

## カテーテルの変形挙動と強度に関する研究 初期捻り下での飛び移り座屈挙動と軸方向変位速度の関係 Study on the Deformational Behavior and Strength of Catheter

Relation between Snap-through Behavior under Initial Torsion and Axial Displacement Speeds

佐多 賢<sup>1</sup>, 安藤 賢弥<sup>2</sup>, 加藤 保之<sup>3</sup>

Ken SATA<sup>1</sup>, Kenya ANDO<sup>2</sup>, Yasuyuki KATO<sup>3</sup>

Abstract: In our previous report, the buckling behavior of catheter has been examined by using short specimens and the effect of stress relaxation on the buckling behavior has been revealed. However, the relatively long catheters are often used in the actual operation and an unstable phenomenon occurs frequently in spite of small compressive load. In this paper, the snap-through behavior, which occurs under initial torsion, is investigated by changing the length of specimens. Especially, the relation between the snap-through buckling and the visco-elastic behavior are examined by performing the experiments with different axial displacement speeds.

### 1. 緒言

ステンレス製の細いブレードで補強したナイロン樹脂から成るカテーテルを研究対象とし、これまでの研究では比較的短い試験片に対して、捻りと圧縮が連成する多軸負荷状態で座屈発生時の荷重や変位、ならびに座屈後の応力緩和現象を明らかにしてきた。しかし、実際の使用状況を考えるとカテーテルは長く、より小さな荷重で不安定現象が発生する。特に初期捻り下においては、飛び移り座屈 (snap through buckling) がしばしば生じる。

そこで前報までの研究では、試験片の標点間距離と初期捻り角を種々に変えて実験を行い、座屈が生じた後に起こる飛び移り現象の発生条件について調べてきた。しかしながら、初期捻り下で加える軸方向の変位速度に関しては全て同一条件下で調査が行われ、軸方向の変位速度の影響については、これまでまだ検討していなかった。そこで本報では、初期捻りを与えた後に加える軸方向の変位速度を3段階に変化させて飛び移り現象の発生条件を調べて行くことにする。

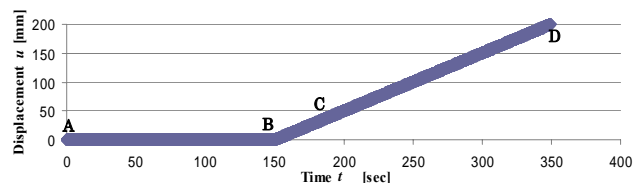
### 2. カテーテルの断面形状と寸法

本研究で対象とするカテーテルは、左右 8 本ずつ合計 16 本のブレードから構成されている。これまで試験片の形状ならびに詳細寸法については過去の論文で詳しく述べてきたので説明を省略するが、緒言で述べたように比較的長い試験片を用いて実験を行うため、標点間距離  $L_0$  は 200, 250, 300, 350, 400, 450 [mm] の 6 通りを採用する。

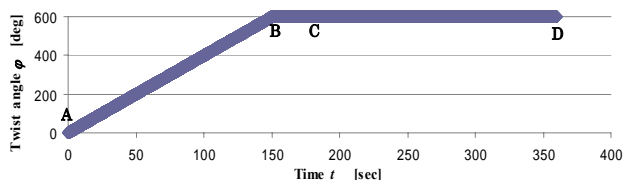
### 3. 実験装置と実験方法

島津卓上試験機(オートグラフ AGS-J)に捻り試験機を装着した装置を用いて実験を行う。内外径の異なる 3 種類の試験片を使用し、一定回転速度 0.67 [rpm] で初期捻り角を

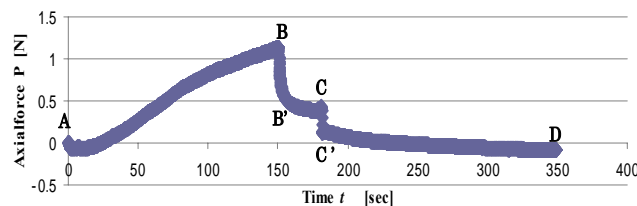
種々に与え( $\varphi = 0, 240, 360, 480, 600$  [deg])、異なる変形速度(30, 60, 90 [mm/min])で軸方向の変位  $u$  を加えた際に得られる圧縮荷重と捻りモーメントの測定を行う。なお、これらは、初期捻り角を与える過程、軸方向変位を与えた後に座屈が発生するまでの過程、座屈発生後の飛び移り現象が生じる過程で連続的に測定を行う(図 1 参照)。



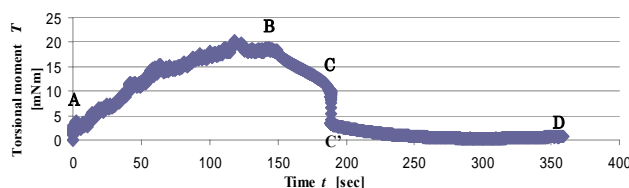
(a) Displacement – time diagram



(b) Twisting angle – time diagram



(c) Axial force – time diagram



(d) Torsional moment-time diagram

Fig.1 Experimental results of axial force and torsional moment

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 圧縮荷重と捩りモーメント関係について

図 1 は、一例として標点間距離 250 [ mm ] の試験片 (No.1) に初期捩れ角 600 [ deg ], 変形速度 60 [ mm/min ] で軸方向の変位  $u$  を与えた場合の (a) 変位-時間, (b) 捩れ角-時間, (c) 軸力-時間, (d) 捩りモーメント-時間の関係を示したものである。図中の AB 間で初期捩りを与え, B 点で軸方向に変位を与えるとともに軸力は圧縮荷重が発生して減少するが, B 点で座屈が生じた後には軸力は一定値に停留する。その後, C 点で飛び移り現象が発生して軸力とモーメントが共に不連続となる。

### 4.2 変位速度と飛び移り座屈現象の関係について

図 2 (a), (b), (c) は, 試験片 (No.1) に対して, 飛び移り座屈現象が発生する場合について, 同一の捩り率 ( $d\phi/dx=0.042$  [ rad/mm ]) の条件下で, 試験片の標点間距離を種々に変えて得られる軸力の挙動を異なる変位速度ごと ((a) 30 [ mm/min ] (b) 60 [ mm/min ], (c) 90 [ mm/min ]) に示したものである。これらの図では, 座屈発生時の軸力の挙動のみを比較するために, 初期捩れ角を与える過程 (図 1 (c) の AB 間) で発生する張力を取り除き, 軸方向変位を与えた後に得られる軸力と時間の関係のみが表示されて

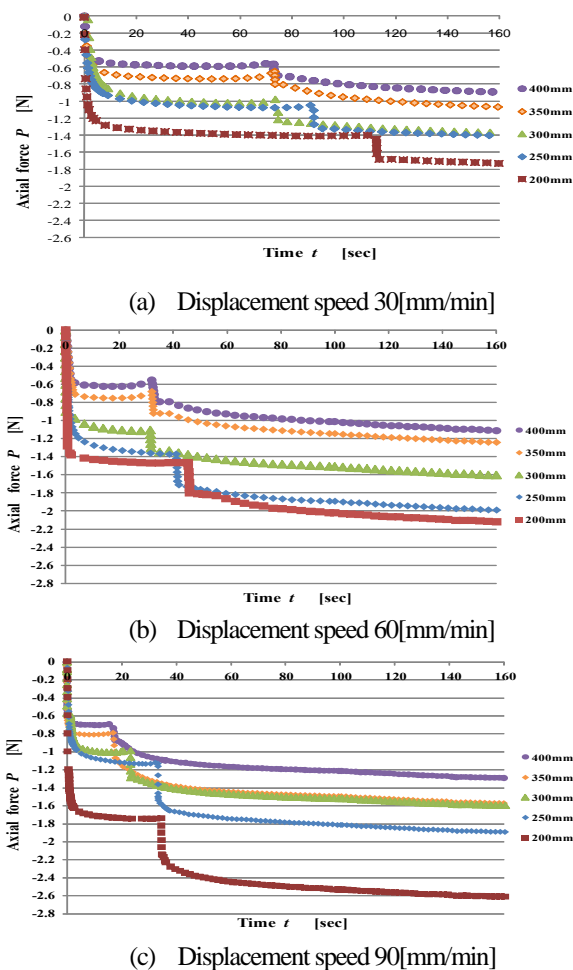


Fig.2 Axial force-time diagram for various gauge lengths

いる。この図から標点間距離が最も短い 200 [ mm ] 場合では, 座屈荷重が最も大きくなり, また座屈後に発生する飛び移り座屈現象で発生する軸力の不連続量も最も大きな値を示す。そして, 標点間距離が長くなるにつれ, それらは徐々に小さくなる。ここで, 軸方向の変位速度による違いを説明すると, (a), (b), (c) の順に変位速度が増加するほど, 座屈荷重は増大し, 飛び移り座屈現象は, 早いタイミングで生じ, 軸力とモーメントの不連続量も増大する。

### 4.3 変位速度と飛び移り座屈現象の発生領域の関係

図 3 は, 試験片 (No.1) に対し, 飛び移り座屈現象が発生する捩り率と標点間距離の関係を 3 通りの異なる変位速度に対して示したものである。ここで一例として図中の P 点 (捩り率  $d\phi/dx=0.027$  [ rad/mm ], 標点間距離 300 [ mm ]) の場合を考えると, この点は 30 [ mm/min ] の境界点 よりも下にあり, 60 [ mm/min ] と 90 [ mm/min ] の上に存在するわけであるが, P 点の軸力の挙動は, 図 4 の様になり, 変形速度の最も速い 90 [ mm/min ] は完全に飛び移り現象が生じ, 60 [ mm/min ] は, 飛び移り現象の徴候が現れ, 30 [ mm/min ] は, 飛び移り現象が発生していない状態であることがわかる。

図 3 の飛び移り現象の発生領域の特徴としては, 標点間距離が増加するほど, また変位速度が速いほど, 飛び移り現象発生時の捩り率は減少傾向を示すことがわかる。

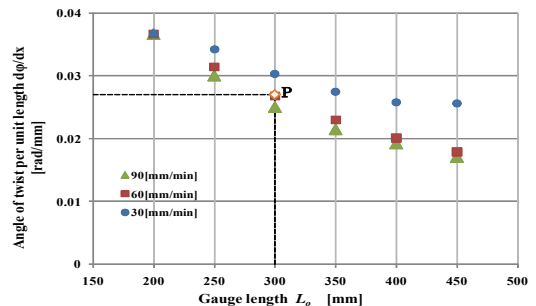


Fig.3. Snap-through behavior and torsional angle per unit length

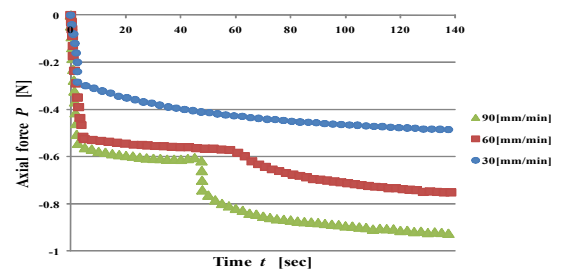


Fig.4. Axial force-time diagram for various displacement speeds

## 5. 結言

軸方向の変位速度に着目し, 初期捩りを与えた後に加える軸方向の変位速度を 3 段階に変化させて飛び移り現象の発生条件を調べ, 軸方向の変位速度と飛び移り座屈現象の発生領域の関係が明らかとなった。