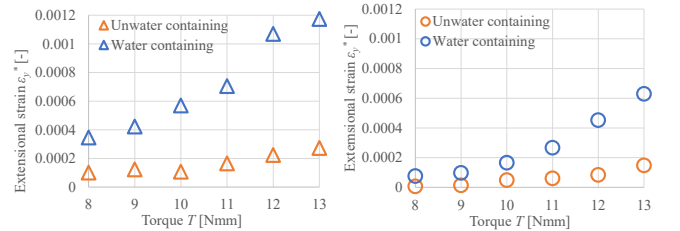
Fig.6. Shear strain – time diagram ( $t^* = 0$  [sec.]).

張を一定値に保持したまま振りのみを120[sec.]間線形に増加させ、その後、引張と振りの除荷を6[sec.]間で同時に行う。

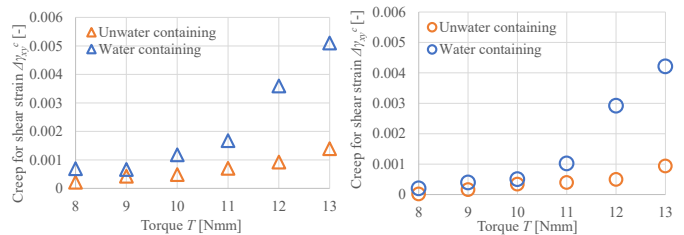
### 4. 実験結果と考察

実験結果の一例として、振りの線形増加量が最も大きい  $T = 13$  [Nmm] に対し、時間経過に伴う伸び歪の数值解析と実験結果を同時に重ねて表したものを図4に示す。この図の青色のプロットと実線が含水させた試験片に対する実験値と数值解析の結果を、一方で、オレンジ色のプロットと実線が非含水試験片の結果をそれぞれ表している。この図の青色の円で囲まれた部分から明らかなように、解析結果は連続であるのに対して、実験値に不連続が生じ、剥離が発生していることが確認できる。なお、この不連続量は含水の方が非含水に比べ大きい。次に、時間経過に伴う剪断歪の数值解析と実験結果を同時に重ねて表したものを図5と図6に示す。これらの図の水色の円で囲まれた部分から明らかなように、解析結果に比べて実験値が大きくなり、非含水では振りの線形負荷の過程でこれらの差が増大する。

最後に、青色と水色の円で囲まれた箇所解析値と実験値の差、即ち、 $\epsilon_x^*$ と  $\Delta\gamma_{xy}$  を調べた結果を図7と図8にそれぞれ示す。これらの図からも非含水に比べ含水させた試験片の方が、伸び歪の不連続量も、クリープ歪の実験値と理論値の差も、より小さいトルクの段階から増大する傾向が確認できる。



(a)  $t^* = 120$  [sec.] (b)  $t^* = 0$  [sec.]  
Fig.7. Relation of extensional strain  $\epsilon_x^*$  and torque.



(a)  $t^* = 120$  [sec.] (b)  $t^* = 0$  [sec.]  
Fig.8. Relation of shear strain  $\Delta\gamma_{xy}$  and torque.

### 5. 結言

二段目に順方向の線形の振り負荷を与える場合に対して、クリープ挙動を調査し、以下のことが明らかとなった。

- (1) 振りの線形増加量が増大するとともに伸び歪の不連続傾向とクリープ歪の実験値と理論の差が大きくなり表れる。
- (2) 非含水に比べ含水させた試験片の方が、伸び歪の不連続量も、クリープ歪の実験値と理論値の差も、より小さいトルクの段階から増大する傾向が現れる。