

釣り糸の引張り強度に与える結び目の影響 —糸と金属との結合の場合—

小川和雄¹, 末武孝朗²

The Influence of a Knot on Fishing Line Tensile Strength — In the case of thread-metal knot —

Kazuo Ogawa¹ and Takao Suetake²

Abstract : The authors note that fishing line is the simplest among the many types of fishing implements. The tensile strength of fishing line made of polymeric materials and the mechanical behaviors of fishing line which differ from metallic and which are complicated due to factors such as time-temperature dependency have been reported. Fishing line is hardly ever used as is, but always has a knot. In this study, therefore, the authors discuss how the knot in fishing line and the metallic swivel affect the tensile strength of the line.

Key Words : Tensile Strength, Fishing Line, Polymeric Materials, Mechanical Behavior, Thread-Metal knot, Swivel.

緒 言

今日、食の安心・安全がマスコミ等を通じて叫ばれている中で、私たち日本人にとって魚は食料として必要不可欠な物の1つである。そのため、昔から魚を獲るために様々な漁具を開発してきた。多種多様な漁具は、定置網、トロール、刺し網などで代表される網と釣りの2つに大別される。この漁具の強度評価の第一歩として、構造が簡単であるばかりでなくファミリーフィッシングとして広く普及し身近な釣りに注目し、ナイロン製釣り糸の強度を高分子材料特有の力学挙動を考慮した強度評価を既に報告¹⁾した。

これまでの釣り糸の強度評価を取り扱った論文は最近ではほとんど見当たらず永松等*の口頭発表があるが、これも、釣り糸ではなく魚網への適用を論じている。ほかには矢田等の論文²⁾、疲労破壊を取り扱った兼広等の論文^{3), 4)}があるに過ぎない。実際に釣りを行う場合は糸だけでなく、針等が必要、すなわち、金属材料との結合が必ず存在

する。従って、本研究では、既に報告した引張り強度を基にしてサルカンとの結合により生ずる結び目が引張り強度に与える影響を検討する事を目的とした。

一方、釣り糸には高分子材料が使用され、その力学挙動^{5)~8)}は金属材料と異なり顕著な温度-時間依存性を呈することが知られている。ここでは、引張り強度評価¹⁾の結果が得られているナイロン製釣り糸とサルカンとの結合による結び目が強度に与える影響を試みた。

実 験

糸と金属との結合方法

通常、釣りを行う場合は道糸の先端にサルカンを結合し、このサルカンにハリス等を結んで使用する。従って、釣り糸の強度評価には結び目を有する強度評価が必要不可欠である。結ぶ方法^{9)~10)}はクラッチノット、ダブルクラッチノットなどたくさんあるがここでは最も一般的なユニ

2008年4月14日受付. Received April 14, 2008.

1 水産大学校海洋機械工学科 (Department of Ocean Mechanical Engineering, National Fisheries University)

2 (株)ダイキンアプライドシステムズ (Daikin Applied Systems Co.)

* 永松公明, 西真太郎, 田口真吾, 熊沢康生: 高強力ポリエチレントワインのトロール漁具への導入. 平成16年度日本水産学会中国四国・近畿両支部合同大会 (2004)

ノットを採用した。これと比較するために漁師さん達が使用している結び方を採用した。2種類の結び方をFig. 1に示す。試験片として使用した釣り糸は、引張り強度評価¹⁾されているナイロン製釣り糸銀鱗 (TORAY社製) とした。また、ナイロン製釣り糸の太さは0.6号~20号と17種類にもおよぶ多数が市販されているが、その中から、最も利用され、取り扱いの容易さから2号 (直径 $d=0.235\text{mm}$) を採用した。

ここで、結び目を予備試験により決定した。すなわち、ユニノットと漁師結びの両者について、巻き数を1, 3, 5巻と変化させ、引張り試験を行い検討した。その結果、1, 3

巻では迂りが発生し引き抜けなどが観察されたが5巻き以上では観察されなかったので巻数は5巻と決定した。また、漁師結びはユニノットに比べて簡単に結べるが、破断荷重、破断ひずみ両者とも低い結果となった。このことより、結び方により引張り強度に影響を与えることが確認でき、結び方は、引張り強度の高いユニノットで強度評価することとした。

サルカン形状

市販されているサルカンは円形がほとんどであるが、ここでは、曲率半径の影響を評価するために無限大と考えら

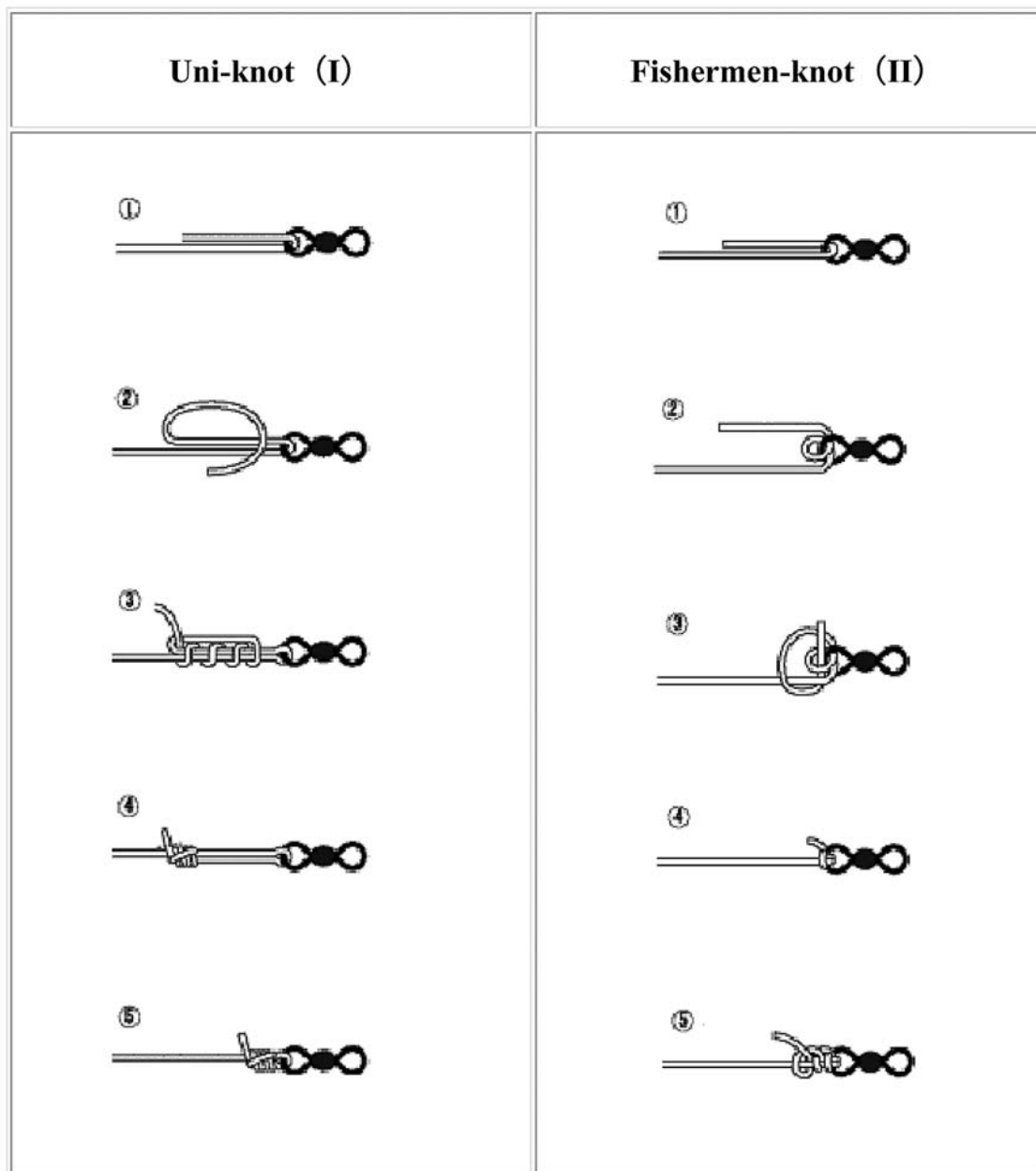


Fig. 1. Used two kinds of knots

れる直線との組み合わせを考えて図のような形状を採用し、Fig. 2にサルカンの寸法・形状を示す。また、直径も0.55, 0.80, 1.00, 1.60と変化させ、曲率半径と直径の両者を同時に評価できるA Type - D Typeの4種類とした。このように設計したサルカンを制作した実物の写真をPhoto. 1に示す。サルカンの材質は市販されているサルカンと同様にステンレス鋼とした。

試験片形状

金属材料で作られたサルカンと釣り糸との結合のために結び目が必ず存在するので、その強度評価のために、通常の試験法では適当でない。そのため、繊維試験法¹⁰⁾ならびにJIS規格^{11),12)}を参考にしてFig. 3に示すリング状試験片形状を採用した。この開発したリング状試験片形状は結び目を有する強度試験に最適と考えられる。評点間距離は65mm±3mmとした。ここで許容範囲が±3mmと大きいようだが、結び目がサルカンの上下にあるためこれ以上小さくするのは困難だと思われる。同時に、リング状試験片

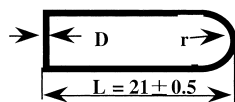
を引張り試験機に取り付ける特殊ジグを制作し試験機に取り付け引張り試験を可能にした。加えて、結び目の初期状態を一定に保ち、同一条件にするために、プリテンションとして破断荷重の25%の引張り荷重を加えてから引張り試験を行っている。

実験はオートグラフ・AG-IS-100kN（島津製作所）を用い、負荷速度は速度依存性を検討するために1mm/min～500mm/minまでの範囲から8段階の一定変位引張り負荷速度を採用し実験を行った。実験温度条件は室温とした。

結果及び考察

開発したリング状試験片によりType AからType Dの4種類のサルカンと結合した釣り糸の引張り試験により得られた荷重-伸び曲線をFig. 4に示す。この同一の負荷条件下で5回の引張り試験により再現性を検討した。再現性の検討に用いた一定変位負荷速度は20mm/minとした。

図から明らかのように、4種類のいずれのサルカンにお



Type	A	B	C	D
Diameter(mm)	0.55	0.80	1.00	1.60
Radius of curvature(mm)	1.012	1.538	1.975	2.525

Fig. 2. Geometry of swivel

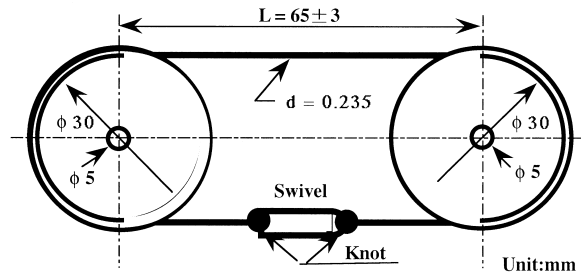


Fig. 3. Geometry of Specimen

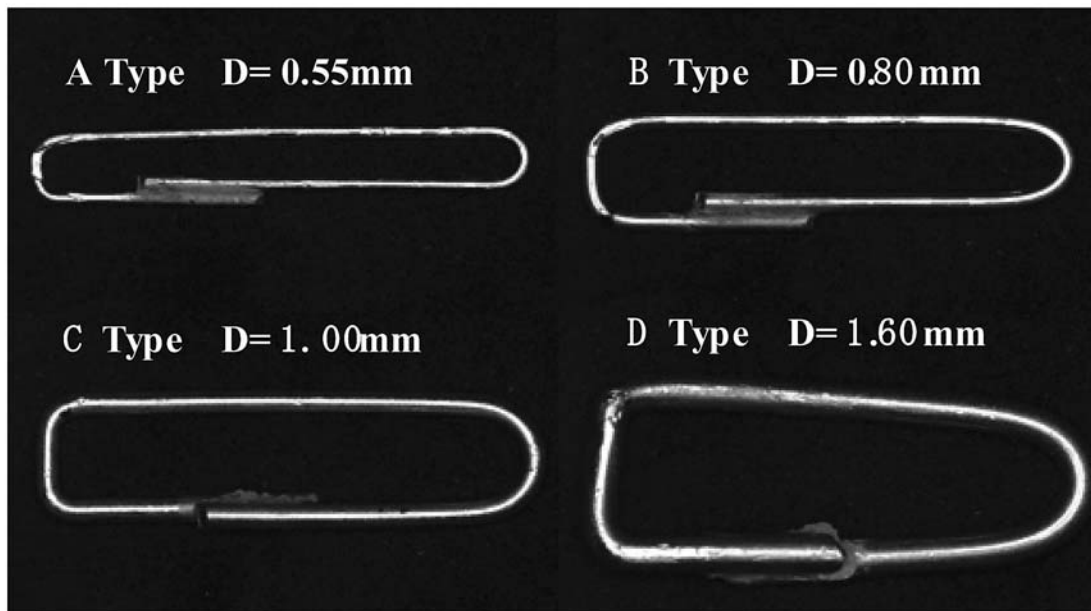


Photo. 1. Configuration of swivel

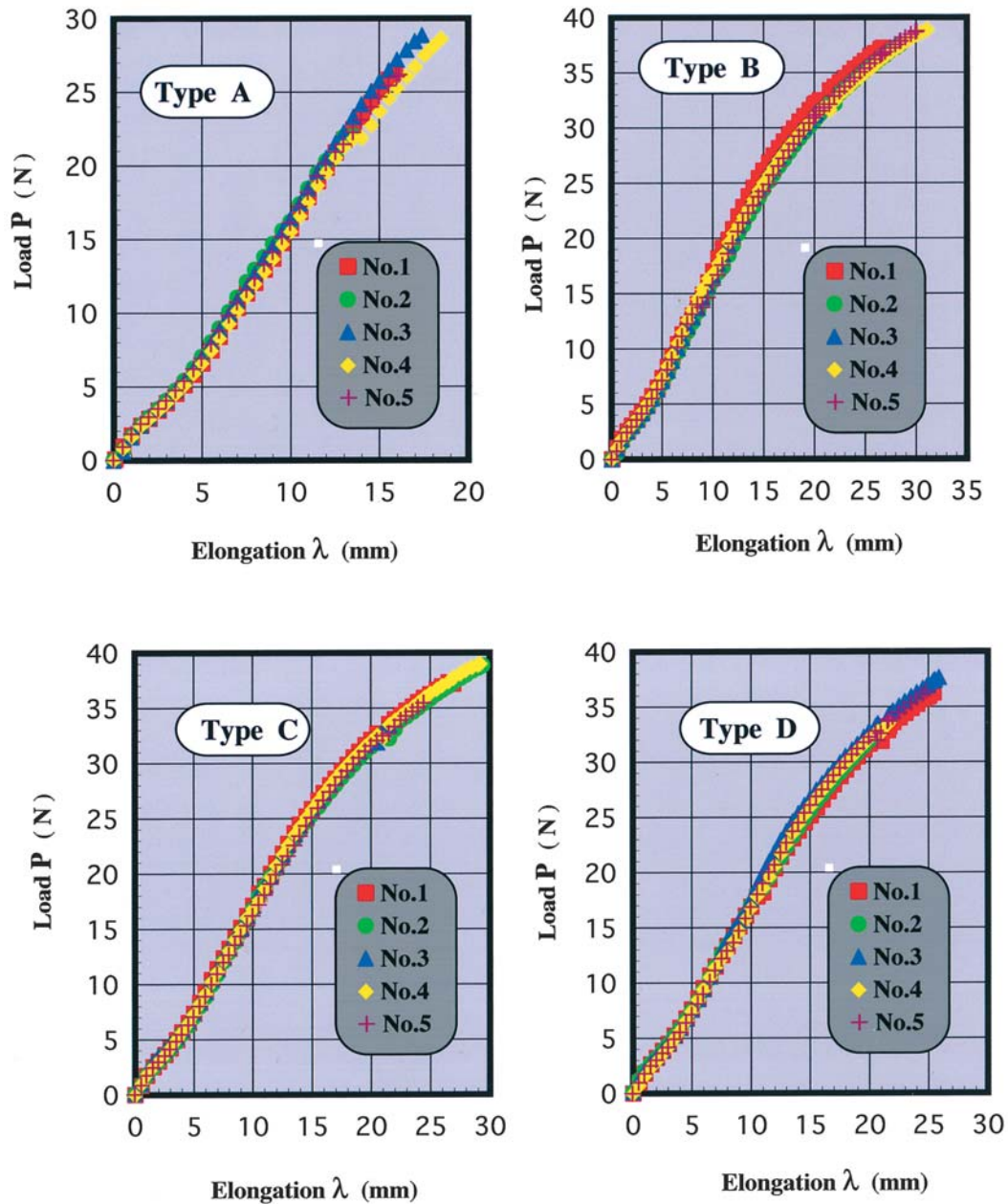


Fig. 4 . Comparison of P- λ curve provided with each swivel

いても多少のバラツキはあるが、ほぼ同一の挙動を示し、良好な再現性を呈し、本研究で採用したリング状試験片形状試験の有効性が確認された。5本の試験片で得られた荷重開始から破断までの荷重-伸び曲線はいずれの試験片においても直線関係は現れず、粘弾性材料特有の曲線関係を示している。破断荷重、破断伸びの両因子とも、Type A, D, C, Bの順で増加している。破断位置は曲率半径無限大の直線部分と曲率半径を有した部分で有意差が観察されなかった。これは、ユニノットを採用した事により、結び目が1本しかサルカンと接触していないため曲率半径より直径Dの太さ変化の影響を強く受けたものと考えられる。

次に、結び目強度の荷重速度依存性をType Cのサルカンで検討した一例をFig. 5に示す。荷重速度は低速条件として一定変位速度 $V=1\text{mm/min}$ 、高速条件として一定変位速度 $V=200\text{mm/min}$ で得られた荷重-伸び曲線で示した。あわせて、再現性の検討のために同一条件で5本の試験を行っている。比較した低速条件 1mm/min と高速条件 200mm/min と200倍に変化しているにも関わらず、荷重-伸び曲線はほぼ同様な挙動を示し、高速の 200mm/min の方が直線に近い挙動を示している。加えて、破断荷重、破断伸びの両者ともほぼ同様な値を示しており、顕著な荷重速度依存性は観察されなかった。この理由としては、試験

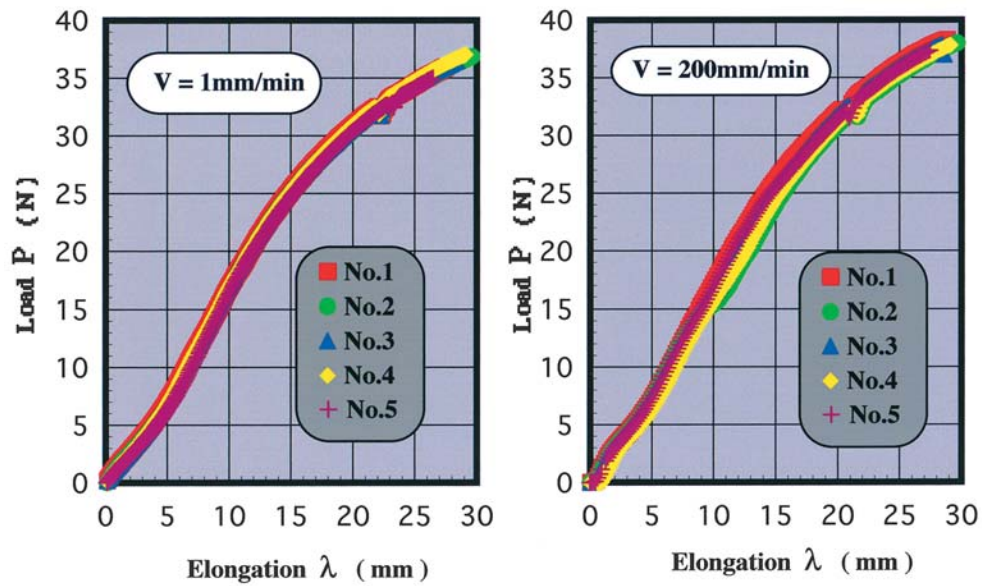


Fig. 5 . Comparison of P-λ curve provided with each speed

片であるナイロン釣り糸のガラス転移温度 T_g (約 50°C)以下のガラス状領域での力学挙動のためと思われる。また、同一の条件で得られた5本の結果は、高速の $200\text{mm}/\text{min}$ の方が少しバラツキが大きいが良好な再現性が得られており、本研究で採用したリング状試験片形状の有効性が確認された。

このように、4種類のサルカンとの結合したFig. 4、速度依存性を検討したFig. 5で示したように良好な再現性を

示していることより、平均値で評価することとした。平均値の一例をFig. 6に示した。TypeCのサルカンにおける一定変位速度 $V=20\text{mm}/\text{min}$ で得られた荷重-伸び曲線を示す。荷重-伸び曲線は負荷開始直後から破断まで直線関係を示さず、顕著な粘弾性力学挙動を示す。再現性を検討するために5本の試験結果を同一グラフにプロットした結果と比較すると、平均値は力学挙動を正確に評価できることが確認できたので、これ以降は平均値で評価を行う。

このようにして得られた平均値で得られた荷重-伸び曲線と単純引張りで得られた結果¹⁾とを比較するために応力-ひずみにプロットし直した結果をFig. 7に示す。図か

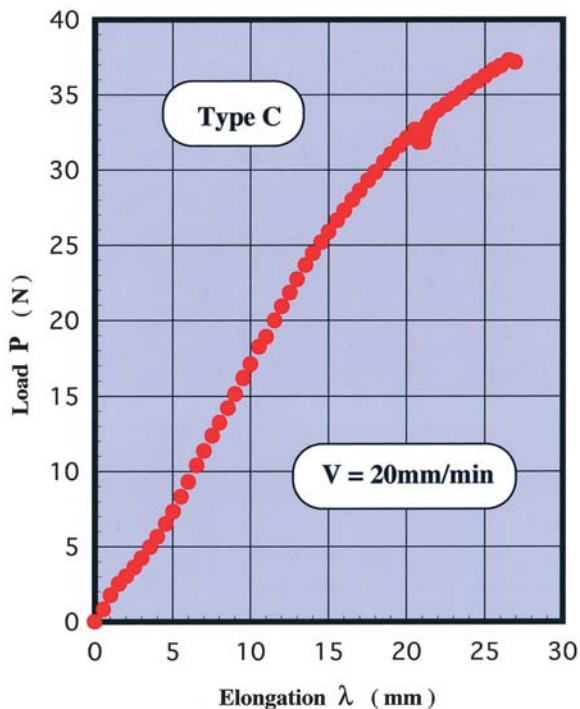


Fig. 6 . An example of the load-elongation curve by mean

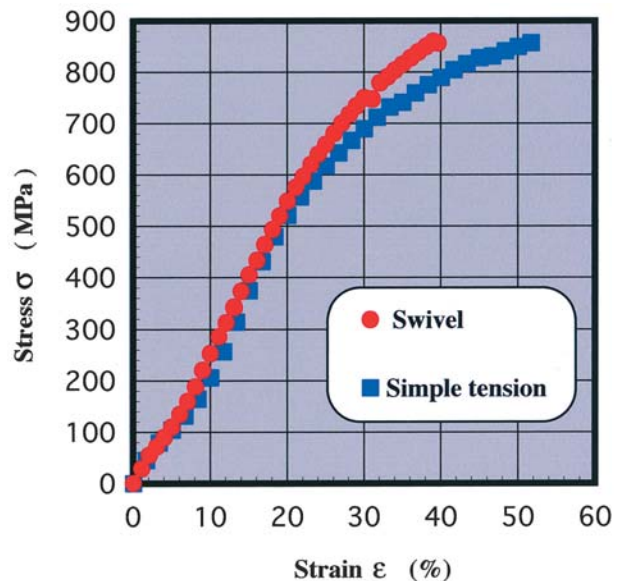


Fig. 7 . Influence of a knot to stress-strain curves

ら明らかなように、応力-ひずみの関係は結び目の存在に関わらず、負荷開始直後から破断まで直線関係は観察されず、顕著な粘弾性力学挙動を呈している。破断応力は両者ともほぼ同一な応力を示している。これは、採用したリング状試験片が精確な試験方法であることを示している。一方、ひずみは、単純引張りの方が大きい結果を示している。これは、サルカン、すなわち、ステンレスが影響したために小さなひずみで破断しているためと考えられる。両者の顕著な相違は、結び目のために最大応力の約80%位のところに観察される応力の落ち込み現象が観察されることにある。これは、結び目が締まるために生ずる現象と考えられる。この現象を確認するため、負荷による結び目の形状変化をPhoto. 2に示す。(a)は荷重の負荷前、(b)にプリテンションの後、(c)は破断の後を示す。(a)と(b)とを比較すると結び目の形状は、破断荷重の25%負荷により、結び目の直径が均一に締まっていることを示している。次に(b)と(c)との比較では、均一だった結び目直径が更に荷重の増加によりサルカンの方に近づき、結び目の長さが短くなり形状も台形に変形している。破断点は矢印で示すように結び目の内部で発生し、釣り糸の局部変形が一番顕著な位置で生じていることを示している。これにより、サルカンの直径が強度に影響を与えたと考えられる。

このようにして得られた各条件下での破断応力と破断ひずみの関係をサルカンのType A~Type D毎に4種類の結果をFig. 8に示す。破断応力と破断ひずみの関係は4種類のサルカンいずれにおいても破断応力の増大に伴い破断ひずみも増加する直線関係を示している。破線で示した傾向

線の傾きはサルカンの直径が細いType Aが最も大きく、直径の増加に伴い傾きが減少する傾向を示している。特に、Type Cではほぼ一点に集中し負荷速度による変化は観察されない。これらのことより、各条件下で負荷速度依存性は単純ではないが破断応力、破断ひずみに依存性を示している。

このように複雑な負荷速度依存性を検討した結果をFig. 9に示す。図は縦軸に破断応力を、横軸には負荷速度を対数でプロットしている。図中のマークと色の相違はサルカンのTypeを示し、また、曲線は近似傾向線を同時に示した。各負荷速度における破断応力の変化は、サルカンの直径が小さいType AからType B、Type Cと直径の増加に伴い破断応力も増加するが単調に増加せず、Type Dでは破断応力は減少している。一方、各サルカンにおける負荷速度の変化に対する破断応力の変化は最も高速の500mm/minを除いてほぼ一定値を示している。この4種類のサルカンではType Cが破断応力が大きいことを示している。このことは単純引張りとの比較で明らかなようにこの破断応力以上はとり得ないことを示している。また、粘弾性材料特有の速度依存性が顕著に現れないがガラス状応答領域⁶⁾での結果だと考えている。

次に、Fig. 10に破断ひずみの負荷速度依存性を示す。

図から明らかなように、破断応力のそれと同様な傾向を示している。これは、破断応力の増加に伴い破断ひずみも増加する比例関係を示すことから理解できる。

Fig. 11は縦軸に破断応力、横軸にサルカンの直径Dと釣り糸の直径dとの比で示した。各マークと色の相違は負荷

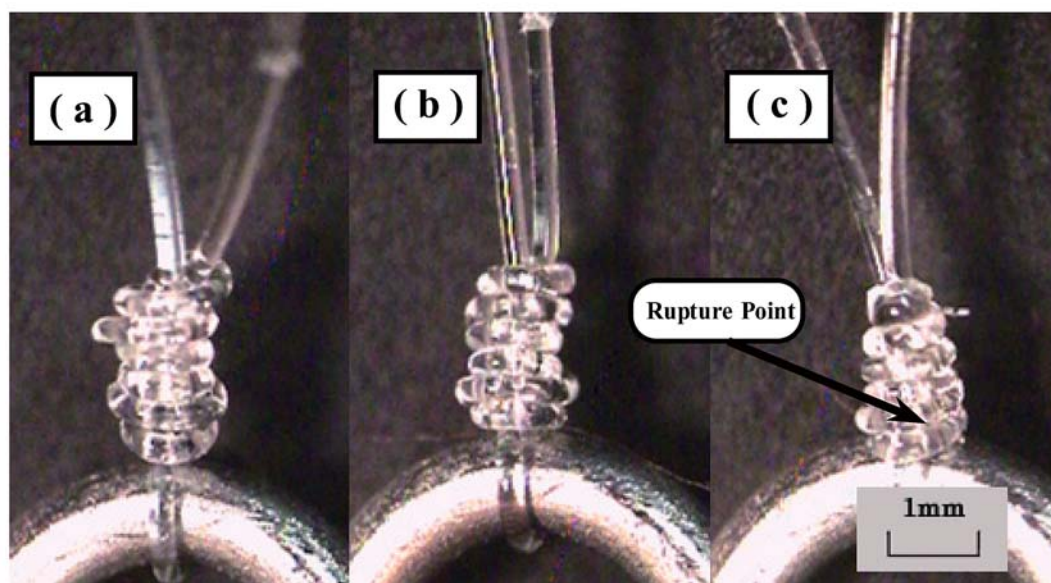


Photo. 2. Shape change of a knot by load

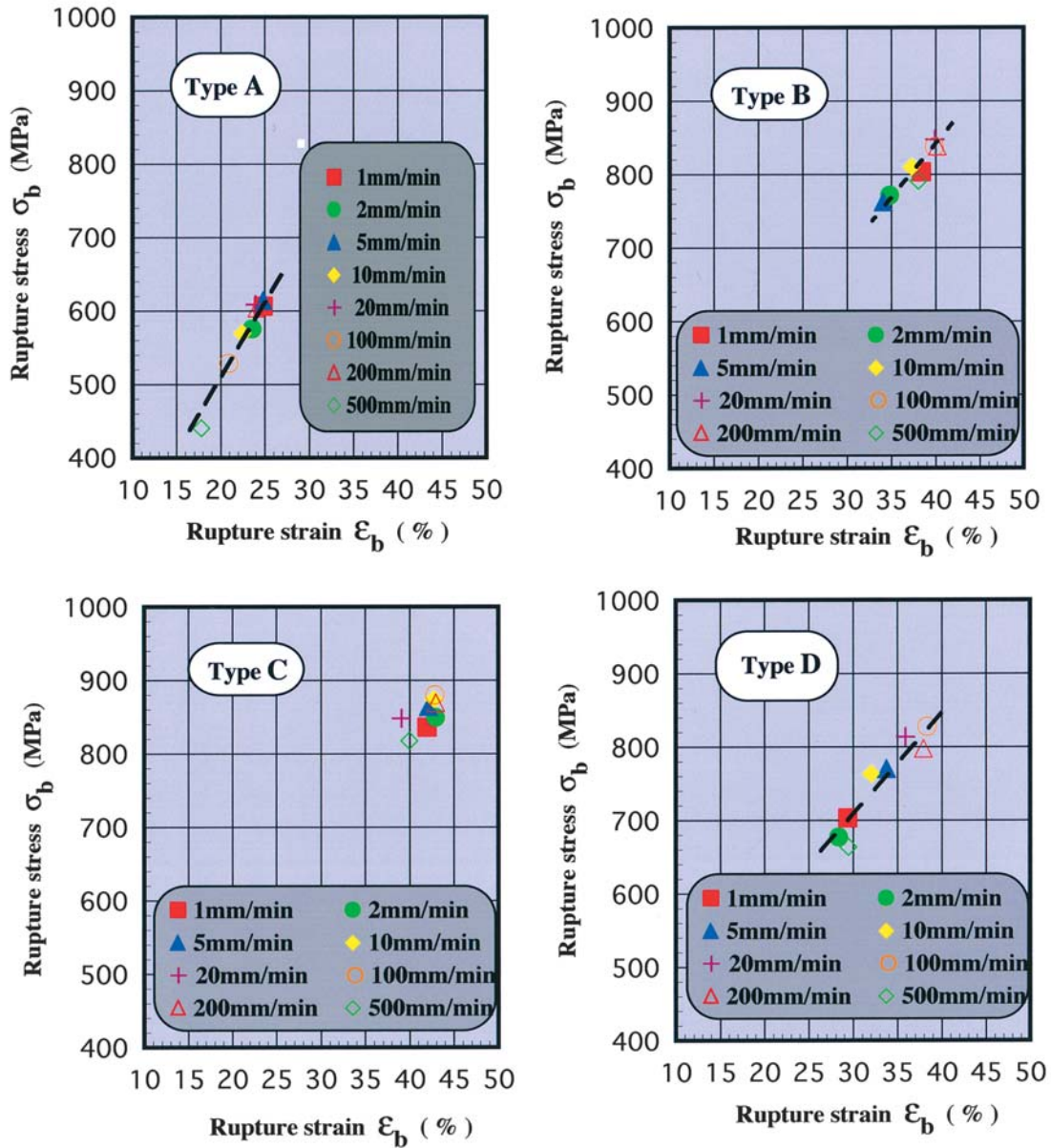


Fig. 8 . Relationship between rupture stress and strain

速度の相違を示し、赤色の曲線は最小自乗法で近似された近似傾向線を示している。直径比が小さいType Aは破断応力は低く、直径比が増加するとともに破断応力は増加するが最も直径比が大きいType Dでは破断応力は減少する。このように破断応力と直径比にはピーク値を持つ傾向を示している。また、各直径比における負荷速度の影響は直径比の増加に伴いその差が小さくなり、ピーク値付近ではほぼ破断応力は一定値を示す。しかし、ピーク値を過ぎると、再び差が見られる。これにより、釣り糸とサルカンとを結合する場合、最も高い破断強度は直径比で約5付近に存在することが判明した。従って、使用する釣り糸の直径が決まれば利用するサルカン直径が決定可能になる。

結 言

ナイロン製釣り糸とサルカンとの結合による引張り強度に与える影響について検討した結果を簡単にまとめると以下のようなものである。

- 1) 本研究で採用したリング状試験片による結び目の引張り強度評価方法は非常に有効であることが確認された。
- 2) 結び目により力学挙動に単純引張りでは現れなかった荷重の落ち込み現象が観察された。
- 3) 結び目の破断強度に与える影響は破断応力より破断ひずみに顕著に顕われる。

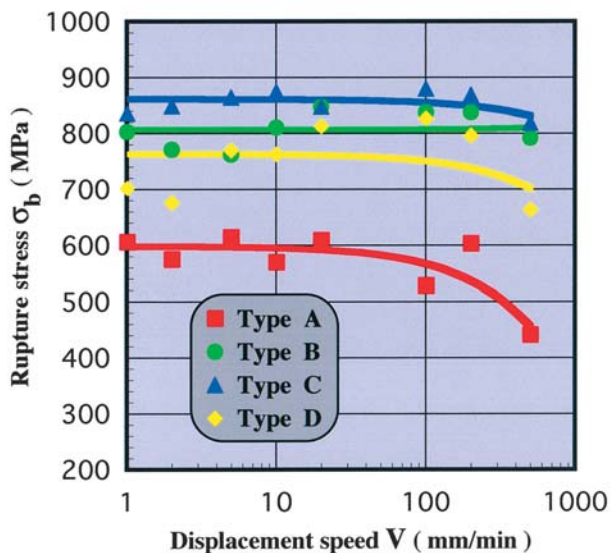


Fig. 9. Rupture stress-displacement speed curves

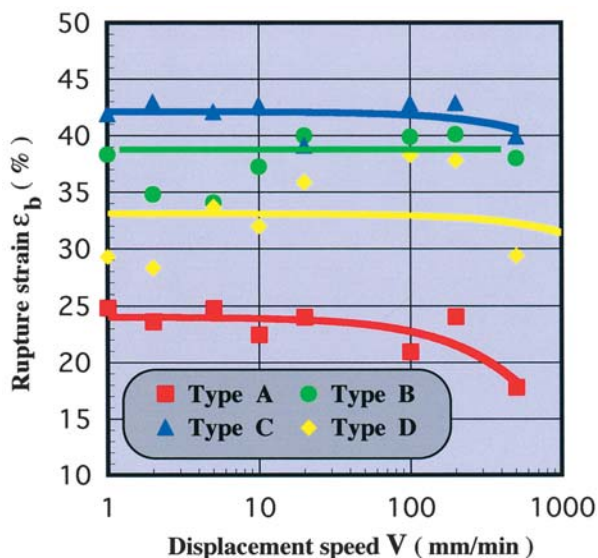


Fig. 10. Rupture strain-displacement speed curves

- 4) ユニットではサルカンの曲率半径の大小は力学挙動に影響を与えない。
- 5) 破断応力の大きさはサルカンの直径と釣り糸の直径との比で評価でき、釣り糸の直径が決まればサルカンの直径を決めることができる。

引用文献

- 1) 小川和雄, 渋谷浩隆: ナイロン釣り糸の強度評価, 水大校研報, 54, 217-222 (2006)
- 2) 矢田貞実, 郭海波, 中村善彦, 亀谷茂樹: ポリアミドモノフィラメント釣り糸の引張り破断の要因と防止法.

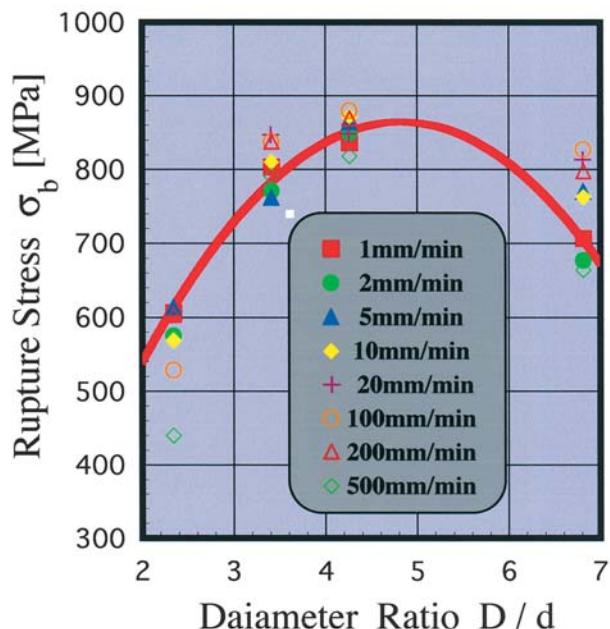


Fig. 11. Relationship between rupture stress and diameter ratio

水産工学, Vol.35, No.1, pp 23-28 (1998)

- 3) 兼広春之, 藤井寛美, 佐藤要, 鈴木誠: マグロ延縄用ナイロンテグスの疲労特性. 日水誌, 58, pp 2315-2319 (1992)
- 4) 兼広春之, 藤井寛美, 鈴木誠: ナイロンテグスの疲労破壊形態. 日水誌, 58, pp 2321-2327 (1992)
- 5) 国尾武: 時間及び温度に依存する粘弾性固体の力学挙動 -粘弾性に関する基礎事項-. 材料システム, 金沢工業大学材料システム, 第6巻, pp 7-20 (1987)
- 6) 隆雅久, 国尾武: 時間及び温度に依存する粘弾性固体の力学挙動 -粘弾性挙動と特性係数-. 材料システム, 金沢工業大学材料システム, 第6巻, pp 21-48 (1987)
- 7) 三澤章博: 時間及び温度に依存する粘弾性固体の力学挙動 -線形粘弾性固体の力学-. 材料システム, 金沢工業大学材料システム, 第6巻, pp 49-80 (1987)
- 8) 宮野靖, 新保實: 時間及び温度に依存する粘弾性固体の力学挙動 -プラスチックの熱粘弾性挙動と残留応力-. 材料システム, 金沢工業大学材料システム, 第6巻, pp 81-100 (1987)
- 9) 杉浦昭典監修: 海技実習ポケットブック. 海文堂 pp 58-77 (1977)
- 10) 熊田喜代志: 繊維試験法. 地人書館, pp 123-13 (1973)
- 11) 日本工業規格, ナイロン短繊維法, JIS L 1024
- 12) 日本工業規格, 一般紡績糸試験法, JIS L 1908