



Title	網糸の曲げによる破断引張強度の変化(Ⅰ)：モノフィラメントの網糸について
Author(s)	佐藤, 修; SATO, Osamu; 梨本, 勝昭 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 24(4), 171-178
Issue Date	1974-06
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23502
Type	departmental bulletin paper
File Information	24(4)_P171-178.pdf



網糸の曲げによる破断引張強度の変化 (I)

モノフィラメントの網糸について*

佐藤 修**・梨本 勝昭**・山本 勝太郎**

Change of Breaking Tensile Strength of Thread by Bending (I)

Thread of monofilament

Osamu SATO**, Katsuaki NASHIMOTO** and Katsutaro YAMAMOTO**

Abstract

The test of tensile strength of the thread, as many samples break at a chuck that keeping it, can hardly be measured exactly. It is very important from the viewpoint of the strength of materials that this strength be measured exactly. It became known that the tensile strength of the thread decreases on account of deformation by compressive stress, bending stress and torsional stress.

In this paper, the authors study analyse the decreasing mechanism of tensile strength of thread by bending, and estimate accurately this strength. Nylon 6 monofilament of various diameters was used as test piece. The experiment consisted in testing with several kinds of bending curvature. From this experiment, the following results were obtained.

1 The breaking tensile strength of Nylon 6 monofilament decreased by bending deformation.

2 The experimental formula of breaking tensile stress of Nylon 6 monofilament to give bending deformation is as follows,

$$\sigma_x = 0.24E \left\{ 1 - \left(\frac{d}{d+D} \right)^{1.3} \right\}$$

where, σ_x : breaking tensile stress of bending thread

E ; Young's modulus

d ; diameter of thread

D ; diameter of cylinder

Therefore, the breaking tensile stress of thread that did not deform by bending is calculated accurately by this formula.

3 The decrease of breaking tensile stress of thread of monofilament by bending is caused by bending stress and compressive stress inside of this position.

緒 言

網糸の引張強度を調べようとする時には、資料を引張試験機のチャック部分で挟み、平行する二枚のチャックで側圧をかけ、静摩擦力で把持して、破断するまで、長軸方向の力を加えて行なっている。

* 日本水産学会春季大会 (昭和47年4月) にて講演発表した。

** 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)

この時、網糸資料はチャックによって作用する側圧で弱まり、材料はこの部分で切断してしまい、長軸方向の真の破断引張強度を知ることはできない。このため、金属材料などの試験では、チャックで把持される部分の断面積を増加させた特別な試験用の資料を作製して用い、この問題を解決している。しかし、網糸についてはこのような特別な資料を作製して利用することは困難であるので、網糸を対象にした試験では、チャックと網糸間の摩擦係数を大きくしたり、チャックの長さを増加させたりなどして、できるだけ資料をおさえる側圧を小さくしながら、静摩擦力を増大させ、保持できるように工夫を行い、チャック部分による切断現象を防止する試みが古くから行なわれてきているが、この問題は今だに解決されていないのが現状であろう。一般に網糸材料に曲げ、振り、圧縮などを強制的に与えると長軸方向の破断引張強度は減少することが良く知られている。特に、田内¹⁾は燃糸について、網糸が結節で切断する機構を詳しく考究解析し、強制的な曲げを与えることによって長軸方向の強度減少が起こることを指摘している。網糸の長軸方向の真の破断引張強度は材料の力学的特性を知る上には最も重要と思われるので、ここではモノフィラメントの網糸材料を用いて強制的に曲げを与えて引張り、曲げによって起こる引張強度の減少機構を明らかにし、同時にこの性質を利用して、長軸方向の真の破断引張強度を推定することを目的として本実験を行なった。

実験材料および方法

実験に供した網糸資料は、ナイロン・6モノフィラントで、直径が約 0.7~2.0mm の範囲について 5種類 (18号, 40号, 60号, 100号, 150号) である。用いた資料の直径やヤング率などについては Table 1 に掲げる。同じ製造所の資料を使ったが、若干ヤング率の値は異なっていた。なお、ヤング

Table 1. Thread of Nylon 6 monofilament used for experiment.

No.	Diameter (mm)	Sectional area (mm)	Young's modulus (kg/mm)*
150	1.99	3.09	184
100	1.75	2.40	160
60	1.31	1.35	160
40	1.06	0.88	212
18	0.76	0.40	160

* These values are measured at 10°C.

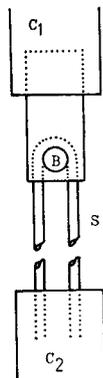


Fig. 1. Schematic illustration of apparatus for bending thread. C₁, C₂; chuck B; cylinder of iron S; sample (thread)

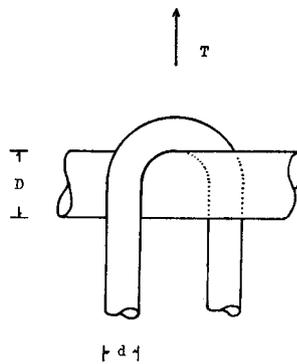


Fig. 2. Schematic diagram of bending condition of thread. d; diameter of thread D; diameter of cylinder for bend T; tensile strength

率の測定は破断引張強度の1/2の応力を与えた時の伸び率を測定し求めた。実験は試験機（10 t型万能試験機）の上端チャック部分に網糸を強制的に曲げる簡単な装置を設置し行なった。この装置の概略を Fig. 1 に示す。また、曲げられている網糸の状態を Fig. 2 に示す。測定は網糸を直径 D の鉄棒に沿わせて180度曲げて接触させ、その他端を平行に揃えて、資料の長さを10cmにとり、試験機の下部のチャックに直接挟み引張り、材料が曲げた部分で切断する時の引張強度を求めた。また、実験は直径の異なる網糸別に鉄棒の直径をそれぞれ変えて、曲げる曲率半径と破断引張強度との関係について調べた。なお、引張試験の速度は約1.4 mm/secで行なった。測定は1資料について15回行ない、その平均値を求め表示した。また、資料は乾燥した状態で行なった。なお、実験中の気温は約10~13°C、湿度は約54~70%の範囲であった。

実験結果および考察

曲げた網糸の破断引張強度と強制的に曲げた直径 D や網糸の直径 d との関係、異なる直径の網糸別に求め、整理した結果を Fig. 3 に示す。それぞれの測定値はかなり変動するが、どの直径の網糸でも、曲げによって破断引張強度は減少し、曲げる曲率が小さくなり、 d/D の値が増加すれば破断引張強度は減少することが判った。しかし、曲げる直径 D の値をあまり大きくし、 d/D の値が小さくなると、曲げた部分での強度減少よりチャックで挟まれることによって起こる強度減少の方が大きくなって、チャック部分で資料が切断する現象が生ずることが観察された。そのため、 d/D の値が特に小さいところでは測定することはできなかった。このように網糸を強制的に曲げて引張ると、曲げによって破断引張強度は次第に減少し、網糸を強制的に曲げる曲率半径に大きく影響することが判った。そこで、ここでは曲げによってモノフィラメントの引張強度が減少する機構について曲げ応力の点から若干考察して見よう。Fig. 2 に示したように、今直径 d のモノフィラメントの網糸が ρ の曲率半径で曲げられていると考えると、一般に材料力学で良く知られているように、次式のような曲げモーメント M を受ける²⁾。

$$M = \frac{E \cdot I}{\rho} \tag{1}$$

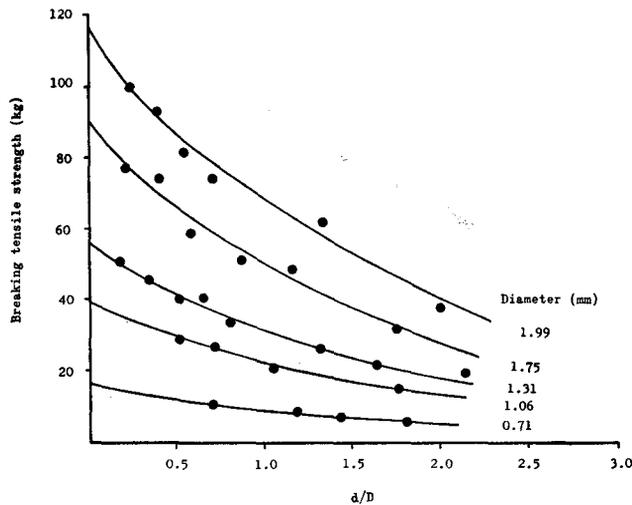


Fig. 3. Breaking tensile strength of bended Nylon 6 monofilament at various curvatures.

ここで, E はヤング率

I は慣性モーメント

このため, 材料は次式によって示されるような曲げによって応力 σ_b を受けることになる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (2)$$

ここで, Z は断面係数

上式に Z , M をそれぞれ代入して整理すれば,

$$\sigma_b = \frac{E \cdot d}{2\rho} \quad (3)$$

となる。ここで, ρ はモノフィラメントの曲げられる曲率半径であるので, Fig. 2 から明らかなようにこの実験では,

$$\rho \doteq \frac{d+D}{2} \quad (4)$$

とみなせるので, 曲げによって生ずる応力 σ_b は次式のように示し得る。

$$\sigma_b = \frac{d}{d+D} \cdot E \quad (5)$$

モノフィラメントの長軸方向の真の破断引張応力 σ_{\max} とすれば, 結局曲げられているモノフィラメントが長軸方向の張力 T_x で引張られた時には, すでに曲げによる応力 σ_b が加わっていると考えられるので, 切断時には次式が成立するであろう。

$$\sigma_{\max} = \frac{4T_x}{\pi \cdot d^2} + \frac{d}{d+D} \cdot E \quad (6)$$

上式を, 曲げて引張った時の破断引張強度 T_x について整理すれば,

$$T_x = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \left(\sigma_{\max} - \frac{d}{d+D} \cdot E \right) \quad (7)$$

また, この時の破断引張応力 σ_x とすれば, σ_x は

$$\sigma_x = \sigma_{\max} - \frac{d}{d+D} \cdot E \quad (8)$$

として示される。結局, 曲げて引張った時の破断引張応力 σ_x は $\{d/(d+D)\} \cdot E$ との関数として表示されることになる。そこで, 実験の結果を整理して横軸に $d/(d+D)$, 縦軸には曲げて引張った時の破断引張応力 σ_x をとって描いたのが Fig. 4 である。どの直径の網糸資料とも破断引張応力 σ_x と $d/(d+D)$ との関係は略逆比例することが判る。また, 異なる直径の網糸資料によっては僅かに変化する。これは Table 1 に示したように資料によってヤング率が若干異なっていたためと思われる。Fig. 4 を使って全然曲げない時の長軸方向の破断引張応力 σ_{\max} を $D \rightarrow \infty$ の時, すなわち $d/(d+D) = 0$ の時の値を求め, Table 2 に掲げた。また, 同時にこの値とヤング率 E との比を求めて示した。この比の値は直径の異なる網糸資料によって若干変動するが, ほぼ一定とみなすことができ, 平均 0.24 となった。このことから, 曲げない時の真の破断引張応力 σ_{\max} とヤング率 E との関係は次式で示される。

$$\sigma_{\max} \doteq 0.24E \quad (9)$$

次に真の破断引張応力 σ_{\max} を使って, 曲げによって弱まった応力 σ_b について, $\sigma_b = \sigma_{\max} - \sigma_x$ と

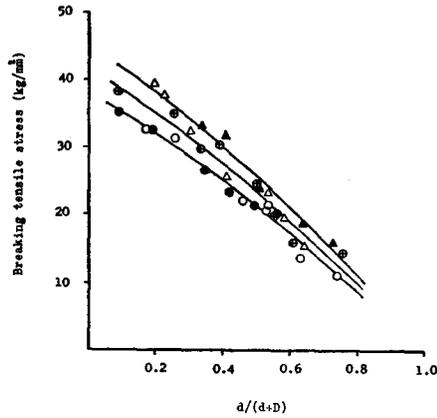


Fig. 4. Breaking tensile stress of bended Nylon 6 monofilament at various curvatures. Solid circle; diameter of thread 1.99 mm Open circle; diameter of thread 1.75 mm Cross circle; diameter of thread 1.31 mm Solid triangle; diameter of thread 1.06 mm Open triangle; diameter of thread 0.76 mm

Table 2. Breaking tensile stress of Nylon 6 monofilament of various diameters.

No.	150	100	60	40	18
Diameter (mm)	1.99	1.75	1.31	1.06	0.71
σ_{\max} (kg/mm ²)*	38.0	38.0	41.5	45.5	42.5
σ_{\max}/E^{**}	0.21	0.24	0.26	0.21	0.27

* breaking tensile stress

** Young's modulus

して求めたのが Fig. 5 である。この時の σ_b と $d/(d+D)$ との関係を求めると次式のようにになった。

$$\sigma_b = 0.24E \left(\frac{d}{d+D} \right)^{1.3} \quad (10)$$

すでに曲げない時の真の破断引張応力 σ_{\max} は (9) 式として示すことができたので、曲げた時の破断引張応力 σ_x は

$$\sigma_x = 0.24E \left\{ 1 - \left(\frac{d}{d+D} \right)^{1.3} \right\} \quad (11)$$

として示すことができるであろう。さらに、この σ_x と真の破断引張応力 σ_{\max} との比 σ_r を求めたのが、Fig. 6 である。その関係は次式のようになる。

$$\sigma_r = 1 - \left(\frac{d}{d+D} \right) \quad (12)$$

このようにモノフィラメントは曲げによって長軸方向の引張強度は減少することが明らかになった。そこで、これらの関係を整理して、曲げない時の真の破断引張応力の 1/2 を示す時の $d/(d+D)$ の値や、 d/D の値、また $d/D=1$ の時の破断引張応力 σ_x と真の破断引張応力 σ_{\max} との比などについて、Fig. 3, Fig. 4 を使って求めた結果を Table 3 にまとめて示した。表から明らかのように、真の破断引張応力の 1/2 を示す時の d/D の値は平均 1.28、 $d/(d+D)$ の値は平均 0.53 となり、また d/D

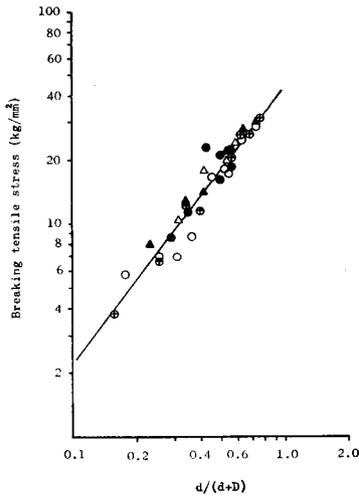


Fig. 5. Decreased tensile stress of Nylon 6 monofilament by bend.
 Solid circle; diameter of thread 1.99mm
 Open circle; diameter of thread 1.75mm
 Cross circle; diameter of thread 1.31mm
 Solid triangle; diameter of thread 1.06 mm
 Open triangle; diameter of thread 0.76 mm

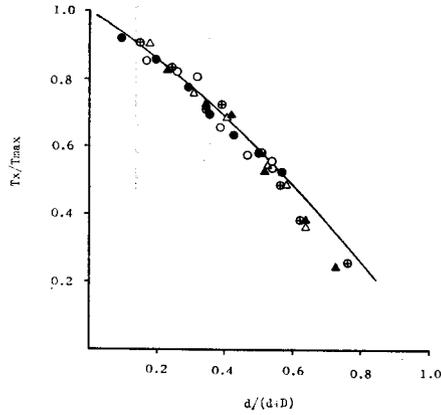


Fig. 6. Changes in the ratio of the breaking tensile strength of Nylon 6 monofilament by bend.
 Solid circle; diameter of thread 1.99 mm
 Open circle; diameter of thread 1.75 mm
 Cross circle; diameter of thread 1.31 mm
 Solid triangle; diameter of thread 1.06 mm
 Open triangle; diameter of thread 0.76 mm

Table 3. Values of d/D and $d/(d+D)$ having half breaking tensile strength of Nylon 6 monofilament by bend.

No.	150	100	60	40	18
Diameter (mm)	1.99	1.75	1.31	1.06	0.71
T_{max} (kg)*	177	91	56	40	17
$T_{1.0}$ (kg)**	68	51	32	23	10
$T_{1.0}/T_{max}$	0.58	0.56	0.56	0.57	0.57
d/D ($T_{max}/2$)***	1.31	1.24	1.19	1.30	1.34
$d/(d+D)$ (:****)	0.50	0.53	0.54	0.52	0.55

* breaking tensile strength

** breaking tensile strength on bending condition ($d/D=1.0$)

*** value of d/D that breaking tensile strength reduced by half

**** value of $d/d+D$ that breaking tensile strength reduced by half

=1 の時の破断引張応力比は約 0.57 となった。これらの関係を使って、曲げない時の真の破断引張強度は充分推定できることになる。理論的に考察したようにモノフィラメントの曲げによる強度減少は曲げによる応力発生だけに起因するものとすれば、強度減少は $E\{d/(d+D)\}$ に比例することになる。しかし、測定結果では $0.24E\{d/(d+D)^{1.3}\}$ に比例することが判った。このことは、弾性限界以上の曲げによる強度減少は曲げによる応力発生の外に内部的な機構変化によってさらに強度減少が起ったものと推定される。特に、このような曲げによる引張において、曲げられる内側(円筒と接

触する面) では長軸方向に垂直な圧縮変形が大きく起こったためにこのような結果になったものと思われる。その一因として、この部分では形状変化に伴って、断面積変化が起こり、強度が減少したものと考えられるので、この関係を調べて見た。このような曲げを与えて引張った時の曲げられている部分の断面積の測定は直接できなかったので、次のようして行なった。Fig. 1 のように曲げて引張って行く時、資料の側面より、曲げている部分について、連続的に写真を撮影して、その画像から面積を求めた。なお、測定は直径が一番大きく、測定しやすいことから、モノフィラメント 150 号についてだけ行なった。Fig. 7 には撮影した結果例を示す。張力増加にともなって断面形状は大きく変化して行くことが判る。この画像を使って求めた断面積と張力との関係を Fig. 8 に示す。また、曲げないで真直ぐ引張った時の断面積変化も求め、あわせて描いた。曲げて引張った部分の断面積は小さい張力点では資料の陰になり、真の断面積は求めれないが、張力が次第に大きくなると、真の断面積に漸近して行き、真直ぐ引張った時と同じ張力下における断面積点で破断が起きていることが判る。このことから、曲げて引張った場合、この部分では特に断面積減少が起こったとは考えられない。曲

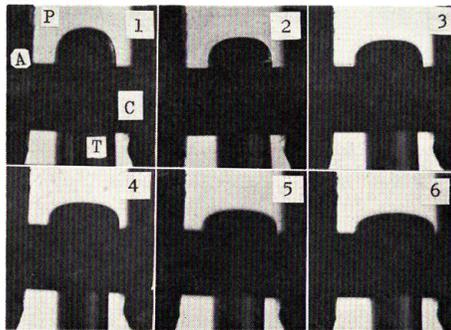


Fig. 7. Changes of cross-section of the bending position for Nylon 6 monofilament with various tensile loads.

A; arm, C; cylinder, P; bending position, T; sample

1; tensile load 12.5 kg 2; tensile load 25.0 kg 3; tensile load 37.5 kg

4; tensile load 50.0 kg 5; tensile load 62.5 kg 6; tensile load 78.0 kg.

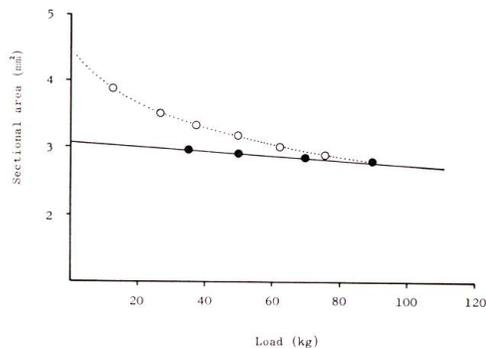


Fig. 8. Relation between sectional area and tensile load for Nylon 6 monofilament No. 150.

Open circle; bending condition, Solid circle; normal condition

げによる強度減少の機構としては、曲げの内側に生ずる圧縮などによる変形の要因が大きく作用した
ものと思われる。この点については、次の機会にさらに詳細な検討を行う所存である。

文 献

- 1) 田内森三郎 (1931). 網糸の研究 V. 水講試報 26, 41-51.
- 2) 南目 實 (1953). 材料力学. 316p. 養賢堂, 東京.