

カテーテルの変形挙動と強度に関する研究 初期捻り下の座屈発生領域に及ぼす軸方向の変形速度の影響について

Study on the Deformational Behavior and Strength of Catheter

Effect of axial deformation speed on buckling region obtained under initial torsion

豊田 義彰¹, 田中 博也², 加藤 保之³

Yoshiaki TOYODA¹, Hiroya TANAKA², Yasuyuki KATO³

Abstract: The purpose of this study is to investigate the physical properties of catheter, which made of soft nylon resin and is reinforced with thin stainless wires so called braid. In our previous study, the buckling tests under uni-axial loading have been carried out with various deformation speeds, and the relation between the phenomenon of stress relaxation and the buckling load has been revealed. In this paper, the buckling load obtained under initial torsion is estimated by changing the speeds of the axial displacement, and the relation between the buckling region and the axial deformation speed is examined.

1. 緒言

これまで軸力(単軸状態の圧縮荷重)を加える際に発生する座屈挙動を, 変形速度を種々に変えて調べ, 応力緩和現象と座屈荷重の関係を解明してきた. 更に前報の研究では, 軸力と捻りを同時に作用させる複合変形の状態での座屈試験を行い, それらの軸力と捻りの比率を種々に変えて, 座屈発生領域を調べてきた. その結果, 捻りの比率が増大すると座屈荷重が減少することが明らかとなった.

本報では, 軸力と捻りが同時に作用するこれまでの実験条件とは異なる初期捻りを与えた後に軸方向変位を与える変形経路の条件に対して, 軸方向の変位速度を種々に変化させて座屈荷重を調べ, 応力緩和現象と初期捻り下の座屈発生領域の関係を解明する.

2. 実験装置ならびに実験方法

2.1 実験装置と試験片の形状

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)に捻り試験機を装着することで, 圧縮と捻りを加えることができる機構となっている.

試験片の形状は, ナイロン樹脂からなる母材(外径 D_o , 内径 D_i) 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) で構成されている. なお, このブレード部は, 左右 8 本ずつ合計 16 本から構成され

ている. 表 1 には, これらの内外径やブレード径が異なる 3 種類の試験片の寸法が示されている (なお, 全ての試験片でブレードの初期織り込み角 θ_0 は 45[deg.] であり, 標点間距離 L_0 は 45[mm] を採用する).

2.2 初期捻り下の座屈実験の実験方法

上述の実験装置を用いて, 図 1 に示す 7 種類(0, 15, 30, 60, 90, 135, 175 [deg.]) の異なる初期捻りを与えた後に, その捻れ角を固定した状態で, 軸方向の変位速度を 4 通り(134, 100, 67.2, 33.6 [mm/min]) に変えて座屈発生領域を調べる.

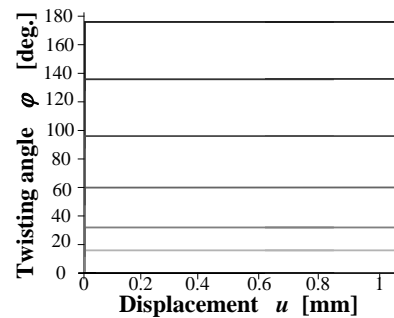


Fig.1. Test condition (axial load after torsion)

3. 実験結果と考察

3.1 軸方向の変位速度と座屈挙動の関係

図 2 は, 2.2 節の実験条件で説明した図 1 の ~ の中でも, 初期捻れ角が無く軸圧縮力のみが作用するの実験条件に対する変位と軸力の実験結果を試験片 No.2 に対して示したものである. ここで座屈荷重について説明すると, 変形速度が速い順 (, ,) に座屈荷重は高い値を示す(なお, 図中の実線が理論上の臨界座屈荷重 P_{cr} であり, 変形速度が速くなるとこ

Table 1 Diameter and ratio of area

Types of test pieces	Outsides diameter D_o [mm]	Inside diameter D_i [mm]	Diameter of braid d_b [mm]	Ratio of matrix-area [-]
Contain braid No.1	1.37	1.07	0.0508	0.921
Contain braid No.2	1.67	1.14	0.0635	0.938
Contain braid No.3	2.01	1.40	0.0635	0.962

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

の値に近づくことがわかる)。

一方で、図 3 は、図 1 の ~ の中の最も初期捻れ角の大きな の変形経路の結果を示したものであり、この場合もまた、座屈荷重は変形速度が速い順に高い値となる。

ここで図 3(の実験条件)と図 2(の実験条件)の座屈荷重を比較すると、初期捻りが生じている の座屈荷重は初期捻りが無く軸圧縮力のみが作用する の座屈荷重に比べて低い値となり、また、変形速度が遅くなるにつれて座屈荷重が減少する傾向は、初期捻りが生じている の方が に比べて小さいことがわかる。これは、ブレードの初期織り込み角 θ_0 と応力主軸の方位の相対角度が の実験条件の方が に比べて小さく、ブレードが応力緩和現象を抑制する効果が現れているためであると考えられる。

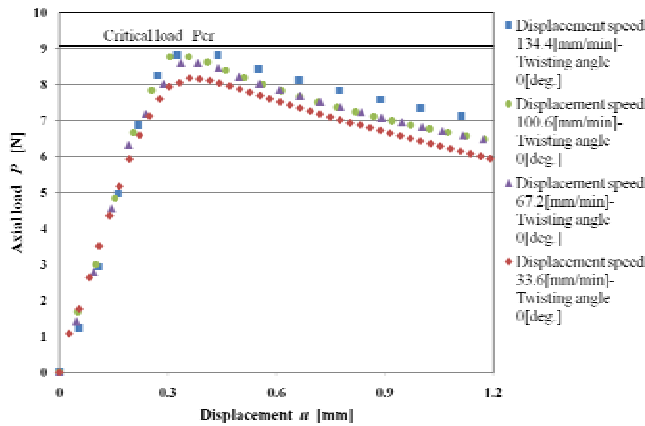


Fig.2 Buckling behavior for various speeds (in case of)

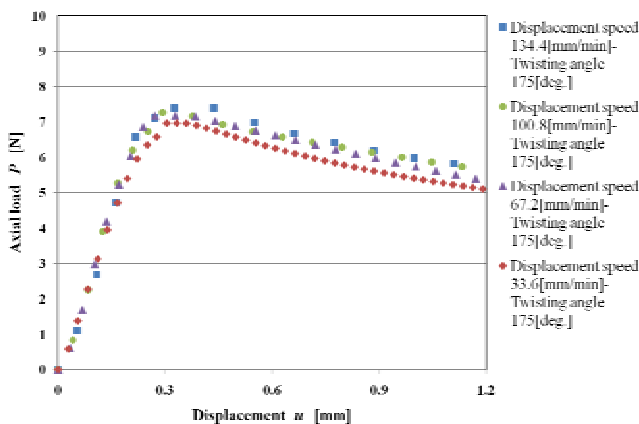


Fig.3. Buckling behavior for various speeds (in case of)

3・2 複合変形下の座屈領域

次に、図 4 は、座屈現象が発生する境界領域を推定したものである。この図で ~ のそれぞれの変形経路の軸力を伸び剛性 (AE_c/L) で除し、一方でトルクを捻り剛性 ($G_c I_{pc}/L$) で除して、軸力ならびにトルクを変位 u と

捻り角 ϕ の次元で表し、変位と捻り角の結果を重ねて表している。なお、これらの図中で塗りつぶされたプロットが内力(軸力ならびにトルク)の挙動を、一方で白抜きのプロットが変形(変位 u と捻り角 ϕ) 挙動をそれぞれ表している。そして、座屈発生時まではこれらのプロットは、ほぼ一致して重なるが、座屈が発生し始めると分岐して異なる方位となる。ここで、 ~ のそれぞれの変形経路について 4 通りの軸方向変位速度の中で最も速い 134 [mm/min] の条件(この図の赤色のプロット)と最も遅い 33.6 [mm/min] の条件(青色のプロット)に対して座屈荷重が調べられている。そして図中の破線が最も速く与えた場合、一方で一点鎖線が最も遅く与えた場合の座屈現象が発生する境界領域を表す推定曲線である。この図から変形速度を速く与えた場合の境界領域は遅く与えた場合より大きくなるが、初期捻れ角が増加するにつれてその差がわずかに縮まることがわかる。また、初期捻れ角が大きい程、応力緩和により軸方向の変位を与える過程でトルクの減少傾向があらわれる。

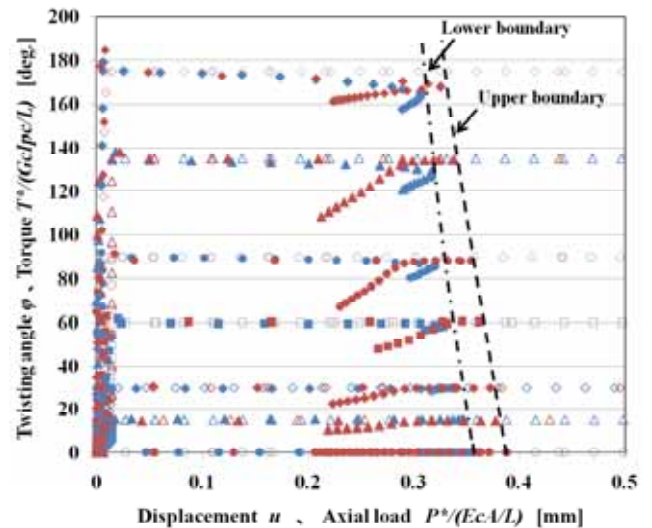


Fig.4 Buckling region (in case of axial load after torsion)

4. 結言

初期捻りを与えた状態で、軸方向の変形速度を変えて座屈荷重を調べることで、変形速度を速く与えた場合と遅く与えた場合の座屈発生領域を推定した。その結果、変形速度を速く与えた場合の境界領域は遅く与えた場合より大きくなることが明らかとなった。また、初期捻り増加とともに座屈荷重は減少傾向を示し、変形速度が遅くなるにつれて座屈荷重が減少する傾向は、初期捻れ角が大きいほど小さくなることことが明らかとなった。