



Title	結節強度の研究： . テグスの抜れによる強度減少
Author(s)	山本, 勝太郎
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 24(4), 157-170
Issue Date	1974-06
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23501
Type	bulletin (article)
File Information	24(4)_P157-170.pdf



[Instructions for use](#)

結節強度の研究

II. テグスの捩れによる強度減少*

山本 勝太郎**

Studies on the Tensile Strength of the Knot

II. Decrease of the tensile strength of nylon monofilament by the twist*

Katsutaro YAMAMOTO**

Abstract

The purpose of this study is to solve the mechanism of the tensile strength of the knot. In a previous paper, we assumed that the tensile strength decreases owing to the constriction of the net thread occurring when the knot is tied up, to the decrease of the sectional area of that place and the stress concentration in the place, and we calculated the constrictive area of the tied up circular rod and compared the values with the experimental ones.

As one reason for this decrease of the tensile strength, the twist at the knot will be considered. In this paper, we have done some experiments and theoretical consideration on the decrease of the tensile strength by the twist. The experiments were carried out, using the nylon monofilament No. 150 and No. 100, changing the number of twists in a certain length by turning a weight hanging at the end of the monofilament. The tensile strength at each number of twists is obtained in the following way; by varying the ratio of the flat chuck's gap (d) to the initial diameter (D_0) of the monofilament, we get a regression curve of tensile strength with chuck against d/D_0 , and from this curve we get a value of the tensile strength at $d/D_0=1$.

The length of the monofilament becomes shorter, its diameter thicker and its length of helix longer by the twist. These things mean that the tensile stress occurs along the helix by the twist, and this tensile stress is given as follows;

$$\sigma_h' = G \cdot \phi \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\tan \theta}$$

where, σ_h' = tensile stress along the helix
 G = modulus of rigidity (shear modulus)
 ϕ = twisting angle per unit length of monofilament
 θ = helix angle
 D = diameter of nylon monofilament.

It seems that the breaking of the nylon monofilament occurs when the sum of the tensile stress along the helix induced by the tension and the twist reaches the breaking stress.

* 昭和47年度日本水産学会春季大会で一部講演発表。

** 北海道大学水産学部漁具設計学講座
(Laboratory of Fishing Gear Design, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

結 言

網地の破断は、大部分が結節の部分で起こり、またロープなどの破断は結索部分で起こることは良く知られた事実である。

結節強度は普通引張強度の何割掛というように表現されているが、これは本目、蛙又、結びといった結節の種類によって異なってくる。この結節の種類による強度の違いは何によって起こるのであるか。結節の幾何学的形状の違いは当然その一因となるであろう。しかし、この幾何学的形状の力学的意味づけに関する研究は皆無といってよい。また、結節を作るとどのような機構で強度減少を起こすのか、このことは意外と解明されていないのが現状であろう。これは使う側にしてみれば、なぜ切れるのかなどということより、いくらで切れるのかさえ判っていれば良いということにもより、この分野の研究がほとんどなされず、もっぱら新しい素材の開発による強度の上昇に専念したためとも考えられる。

結節強度の研究は、本多¹⁾によればその数は少く、その内容も現象論的記述に止まっているようである。わずかに理論的説明として、古くに田内²⁾が表わした、結節における網糸抗張力の減少を屈曲によって解いたものがあるが、結節強度は屈曲のみによって決定されるものではなく、種々の要因が重なり合って決まるものであろう。この要因の一つとして、結節部が締めつけられることによって起こる強制クレビが考えられる。前報³⁾で著者は、クレビを生じることによって結節部の断面積が減少し、そこに応力の集中が起こるために強度が減少するのではないかと考え、丸棒の巻締めにおけるクレビ量を算出し、強制クレビによって起こる強度減少について検討した。

結節を作ると、その部分に損れが入ってくる、この損れも結節強度を決定する大きな要因の一つと考えられる。一般に材料に損れを加えると引張強度は減少する。本報では、この損れによる引張強度減少について、ナイロン・モノフィラメント 150 号と 100 号を使って、振り回数をパラメータにとり実験を行い、各振り回数における引張強度を求め、損れを加えることによって起こる強度減少機構について理論的考察を行った。

稿を進めるのに先立ち、本研究に対し終始適切なる御助言をたまわった北海道大学水産学部佐藤修教授、梨本勝昭助教授に謝意を表す。また、本実験の一部は本学部学生篠村幸広氏（現函館製網船具 K. K.）の御協力を得た合わせてここに謝意を表す。

実験材料および方法

材料 実験にはナイロン・モノフィラメント糸（商品名スーパーラインデラックス、以下テグスと呼ぶ）150号と100号を使用した。無荷重時の初期直径は、それぞれ約2.02mmと1.72mmであった。これらの引張試験（島津万能試験機 RH-10 型、フルスケール 500kg、最小目盛 0.5kg、引張速度 1.0mm/sec、室温 12~14°C、湿度 65~70%）による応力とひずみの関係を Fig. 1 に示す。横軸に縦ひずみを、縦軸には断面積の減少を考慮した真の応力をとってある。図を見てわかるように、応力とひずみには直線関係はなく右上りの曲線を描く。このことは、縦弾性係数（ヤング率）が一定ではなくひずみによって変化していることを意味する。また、直径の変化から求めた横ひずみと縦ひずみとの関係を Fig. 2 に示す。これから横ひずみと縦ひずみとの比、すなわちポアソン数を求めると、150号が1.95、100号で2.18となった。なお、直径はマイクロメーターで、伸びはノギスを使って測定した。150号と100号は大体同じような材料力学的特性を持っていることがわかる。

真の強度の推定方法 引張試験機を使って強度を求める場合、一番問題になるのはチャック切れであろう。与えられた材料の強度（真の強度）を求めようとする時に、チャック切れを起こす限り、得られた強度は実はチャック切れ強度を示していることになる。そして、このチャック切れ強度は、チャックの形状、チャックの締め具合によって大きく影響される。このチャック切れを防止するために

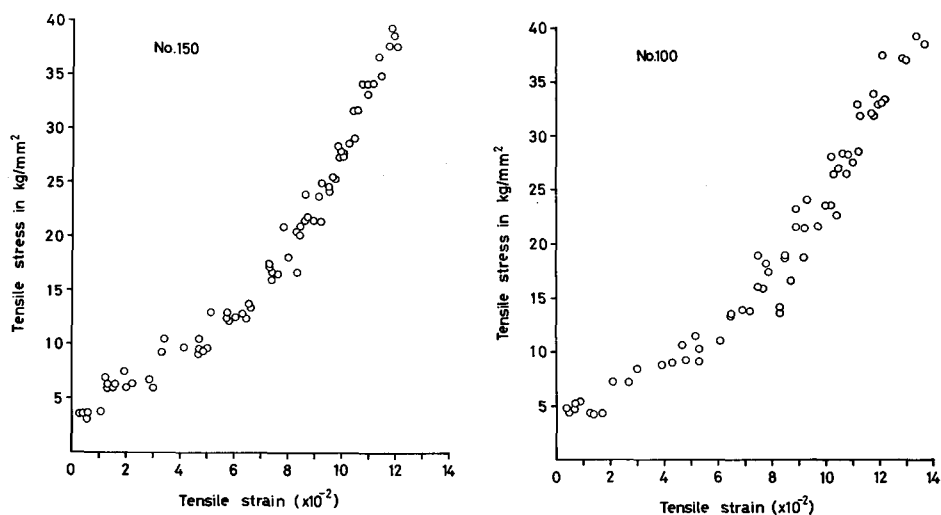


Fig. 1. Stress-strain diagrams of used nylon monofilament No. 150 (left) and No. 100 (right), under conditions with experimental room temperature 12-14°C and humidity 65-70%.

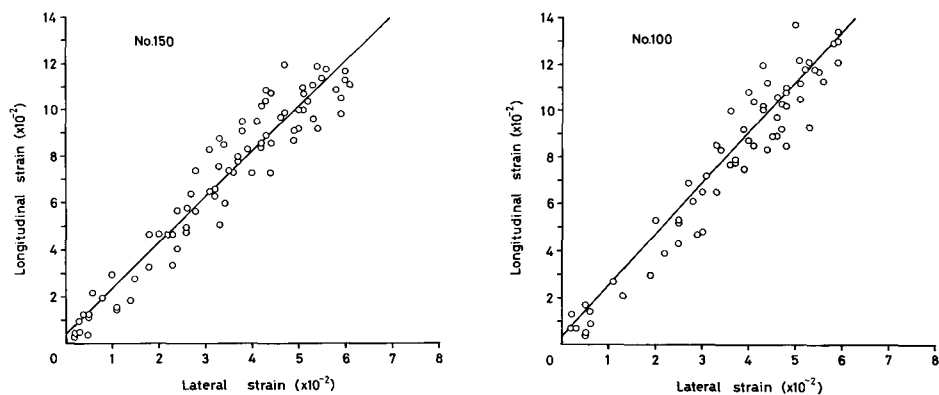


Fig. 2. Relation between lateral strain and longitudinal strain of used nylon monofilament No. 150 (left) and No. 100 (right). The gradients of regression lines are 1.95 (left) and 2.18 (right).

は、金属材料でやられているように試験片の中央部を細くして引張る方法もあるが、それでは換りを与えた時の強度の推定が困難である。ここでは、どうしてもチャック切れが避け難いものなら、逆にこのチャック切れ強度を使って真の強度を推定することを試みた。すなわち、平チャックの間に厚さの判っている鉄板をはさみ込み、テグスを鉄板の厚さまで十分に圧縮し、チャックの間隙 d を種々に変えて、チャック切れ強度を測定し、横軸にチャック間隙 d とテグスの初期直径 D_0 との比 d/D_0 をとり、縦軸にその時のチャック切れ強度 F をとれば、 d/D_0 と F との関係から、 $d/D_0=1$ の時のチャック切れ強度、すなわち真の強度が推定出来ることになるであろう。

実験方法 全長約 70 cm のテグスの一端 10 cm を平チャックにはさみ、あらかじめ平チャックにはさみこんだ鉄板の厚さまで ($d=1.6, 1.4, 1.2, 1.0, 0.80$ mm) テグスを十分に圧縮し (約 8 トンでプレス)、次いで平チャックを試験機に固定し、試料の長さを 50 cm にとったもう一端に定荷重 (1.5 kg) の錘りをつけて、これを回転させることにより振れを与えた。振り回数 N は、0, 10, 20, 30, 35, 40, 45 の 7 通りをとった。振れを与えたテグスは、振れを戻さないようにしながら、平チャックからの引張り長さを 10 cm にとって試験機に固定し引張った。この時の引張速度は 1.0 mm/sec, 室温、湿度は引張試験の時と同じ 12~14°C, 65~70% で行った。実験状況を Fig. 3 に示す。

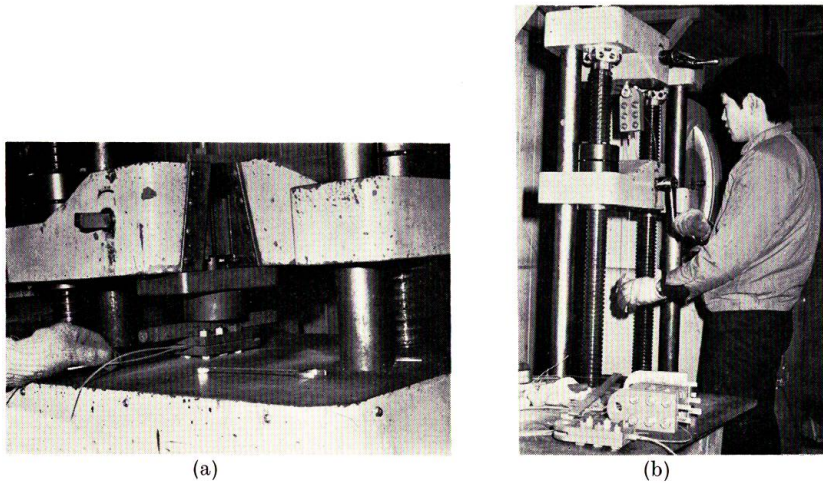


Fig. 3. Photographs of experimental circumstance. (a) Compression of nylon monofilament in the flat chuck to thickness of the iron plate. (b) Stretch of nylon monofilament by tensile machine.

実 験 結 果

テグス 150 号と 100 号について、チャック間隙 d , 振り回数 N をそれぞれ変えてチャック切れ強度を求めた結果を Table 1 に示す。各々の値は 10 本の試料の平均値を示す。これを平チャック間隙

Table 1. *Experimental values of tensile strength (kg) with chuck at N twisted nylon monofilament by varying ratio of flat chuck's gap (d) to initial diameter (D_0). Each value is an average of ten measurements. Left column is No. 150 and right column is No. 100.*

N	No. 150					No. 100			
	d/D_0					d/D_0			
	0.40	0.50	0.59	0.69	0.79	0.47	0.58	0.70	0.81
0	56.2	68.6	74.3	82.7	97.4	49.8	55.3	66.8	76.5
10	60.4	66.1	77.9	84.6	95.4	48.9	54.2	66.6	73.5
20	60.3	65.6	75.3	81.0	88.0	47.6	52.8	66.1	71.8
30	57.5	68.0	71.9	78.3	80.9	50.1	53.0	64.4	66.7
35	54.6	64.8	68.7	72.5	75.9	—	—	—	—
40	51.4	56.9	62.2	64.1	68.1	47.6	49.8	54.8	61.1
45	49.9	55.4	59.2	62.4	64.4	45.7	50.6	53.7	56.3

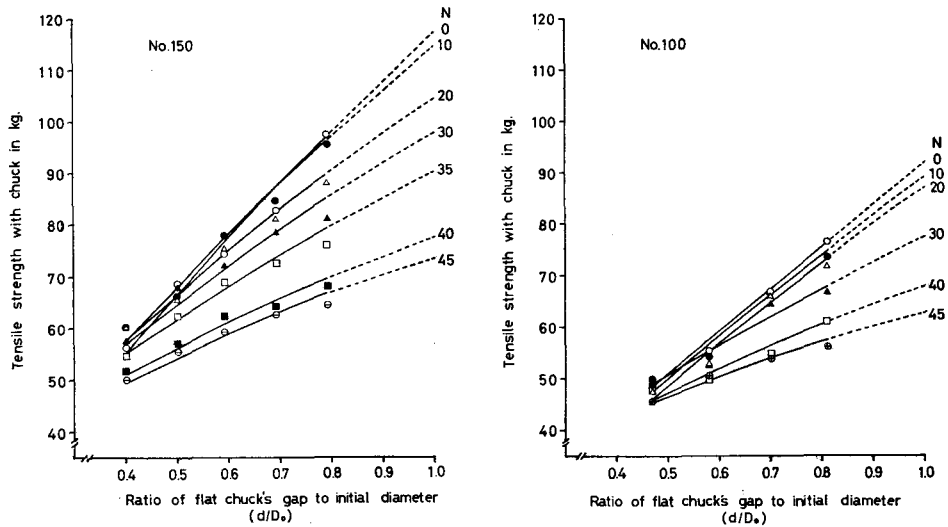


Fig. 4. Tensile strength with chuck of each number of twists (N) at various ratio of flat chuck's gap (d) to the initial diameter (D_0) of nylon monofilament No. 150 (left) and No. 100 (right). Dashed lines are the extension of regression curves to $d/D_0=1$. Each point is an average of ten measurements.

Table 2. Assumed values of tensile strength (kg) of each number of twists (N) at $d/D_0=1$. Left column is No. 150 and right column is No. 100.

N	No. 150	No. 100
0	117.2	91.8
10	114.6	89.1
20	104.5	87.1
30	97.7	77.5
35	90.2	—
40	77.3	67.9
45	73.8	63.0

Table 3. Assumed values of tensile strength(kg) that were obtained from the regression curve of tensile strength with chuck at $d/D_0=1$ against the number of twists (N). Left column is No. 150 and right column is No. 100.

N	No. 150	No. 100
0	117.2	91.8
10	114.3	89.5
20	106.9	84.8
30	95.8	78.2
35	88.8	—
40	81.0	70.2
45	72.5	65.6

比 d/D_0 を横軸にとって図にしたのが Fig. 4 である。振り回数 N の各々について得られた 5 つ (100 号については 4 つ) の点から回帰曲線を求め、 $d/D_0=1$ まで延長した時の縦軸の値が、チャックの影響を受けない捩れを与えられた時のテグスの真の強度 F_{0n} と推定される。このようにして求めた各振り回数における強度の推定値を Table 2 に示す。Fig. 5 は横軸に振り回数 N をとって Fig. 4 を書きかえたものである。一番上の点線で示した回帰曲線は $d/D_0=1$ の時の強度の推定値 F_{0n} から求めたものである。この回帰曲線からもう一度真の強度 F_{0n} を求め直した値を Table 3 に示す。Fig. 4, Fig. 5 で実験値が同じ d/D_0 において振り回数の大きなものの値が小さいものの値よりも大きくなっている点があるが、この原因については、実験回数が少なかったためなのか、あるいは製品

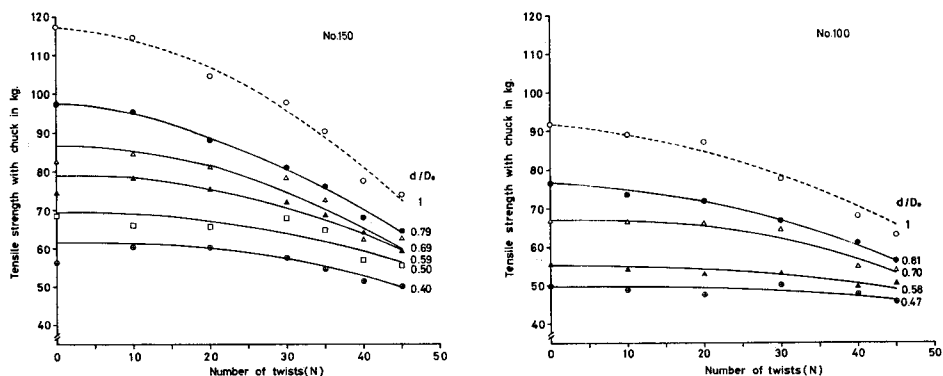


Fig. 5. Tensile strength with chuck of each ratio of flat chuck's gap (d) to the initial diameter (D_0) of nylon monofilament No. 150 (left) and No. 100 (right) at various numbers of twists (N). Dashed line are the regression curves that are obtained from the values at $d/D_0=1$ in Fig. 4.

化される過程でテグ스에 捩れが加わり、その捩れが残留していたものなのか、またはその他の原因によるものなのか判りしなかった。このような疑問に答えるためには実験回数を増してやると共に、今回の実験では、捩れを与えるのに一方向にしかテグ스를回転しなかったが、逆の方向に回転して捩れを与えることもあわせて行う必要がある。

考 察

平チャックの間隙比 d/D_0 を色々にとることによって、チャックの影響を受けない、捩りを与えられた時のテグスの真の強度 F_{0m} を推定することが出来た。また、チャック間隙比 d/D_0 とチャック切れ強度との関係を見ることが出来たが、このチャック切れ強度の詳しい検討は次報で行いたい。本報では、チャックの影響を受けない、すなわち $d/D_0=1$ の時の各捩り回数 N における真の強度の推定値 F_{0m} (Table 3 の値) をテグスが捩れを受けた時の引張強度と見なし、この強度と捩れとの関係を考察する。150号と100号では大体同じような材料力学的特性を持っているので、ここでは主に150号について考察を加え、最後に100号についても言及する。

テグ스에 捩れを与えて引張った時の引張荷重と伸び、直径の関係がどのようにになっているかをまず知る必要がある。そこで、先の実験とは別に捩れを与えて引張った時の引張荷重と長さ、および直径の変化を、試料長を100mmにとり、各々について10本ずつ測定した。得られた測定値の平均をとり、これを5倍して、先の実験と合わせるために、試料の長さを500mmにとった場合に換算した値をTable 4に示す。これを図に示したのがFig. 6, 7である。Table 4には、Fig. 6, 7から求められる各捩り回数の引張強度 F_{0m} における切断時のテグスの長さ、直径の推定値もあわせてのせてある。図を見てわかるように、テグスは捩られることによって、一担太く短くなり、その後引張られることにより、細く長くなっている。従って単位長さ当りの捩れ数は、テグスの伸びとともに当然変化している。また、同じ引張荷重に対しては、捩り回数の大きいもの程、長さは短く直径は太くなっている。同図左には、捩れだけを与えた時のテグスの長さ、直径、また切断時のテグスの長さ、直径の推定値を、横軸に捩り回数 N をとって示した。捩れを与えた後、引張って切断するまでの伸びそのものは各捩り回数ともほぼ同じになっている。また、直径の縮みそのものもほぼ同じようである。

Table 4. Values of length (mm) and diameter (mm) of *N* twisted nylon monofilament No. 150 at various tensile loads. Each value is an average of ten measurements. Upper column shows length and lower column, diameter.

N	Tensile load (kg)										Assumed value at beraking
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
0	<i>L</i> =500.0	501.6	509.2	522.9	531.9	536.0	542.1	546.6	549.7	554.2	562.0
	<i>D</i> =2.019	2.012	1.985	1.972	1.951	1.932	1.921	1.917	1.910	—	1.890
10	498.8	503.3	516.0	526.7	533.7	540.4	545.4	551.2	552.7	555.7	560.6
	2.027	2.005	1.983	1.971	1.956	1.944	1.936	1.930	1.918	1.913	1.895
20	493.9	495.4	509.9	522.0	531.9	535.9	539.8	544.3	546.3	550.9	555.4
	2.040	2.024	2.001	1.975	1.966	1.956	1.947	1.939	1.931	1.922	1.910
30	484.4	487.8	501.4	511.5	523.4	528.0	533.8	536.7	541.6	545.7	547.4
	2.061	2.052	2.023	2.004	1.980	1.970	1.960	1.951	1.938	1.933	1.923
35	477.6	—	498.1	—	519.9	525.4	528.2	533.9	540.6	—	542.1
	2.069	—	2.021	—	1.981	1.971	1.961	1.953	1.941	—	1.935
40	469.3	—	491.1	—	512.9	—	523.0	—	—	—	532.2
	2.094	—	2.040	—	1.997	—	1.979	—	—	—	1.957
45	459.6	466.0	478.4	498.2	507.4	511.3	520.7	—	—	—	524.9
	2.114	2.094	2.068	2.020	2.008	1.994	1.984	—	—	—	1.967

L: length *D*: diameter

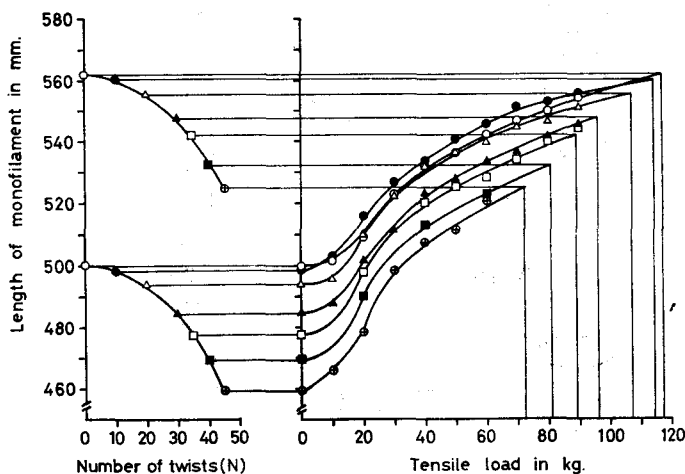


Fig. 6. Change in length of the twisted nylon monofilament No. 150 during the stretching process (right), length at only twist before stretch and assumed length at breaking tensile load (left). Where \circ : ($N=0$), \bullet : (10), \triangle : (20), \blacktriangle : (30), \square : (35), \blacksquare : (40), \circ : (45).

Fig. 6, 7 から損れを与えて引張った時のテグスの長さ、直径変化を模式的に考えたのが Fig. 8 である。図 (a) で表面に示した直線上の点 A, B が *N* 回の損れを与えられた図 (c) で、丁度 A の点が 1 回転して B と再び一直線上に並んだとすれば、図 (a) の直線は図 (c) のような螺旋を描くことになる。この 1 ピッチ分を展開すると、同図 (e) のようになる。一般にテグスの直径を *D*, 長さを *L*, 損

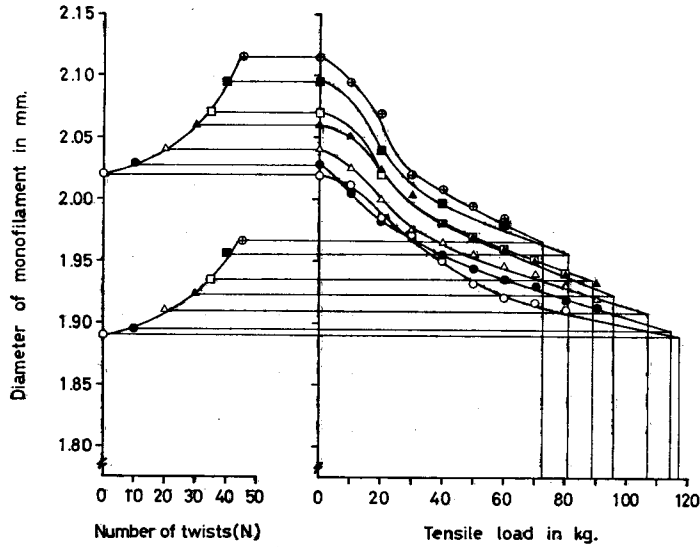


Fig. 7. Change in diameter of the twisted nylon monofilament No. 150 during the stretching process (right), diameter at only twist before stretch and assumed diameter at breaking tensile load (left). Where \circ : ($N=0$), \bullet : (10), Δ : (20), \blacktriangle : (30), \square : (35), \blacksquare : (40), \circ : (45).

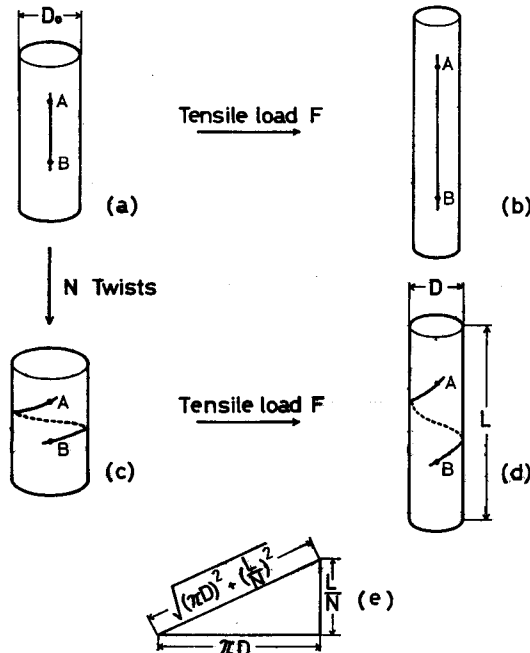


Fig. 8. Schematic figures of twisting and stretching processes of nylon monofilament. (a): initial state, (b): stretching state without twist, (c): twisting state without stretch, (d): stretching state with twist, (e): developmental figure of one turn of twist.

り回数を N とすれば, 1 回転に要する螺線の長さ h は,

$$h = \sqrt{(\pi D)^2 + \left(\frac{L}{N}\right)^2}$$

と書き表わされる。従って N 回転する時の螺線の全長 H は,

$$H = \sqrt{(\pi DN)^2 + (L)^2} \quad (1)$$

となる。この螺線の長さ H を Table 4 の値を使って (1) 式により計算した結果が Table 5 であり, Fig. 6 と同様の図にしたのが Fig. 9 である。Fig. 6 と比較して, 捩りだけを与えた場合, Fig. 6 では軸方向の長さは短くなっているが, Fig. 9 の螺線の長さは逆に長くなっている。このことは, テグスが捩られることによって螺線方向に引張力を受けていることを示唆している。この螺線の伸び率と, その時の引張力 F による螺線方向の引張応力 σ_h の関係を図示したのが Fig. 10 である。ここで

Table 5. Values of length (mm) of helix of N twisted nylon monofilament No. 150 at various tensile loads. Each value was calculated by the values given in Table 4.

N	Tensile load (kg)										Assumed value at breaking
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
0	500.0	501.6	509.2	522.9	531.9	536.0	542.1	546.6	549.7	—	562.0
10	502.8	507.2	519.7	530.3	537.2	543.8	548.8	554.5	556.0	558.9	563.8
20	510.3	511.5	525.2	536.6	546.1	549.8	553.5	557.8	559.6	564.0	568.2
30	521.9	524.7	536.4	545.3	555.7	559.7	564.9	567.3	571.6	575.3	576.6
35	529.0	—	545.4	—	563.7	568.4	570.5	575.5	581.2	—	582.4
40	538.1	—	554.0	—	571.0	—	579.1	—	—	—	586.3
45	548.2	552.1	560.7	574.3	581.4	583.9	591.5	—	—	—	594.0

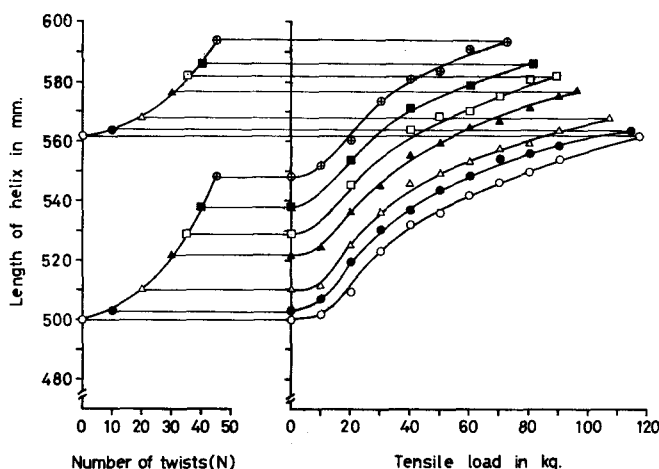


Fig. 9. Change in length of helix of the twisted nylon monofilament No. 150 during the stretching process (right), length of helix at only twist before stretch and length of helix at breaking tensile load (left). Where \circ : ($N=0$), \bullet : (10), \triangle : (20), \blacktriangle : (30), \square : (35), \blacksquare : (40), \circ : (45).

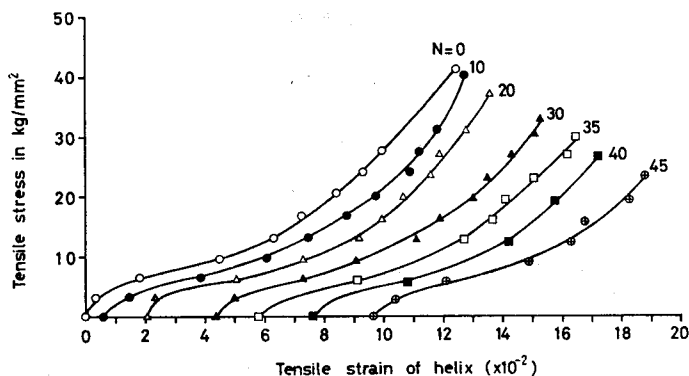


Fig. 10. Relation between tensile stress and tensile strain of helix of the twisted nylon monofilament No. 150 during the stretching process. Where \circ : ($N=0$), \bullet : (10), \square : (20), \blacksquare : (30), \blacktriangle : (35), \blacktriangleleft : (40), \circ : (45).

引張応力 σ_h は、テグスを展開した Fig. 11 で考えれば、点 D に引張力 F が作用している時、この F の螺旋方向の分力 F_h を、螺旋方向に直角な断面積 S_h で割ることによって考えられる。

$$\begin{aligned}
 F_h &= F \cdot \sin \theta \\
 S_h &= S \cdot \sin \theta \\
 \sigma_h &= F_h / S_h = F / S = \sigma \quad (2)
 \end{aligned}$$

すなわち、引張力 F による螺旋方向の引張応力 σ_h は、軸方向の引張応力 σ に等しくなる。Fig. 10 を見てわかるように螺旋の伸び率は、換れを与えない引張りだけの時の伸び率に比して、 N の大きい程伸び率は大きく、切断時の伸び率は各換回数 N で異なっており一定になっていない。また、引張力 F による引張応力 σ_h が 0 の時でも、換れを与えられたものは、すでに螺旋方向にひずみを生じている。これはテグスに換れを与えるだけで螺旋方向に引張応力を生じていることを意味する。従って、実際の螺旋方向の引張応力は、引張力 F による螺旋方向の引張応力 σ_h に、換れを与えることによって生じる螺旋方向の引張応力を加えたもので考えなければならないと思われる。

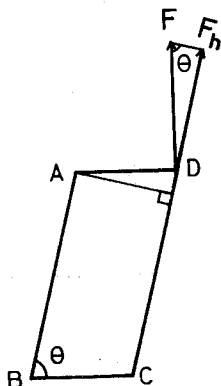


Fig. 11. Geometry of developed helix of nylon monofilament. Where F : tensile force, F_h : component along helix of tensile force, θ : helix angle.

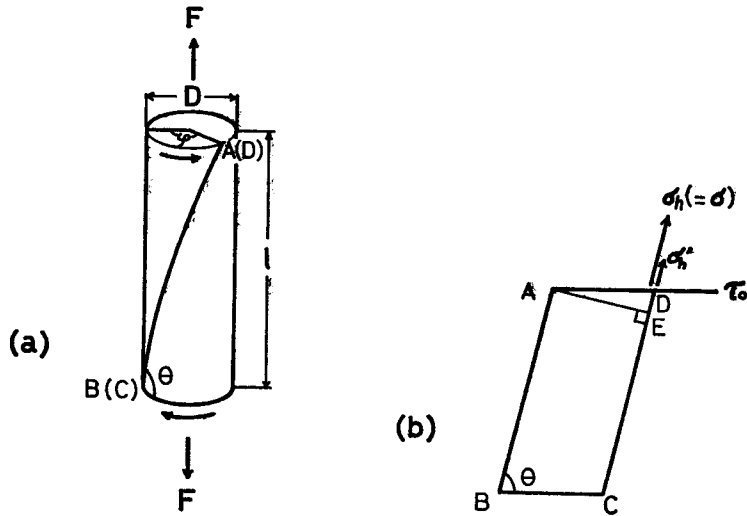


Fig. 12. (a) Model of twisted nylon monofilament with stretch. (b) Geometry of developed helix of the above (a). Where τ_0 : shear stress, $\sigma_h (= \sigma)$: tensile stress along the helix by tensile force, σ_h' : tensile stress along the helix by shear force.

今、振れを与えながら引張ったテグスの一部分をとり出して模式的に描いたのが Fig. 12 である。同図 (a) において、直径 D 、長さ l のテグスが、振りモーメントの作用により、上端が下端に比して相対的に ϕ だけ振れているとすれば、この時のテグスの外表面におけるせん断ひずみ γ は、

$$\gamma = \frac{D}{2} \cdot \frac{\phi}{l}$$

と表わされる⁴⁾。ここに ϕ/l は単位長さ当りの振れ角であって、これを ϕ とおけば、上式は、

$$\gamma = \frac{D}{2} \cdot \phi \quad (3)$$

と書ける。従って、この時の外表面に働くせん断応力 τ_0 は、横弾性係数を G として、

$$\tau_0 = G \cdot \gamma = G \cdot \phi \cdot \frac{D}{2} \quad (4)$$

と表わされる。次に、同図 (b) に示すように、(a) 図を展開して幅の方向に単位長さをとって考えるならば、BC 面に作用するせん断力は、

$$\tau_0 \cdot \overline{BC \times 1}$$

で表わされ、このせん断力の螺旋方向成分は、

$$\tau_0 \cdot \overline{BC \times 1} \cdot \cos \theta$$

で表わされる。さて螺旋方向に直角な BE 面の面積は、

$$\overline{BC \times 1} \cdot \sin \theta$$

となるから、この面に作用する引張応力 σ_h' は次式で表わされる。

$$\sigma_h' = \frac{\tau_0 \cdot (\overline{BC} \times 1) \cdot \cos \theta}{(\overline{BC} \times 1) \cdot \sin \theta} = \tau_0 \cdot \frac{1}{\tan \theta} \quad (5)$$

従って、螺線方向の引張応力は、この捩れによる螺線方向の引張応力 σ_h' と引張力 F による引張応力 σ_h を加えたものになる。そして、この2つの引張応力の和が、破断応力に達すれば、テグスは切断するものと考えられる。そこで、各振り回数 N の切断時における捩れによる螺線方向の引張応力 σ_h' を計算によって求め、これと引張強度 F_{0N} による引張応力 σ_h との和が、捩れを与えないで引張った時の引張破断応力 σ_b とどの程度に合っているかを検討した。

(4) 式における単位長さ当りの振り角 ϕ は、振り回数 N とテグスの長さ L から次式によって求めることが出来る。

$$\phi = \frac{2\pi \cdot N}{L} \quad (6)$$

また、螺線角 θ は、

$$\tan \theta = \frac{L}{\pi \cdot D \cdot N} \quad (7)$$

から求めることが出来る。さらに、横弾性係数 G と縦弾性係数 E との間には、ポアソン数を m として、一般に次式の関係がある。

Table 6. Comparison between the breaking tensile stress and the sum of tensile stress along

Twisted number N	Tensile strength F_{0N} (kg)	Length L (mm)	Diameter D (mm)	Tensile stress σ_h (kg/mm ²)	Tensile strain of helix ϵ ($\times 10^{-2}$)
0	117.2	562.0	1.890	41.8**	12.4
10	114.3	560.6	1.895	40.5	12.7
20	106.9	555.4	1.910	37.3	13.6
30	95.8	547.4	1.923	33.0	15.3
35	88.8	542.1	1.935	30.2	16.5
40	81.0	532.2	1.957	26.9	17.2
45	72.5	524.9	1.967	23.8	18.8

* calculated with Poisson's number 1.95

Table 7. Comparison between the breaking tensile stress and the sum of tensile stress along

Twisted number N	Tensile strength F_{0N} (kg)	Length L (mm)	Diameter D (mm)	Tensile stress σ_h (kg/mm ²)	Tensile strain of helix ϵ ($\times 10^{-2}$)
0	91.8	575.0	1.607	45.3**	15.0
10	89.5	572.9	1.610	44.0	15.0
20	84.8	572.1	1.613	41.5	16.2
30	78.2	565.7	1.620	37.9	17.2
40	70.2	560.0	1.635	33.4	19.3
45	65.6	556.0	1.645	30.9	20.5

* calculated with Poisson's number 2.18

$$G = \frac{m \cdot E}{2(1+m)} \quad (8)$$

ところで、先にも指摘したように、このテグスの場合、引張応力とひずみとは直線関係にはなく、縦弾性係数 E は一定ではない。従って、今便宜上破断応力 σ_b を、各振り回数 N における切断時の螺線のひずみ ε_h で割ったものを、すなわち、次式で与えられる値を、各振り回数 N における見掛け上の縦弾性係数 (ヤング率) として使用した。

$$E = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_h} \quad (9)$$

以上の諸式を使って、捩れによる螺線方向の引張応力 σ_h' を計算によって求めた。その結果を、計算過程とともに、150号については Table 6 に、また100号については Table 7 に示す。計算結果を見てわかるように、引張力 F による螺線方向の引張応力 σ_h と捩れによって生じる螺線方向の引張応力 σ_h' との和は、150号、100号とも $N=0$ のときのテグスの破断応力 σ_b とほとんど一致している。以上のことより、捩れを与えて引張った時の切断は、引張力による螺線方向の引張応力と捩れによって生じる螺線方向の引張応力の和が、破断応力に達した時に起こると考えられる。われわれが普通に引張強度といっているのは、2つの応力のうち、軸方向の引張力による応力のみをとり出しているのであって、螺線方向で考えれば、引張強度はなんら減少していないといえる。

the helix induced by the tension and the twist of nylon monofilament No. 150 at breaking.

Young's modulus E (kg/mm ²)	Shear modulus* G (kg/mm ²)	Twisting angle ϕ ($\times 10^{-4}$)	Shear stress τ_0 (kg/mm ²)	$\tan \theta$ $\frac{L}{\pi DN}$	Tensile stress σ_h' (kg/mm ²)	Sum of tensile stress $\sigma_h + \sigma_h'$ (kg/mm ²)
337	111	0	0	∞	0	41.8
329	109	$178 \times 2\pi$	11.5	9.44	1.22	41.7
307	101	360	21.8	4.63	4.71	42.0
273	90.2	548	29.8	3.02	9.87	42.9
253	83.6	645	32.9	2.55	12.9	43.1
243	80.3	751	36.9	2.17	17.0	43.9
222	73.4	857	38.6	1.89	20.4	44.2

** breaking tensile stress ($=\sigma_b$)

the helix induced by the tension and the twist of nylon monofilament No. 100 at breaking.

Young's modulus E (kg/mm ²)	Shear modulus* G (kg/mm ²)	Twisting angle ϕ ($\times 10^{-4}$)	Shear stress τ_0 (kg/mm ²)	$\tan \theta$ $\frac{L}{\pi DN}$	Tensile stress σ_h' (kg/mm ²)	Sum of tensile stress $\sigma_h + \sigma_h'$ (kg/mm ²)
302	104	0	0	∞	0	45.3
302	104	$174 \times 2\pi$	9.15	11.4	0.805	44.8
280	96.0	349	17.0	5.65	3.00	44.5
263	90.1	530	24.3	3.71	6.55	44.5
235	80.6	714	29.5	2.73	10.8	44.2
221	75.8	809	31.7	2.39	13.3	44.2

** breaking tensile stress ($=\sigma_b$)

本計算において使用した諸式は、あくまでも完全弾性体において成立つ式であって、このテグスの場合、応力とひずみとは直線関係にはなく、粘弾性的挙動を示す。従って、上記の諸式を使うことは本来できないといえる。しかし、本論文においては、なるべく簡単な式で、しかも明解に捩れによる引張強度機構を説明することを第一に考え、応力とひずみとの関係が一次式で表わせるように縦弾性係数を決定することで、全体として、弾性論的取扱いができるようにして計算を行った。このような取扱いが妥当か否かは今後さらに検討する所存である。

要 約

1) ナイロン・テグス 150 号と 100 号を使って、一定長に加える振り回数を種々に変えて、その引張強度を求めた。

2) 平チャックの間隙 d とテグスの初期直径 D_0 との比を変えて得られたチャック切れ強度から回帰曲線を求め $d/D_0=1$ の値を計算し、これを各振り回数における引張強度とした。

3) テグスは捩られることによって、長さは短くなり、直径は太くなる。その割合は、振り回数が大きくなる程大きくなっている。一方螺線の長さは、捩れを与えられるだけで伸びており、振り回数が大きくなる程その伸びは大きくなっている。

4) 捩れを与えることによって、螺線方向に引張応力 σ_h' を生じ、その大きさは、テグスの直径を D 、単位長さ当りのねじれ角を ϕ 、螺線角を θ 、横弾性係数を G とすれば、次式によって表わされる。

$$\sigma_h' = G \cdot \phi \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\tan \theta}$$

5) 捩れを与えて引張った時のテグスの切断は、引張力 F による螺線方向の引張応力 σ_h と捩れを与えることによって生じる螺線方向の引張応力 σ_h' の和が破断応力 σ_b に達した時に起こると考えられる。

6) われわれが普通に引張強度といっているのは、軸方向の引張力による応力のみをとり出しているのであって、螺線方向で考えれば、引張強度はなんら減少していないといえる。

文 献

- 1) 本多勝司 (1969). 網糸の性質. 日水誌 35, 1220-1237.
- 2) 田内森三郎 (1931). 結節に於ける網糸抗張力の減少. 水講試報 26, 41-51.
- 3) 山本勝太郎 (1972). 結節強度の研究 I. クビレ量の算出. 北大水産集報 23, 94-101.
- 4) 津村利光・小玉正雄 (1967). 材料力学. 248p. 共立出版, 東京.