

ブレードで補強されたカテーテルの変形挙動と強度に関する研究  
(初期振り下の座屈発生領域に与える含水の影響について)

Study on the Deformational Behavior and Strength of Catheter reinforced with Braid  
(Hydrous effect on buckling region under initial torsion)

○深川 翔太<sup>1</sup>, 佐多 賢<sup>2</sup>, 加藤 保之<sup>3</sup>

Shota FUKAGAWA<sup>1</sup>, Ken SATA<sup>2</sup>, Yasuyuki KATO<sup>3</sup>

Abstract: In our previous report, the buckling tests under initial torsion have been carried out with various speeds of the axial displacement, and the relation between the buckling region under initial torsion and the stress relaxation has been examined. However, in these studies, the experiments were carried out under the arid condition without including liquid, and the hydrous effect had not been considered yet. So, in this report, the hydrous effects on the buckling region are examined under various initial torsions.

1. 緒言

ナイロン樹脂の母材にステンレス製の細いワイヤーを管状に織ったブレードで補強したカテーテルを研究対象とし、これまでの研究では、初期振りを与えた状態で圧縮荷重を作用させて座屈試験を行い、初期振り量と座屈発生領域の関係を調べてきた。その結果、圧縮荷重を与える際の軸方向の変位速度に座屈荷重は依存し、変位速度が遅い条件では座屈発生領域は小さくなることが明らかとなった。本報では、更により現実の使用状況を想定し、含水した試験片を用いて実験を行い、初期振り下の座屈発生領域に及ぼす含水の影響を調査する。

2. 含水が座屈挙動に及ぼす影響について

含水に伴ってカテーテルの母材のヤング率やポアソン比が変化する。更に、母材とステンレス製のブレードとの摩擦抵抗の減少に伴いそれらの間の剥離の影響も予想される。そのため、座屈荷重は、含水の状態に応じて異なる値になると考えられる。

3. 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の形状は、緒言で既に述べたように、ナイロン樹脂からなる母材(外径  $D_o$ , 内径  $D_i$ , 平均径  $D_m$ )にステンレス製の細いワイヤーを管状に織り込んだブレード(外径  $d_o$ , 初期織り込み角  $\theta_p$ )で構成されている(図1には1ピッチ、即ちブレード一回転分に対して模式図が描かれている)。また、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。

4. 実験装置と実験方法

実験で用いた複合負荷試験機は、島津卓上試験機(オートグラフ AGS-J)に振り試験機を装着したものであり、圧縮と

Table 1 Diameter and ratio of matrix-area

Types of test pieces	Outside diameter $D_o$ [mm]	Inside diameter $D_i$ [mm]	Diameter of braid $d_o$ [mm]	Ratio of matrix-area $\alpha$ [-]
Contain braid No.1	1.37	1.07	0.0508	0.842
Contain braid No.2	1.67	1.14	0.0635	0.876
Contain braid No.3	2.01	1.40	0.0635	0.924

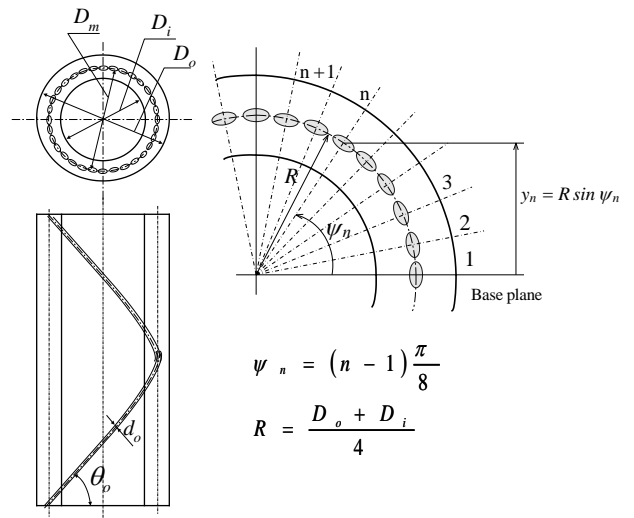


Fig.1 Schematic diagram of catheter

振りを同時に加えることができる機構となっている。この実験装置を用いて、表1に示す試験片に対して以下の座屈実験を行った。なお、試験片の標点間距離は45[mm]である。

4・1 圧縮荷重のみが作用する場合

含水時間を種々に変えた試験片(ただし、含水時間は次の5通りである  $t=30,60,120,180,240$ [min])を用いて圧縮荷重のみを加えて両端固定支持の境界条件の下で荷重と変位の測定を行い、座屈挙動を調査する。

4・2 初期振り後に軸方向変位を変化させて行う圧縮実験

含水させた試験片(含水時間 180[min]以上)に対して、異なる初期振り(0,10,15,20,25,30,40,60,80,100,120[deg.])を与えた後に、その振り角を固定した状態で軸方向の変位速度を2通り(134.19[mm/min]と 50.00[mm/min])に変えて座屈発生領域を調べる。

5. 実験結果と考察

5・1 臨界座屈荷重の結果と含水の影響

最初に、軸圧縮荷重のみが作用し、両端が固定支持され

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

た最も基本的な境界条件下で座屈荷重を調査した結果について説明する。図2は、試験片 No.1 に対する圧縮荷重と軸方向変位の関係を表したものである。この図から明らかのように、座屈発生時までは荷重は増加するが、座屈が発生すると荷重は減少し、軸方向の変位のみが増加する。なお、周知の通り、両端が固定支持された標点間距離  $L_0$  の試験片に対し、軸圧縮荷重のみが作用するときの座屈荷重（臨界座屈荷重  $P_{cr}$ ）は、以下の式で表される。

$$P_{cr} = 4\pi^2 E_c I_c / L_0^2 \quad (1)$$

ただし、 $E_c I_c$  は、複合材としての曲げ剛性である。

ここで、図中の直線は、含水していない試験片に対する臨界座屈荷重  $P_{cr}$  の値を表している。これに対して含水時間を種々に変えた ( $t=30,60,120,180,240$ [min]) 試験片を用いて実験を行った結果が図2に示されている。含水時間が増加すると、座屈荷重は減少するが、この図から明らかのように  $t = 180$ [min] と  $240$ [min] の座屈荷重は、ほぼ一致し、 $t = 180$ [min] 以上含水しても座屈荷重は変わらないことがわかる。このため圧縮と振りが連成する複合荷重下の実験では、含水時間の条件を  $t = 180$ [min] に設定することにする。なお、本実験で使用した含水しない試験片と含水した試験片（180[min]以上含水した試験片）のそれぞれの臨界座屈荷重  $P_{cr}$  ならびに4点曲げ実験により求めた  $E_c I_c$  の値を試験片ごとに表2にまとめて示す。

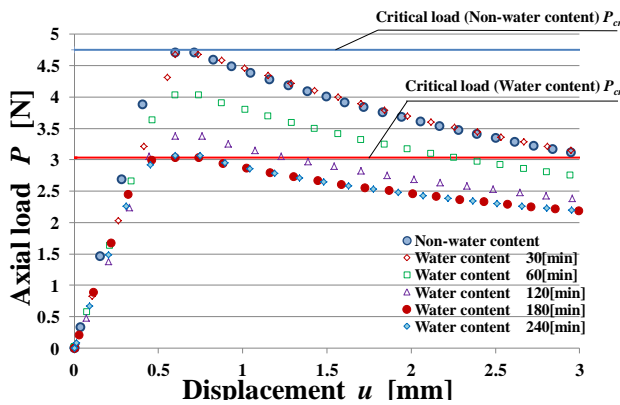


Fig.2 Buckling behavior under different water content

Table 2 Critical load and flexural rigidity

Types of test pieces	Flexural rigidity $E_c I_c$ [ $N \cdot mm^2$ ]	Critical load $P_{cr}$ [N]
Non-water content No.1	243.7	4.71
Non-water content No.2	477.5	9.08
Non-water content No.3	818.6	15.8
Water content No.1	157.6	3.06
Water content No.2	351.7	6.57
Water content No.3	533.9	10.2

### 5・2 初期振り下の圧縮実験

軸力を単位長さ当たりの伸び剛性 ( $AE_c / L_0$ ) で除し、一方でトルクを振り剛性 ( $G_c I_{pc} / L_0$ ) で除して、軸力ならびにトルクを変位  $u$  と振り角  $\phi$  の次元で表し、変位と振り角の

結果を重ねて表示したものが図3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軸力やトルク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が途中で分岐し始める点が座屈の発生箇所であり、それらの点から座屈現象が発生する境界領域を表す曲線を推定することができる。図中の破線は含水されていない試験片の場合と含水した試験片の場合に対するそれぞれの座屈領域である。この図から含水された試験片の座屈領域は含水していない試験片の領域より小さくなる。図中の  $10$ [deg.] まで振った後に軸方向変位を与えた場合には、座屈した後に軸力が減少するとともにトルクも応力緩和によってわずかに減少する。この傾向は  $40$ [deg.] まで続くが、その後、減少傾向が徐々に大きくなる。更に初期振り角を大きく与える場合には、座屈前の軸方向変位を与える過程でもこのトルクの減少傾向が表れる。これに対して含水した試験片にも同様の傾向が表れるが、初期振り角が  $25$  [deg.] を超えるとトルクの減少傾向が強く表れる。

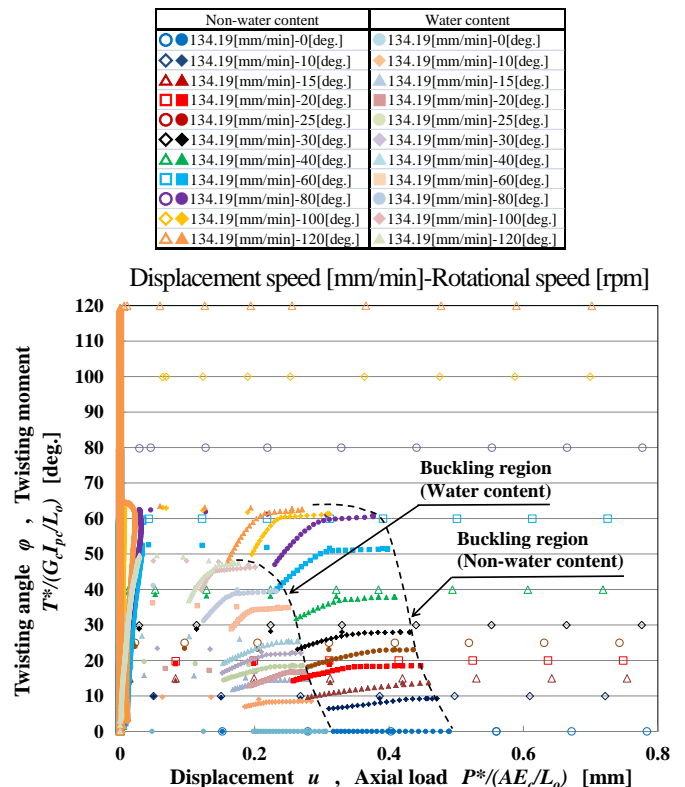


Fig.3 Buckling region in case of axial load after torsion

## 6. 結言

含水させた試験片を用いて初期振りを加えた後に軸方向変位を与えて座屈挙動を調べた。その結果、含水した場合には含水しない場合に比べ、座屈発生領域は小さくなることが明らかとなった。今後の研究の展望としては、軸方向の初期変位を種々に変える条件下で、振れ座屈の発生領域と含水の関係をもっと検討していく必要があると考えられる。