# カテーテルの捩じれ座屈に関する研究 (捩じりの変形下で発生する扁平化現象に与える初期軸圧縮力の影響について)

Study on Torsional Buckling of Catheter

(Effect of Initial Axial Compressive Load on Flattening Phenomenon Occurring under Torsional Deformation)

○蒲原 栄治<sup>1</sup>, 野本 光<sup>2</sup>, 加藤 保之<sup>3</sup>

Eiji KANBARA<sup>1</sup>, Hikaru NOMOTO<sup>2</sup>, Yasuyuki KATO<sup>3</sup>

Abstract: The flattening phenomenon in the cross section of the catheter, which is made of soft nylon resin and is reinforced with thin stainless wires called braid, is described in this paper. Especially, considering the cross section gradually changes into the elliptical shape during the process of torsional deformation, the torsional moment when the flattening phenomenon occur is estimated based on the shear flow theory. Then, the occurrence regions of the flattening phenomenon are revealed by examining the bifurcation points of torsional moment under the experimental conditions with various axial compressive loads.

## 1. 緒 言

本研究の目的は、ナイロン樹脂に金属の細いワイヤー (ブレード)を編み込んだカテーテルを研究対象として、 その力学的特性を解明することである.実際の使用状況 考えると、カテーテルは比較的長く、座屈などの不安定 挙動が発生する可能性がある.そこでこれまでの研究で は、変形速度を変えて座屈発生時の荷重を調べることで、 応力緩和現象が座屈荷重に及ぼす影響を明らかにしてき た.更に、実際には、軸力(圧縮)だけでなく捩りが連 成することを考慮し、軸力と捩りの比率を変えた比例負 荷の場合と、最初に捩りを与えた後に軸力を与える場合 について変形速度を変えて座屈荷重を調査してきた.

一方で、最初に軸力を与えた後に捩りを与える場合で は、座屈発生時の急激な軸力やトルクの低下が確認でき ず、カテーテルの断面が扁平形状になりながら、徐々に 不安定挙動が生じることがこれまでの研究で確認されて きたが、詳細な調査が行われていなかった.

そこで本研究では、このテーマに着目し、捩りを与え る過程で生じる扁平化現象について検討して行くことに する.特に、断面内が徐々に楕円形状になることを考慮 し、剪断流理論に基づく捩りモーメントの理論式を立て て扁平化現象が発生し始めるトルクの値を推定する.ま た、初期軸力が扁平化現象に及ぼす影響を調査するため に、最初に与える軸力の大きさを種々に変えて実験を行 うことで、扁平化現象の発生領域を調査する.

## 2. カテーテルの断面形状と試験片の寸法

本研究のカテーテルは、図1のように、ナイロン樹脂 からなる母材(外径 $D_o$ =1.37[mm],内径 $D_i$ =1.07[mm],) にブレード(ステンレス製のワイヤー:外径 $d_o$ =0.0508 [mm],初期織り込み角 $\theta_0$ =45[deg.])が管状に織り込まれた 構造であり、このブレードは左右 16 本ずつ合計 32 本か ら構成されている.また、試験片の標点間距離 $L_o$ は、全 て 45 [mm]である.

### 3. 剪断流理論に基づくトルクの計算

捩り変形の進行に伴い徐々に断面が潰れて扁平形状と

なることを考慮する捩りモーメントの解析方法として, ここでは、剪断流理論を用いる。断面内に発生する捩り モーメント(トルク)は、式(1)のように表される。た だし、 $G_b$ は、自然時間に関係しない普遍的な弾性係数を,  $G_r$ は、時間と共に緩和減衰していく剪断弾性係数を意味 する $T_r$ は、緩和時間であり、Rは、扁平化する前の平均 半径、Tは厚さを意味する。また、Ac は図2中の赤線で 表された楕円の面積に相当する。

ただし、式中の $a \ge b$ は、図2中の楕円の長軸と短軸 であるが、これらの値は、扁平化現象が進行して行く過 程で、カテーテルの平均直径上の周の長さ(すなわち  $\pi D_m$ )が変化しないことを考慮して、図2中の赤線で表 された楕円の周の長さが初期の周の長さ $\pi D_m$ と等しくな るように決定される.





Fig.2 Change of shape in the

cross-section

Fig. 1 Specimen

$$T = G^* \frac{4A_c^2}{\oint \frac{ds}{t}} \frac{d\varphi}{dx}$$

$$= \left\{ G_b + G_r \frac{T_r}{t} \left( 1 - e^{\frac{-t}{T_r}} \right) \right\} \frac{4(\pi ab)^2}{\frac{2\pi R}{t}} \frac{\pi \varphi_{deg}}{180 L_o}$$
(1)

# 4. 実験装置ならびに実験方法について

4-1 実験装置

実験で用いた試験機は、島津卓上試験機(オートグラ

1: 日大理工・学部・機械, 2: 日大理工・院・機械, 3: 日大理工・教員・機械

フ AGS-J) に捩り試験機を装着したものであり、圧縮と 捩りを同時に加えることができる機構となっている.

#### 4-2 実験条件

図3に示す①~⑥までの異なる初期変位(0,0.18,0.38,0.58 [mm]の縮み,ならびに0.05,0.1 [mm]の引張)を与えた後に、その変位を固定した状態で、捩り速度を2通り(1.0 [rpm]と0.5 [rpm])に変えて扁平化現象が起こり始める領域を調べる.



#### 5. 実験結果

図4は、上述の実験条件で説明した図3の①~⑥の中で、③ の方向の場合に対して、捩り速度を速く与えた条件のもとで得られる時間と捩り角ならびにトルクの実験結果を示したもの である.ただし、この図はトルクを捩り剛性(G<sub>c</sub>I<sub>µ</sub>/L<sub>o</sub>)で除し て、捩り角φの次元で表し、捩り角の結果に重ねて表わした 図である.図中のプロット○が捩り角、一方でプロット●がト ルクを、黒の実線が理論上の応力緩和曲線を、赤の実線が潮面 の扁平形状を考慮した剪断流理論に基づく応力緩和曲線をそ れぞれ表している.図中の黒の曲線と赤の曲線が分岐するとこ ろが扁平化現象の発生箇所でプロット●で表示されている.

図5は、①~⑥までの実験条件における軸力を伸び剛性で ( $AE_c/L_o$ )で除し、一方で捩りモーメントを捩り剛性( $G_c I_{\mu}/L_o$ )







で除して、軸力ならびにトルクを変位 と 
振り角<sup>の</sup> の 
次元で表 し、変位と 
振り角の結果に重ねて表示したものである.ここで、 白抜きの 
プロットが 
変形の 
挙動であり、一方で、塗り 
つぶされ た 
プロット 
が 
神力や 
振りモーメントの 
内力の 
挙動を表してい る.それぞれの 
方向の 
内力と 
変形の 
挙動を前述の 
方法に従って 推定した結果が、 
扁平化現象が 
発生する 
境界領域を表す 
曲線で ある.ここで、 
図中の 
破線が 
振り速度を速く 
与えた場合

(1.0[pm]),一方で一点鎖線が遅く与えた場合(0.5[pm])に 対して推定した境界領域である. 捩り速度が速い場合は、遅い 場合に比べて境界領域が大きくなることがわかる.

また、①~④の順ご圧縮荷重が増大し、軸方向の変位(負の 変位)の値が大きくなるほど小さい角度で扁平化現象が発生す る.また、④の経路では、軸方向変位を与える過程で、座屈に より既に軸力は低下した状態から捩りが作用し始めているこ とがわかる.一方で、引張荷重が作用する側では5,⑥の順に、 扁平化現象が発生し始める捩りモーメントは、更に大きくなり、 起こりにくくなる.

### 6. 結 言

最初に軸力を与えた後に捩りを与える過程で生じる扁 平化現象を調べた結果,以下のことが明らかとなった.

- (1) 圧縮荷重が増大するほど、扁平化現象の開始時の捩り モーメントの値は、低下する.一方で引張荷重が連成 する場合では、扁平化現象は起こりにくくなり、扁平 化現象の開始時の捩りモーメントの値は増加する.
- (2) 捩り速度が速い場合は、遅い場合に比べて扁平化現象 開始時の境界領域が大きくなる.