

ナイロン釣り糸の強度評価*1

小川和雄*2・渋田浩隆*2

Strength Evaluation of Nylon Fishing Line

Kazuo OGAWA and Hirotaka SIBUTA

Among fishing tackle, fish line has the simplest structure, however, its quality is very critical to overall performance. Thus, we evaluated tensile strength of fishing line. Most commercially available fishing line is made from polymer materials, such as nylon, polyethylene etc. Fishing line made of nylon was used in this study. It is known that, unlike that of metals, the mechanical behavior of viscoelastic materials shows significant time-temperature dependence. Therefore, the effects of displacement speed and cross-sectional area on tensile strength were investigated.

Key words : Tensile Strength, Fishing Line, Nylon, Displacement Speed, Cross-Sectional Area

1 緒 言

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を試みるために、その第一歩として網と比較して構造がシンプルな釣りに注目した。釣りは竿、糸、リール、針等で構成されているが、ここでは、釣り糸の強度評価を試みる。また、釣り糸は漁業者ばかりでなく、近年はファミリーフィッシングとしても盛んに使用されるようになってきている。

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*3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¹⁾、疲労破壊を取り扱った兼広等の論文^{2),3)}があるに過ぎない。したがって、本研究では、釣り糸の基本的な性質を調査するために引張り試験方法を開発し、それを用いて強度評価することを目的とした。

釣り糸には様々な材質が採用されているが、殆どは高分

子材料が使用され、その力学挙動^{4)~7)}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、数多くある材質から一番基本的であると考えられるナイロン製釣り糸を取り上げ粘弾性力学挙動を考慮した引張り強度評価を試みた。

2 実 験

2.1 予備試験

釣り糸を引張り試験するに当たって、通常の試験機では金属材料が対象となっているため糸を固定する方法が適当ではない。そのため、JIS規格^{8),9)}を参考に試験機の楔式つかみ具に固定する方法を種々検討した。その結果、釣り糸をアルミ製板に接着剤で固定する方法を採用した。接着剤で固定する際に、細心の注意を払うのは当然だが、さらに、試験片の両側に同じ直径の補助糸を各2本、計4本接着してある。この補助糸の存在が楔式つかみ具でチャックの中で試験片が破断することなしに引張り試験を行えるようになった。

2006年1月23日受付。Received January 23, 2006.

*1 講演発表：本論文の一部は、平成17年9月、日本機械学会で下記の通り講演発表した。

小川和雄=釣り糸の引張り強度評価、日本機械学会2005年度年次大会講演論文集、Vol.1 No. 05-1, pp 317-318 (2005)

*2 水産大学校海洋機械工学科 (Department of Ocean Mechanical Engineering, National Fisheries University, 2-7-1 Nagata-honmachi, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan)

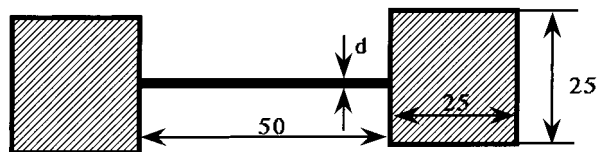
*3 永松公明・西真太郎・田口真吾・熊沢康生：高強力ポリエチレントワインのトロール漁具への導入、平成16年度日本水産学会中国四国・近畿両支部合同大会 (2004)

2.2 試験条件

試験片は市販品の中からナイロン製釣り糸銀鱗 (TORAY社製) を採用した。試験片形状はFig. 1に示すように標点間距離を50mmとし、直径dは図中に示してあるが、Table 1で示す市販品の中から断面積が約2倍になるように呼び番号で言うと、細い方から順番に0.6号、1号、2号、4号、8号、16号の6種類を採用した。糸の両端にはアルミニウム製の薄片を接着剤で固定してある。これは特殊な方法で固定することによりチャック切れ等を防止し標点間で糸が引張り破断するように細心の注意を払って試験片としている。実験はオートグラフ・AGS-5 kNG (高津製作所) を用い、負荷速度は速度依存性を検討するために1 mm/min ~ 500mm/minまでの範囲から6段階の一定変位引張り負荷速度を採用し実験を行った。

3. 結果及び考察

開発した試験方法により引張り試験の再現性を検討した結果の一例をFig. 2に示す。再現性の検討に用いた試験片は実験の容易さから2号を採用し、一定変位負荷速度は10mm/minとした。この同一の負荷条件下で5回の引張り



d.: 0.128、0.165、0.235、0.330、0.470、0.660

Unit : mm

Fig. 1 . Geometry of Specimen

Table 1 . A kind of a fishing line

No	Diameter (mm)	Cross-Section (mm ²)	No	Diameter (mm)	Cross-Section (mm ²)
0.6	0.128	0.0129	0.8	0.148	0.0172
1	0.165	0.0214	1.5	0.205	0.0330
2	0.235	0.0434	3	0.285	0.0638
4	0.330	0.0855	5	0.370	0.1075
6	0.405	0.1288	7	0.435	0.1486
8	0.470	0.1735	10	0.520	0.2124
12	0.570	0.2552	14	0.620	0.3019
16	0.660	0.3421	18	0.700	0.3848
20	0.740	0.4301			

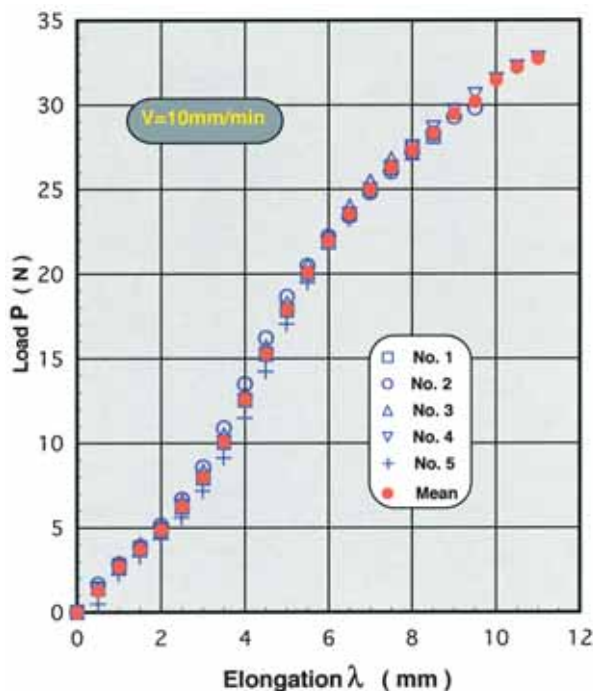


Fig. 2 . Evaluation of reproducibility in load-elongation curves

試験により再現性を検討した。その結果、青色で示されたマークの異なる5本の試験片で得られた負荷開始から破断までの荷重-伸び線図はいずれの試験片においてもほぼ同様の関係、すなわち、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。ここで、赤色のマークは平均値を示している。この平均値と5本の試験片との差は最大で約±3.5%の誤差範囲に収まっており、開発した試験方法による引張り試験の再現性は非常に良好であることが確認された。同時に、他の太さ、負荷速度条件でも良好な再現

性を得ている。この結果より以後は平均値で表現することにした。

次に、釣り糸の太さすなわち断面積の変化による荷重-伸び曲線に与える影響を検討した結果をFig. 3に示す。ここでは、Table 1に示した市販品の中から断面積がほぼ2倍になる、0.6, 1, 2, 4, 8, 16号の6種類を選んだ。負荷条件は一定変位引張り負荷速度10mm/min一定とした。いずれの太さにおいても得られた荷重-伸びの関係は微少変形から破断に至るまで直線とはならず曲線関係を示す粘弾性材料特有の挙動を呈する。各々の断面積変化においてはほぼ2倍になるよう選択したので断面積の増加に伴い荷重もほぼ2倍になる比例関係が得られる。すなわち、断面積が大きくなれば荷重は大きくなる当然の結果を示している。

Fig. 3で得られた荷重-伸びの関係を単位断面積当たりの内力である応力とひずみの関係にプロットし直したものをFig. 4に示す。荷重-伸び曲線とは逆に応力は断面積の小さな0.6号が一番大きく、断面積の増大に伴い減少する非常に興味深い関係を示す。これは、製造過程で発生した残留応力による表面硬化層が原因と考えられる。すなわち、表面硬化層の厚さはいずれの太さにおいても同様な厚さであると考えられるので、結果として細いほうが硬化層の割合が大きくなるためと考えられる。

Fig. 5に2号試験片に対して行った、負荷速度依存性の

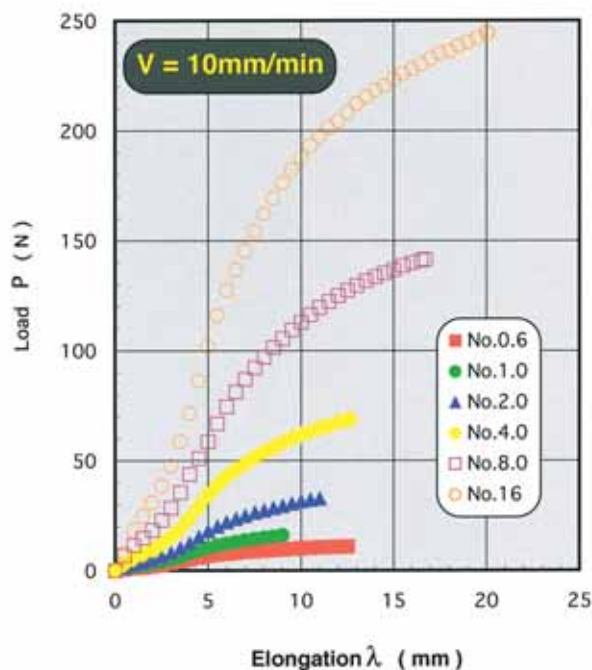


Fig. 3. Comparison of curve provided with each cross-sectional area

検討結果を示す。ここで採用した負荷速度は1 mm/min ~ 500mm/minの範囲から9段階を採用した。図から明らかなように負荷速度が500倍にも変化しているにもかかわらずほとんど同一の荷重-伸び曲線が得られている。このことは高分子材料特有の力学挙動である顕著な速度依存性

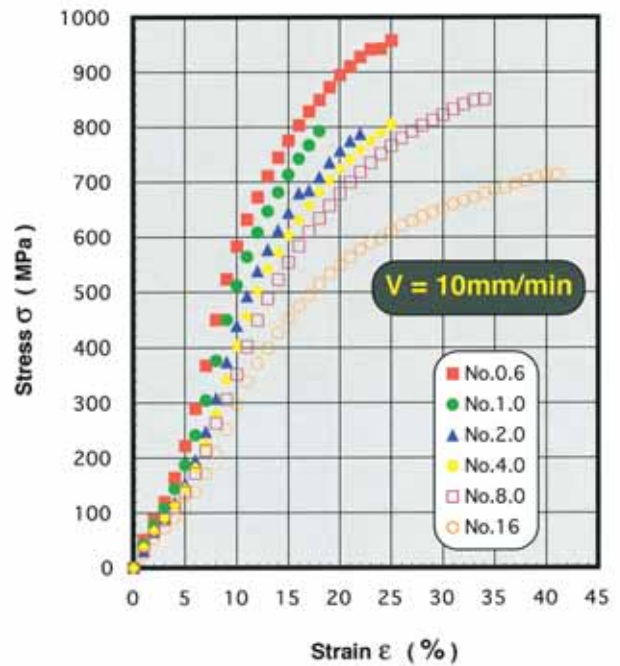


Fig. 4. Comparison of curve provided with each cross-sectional area

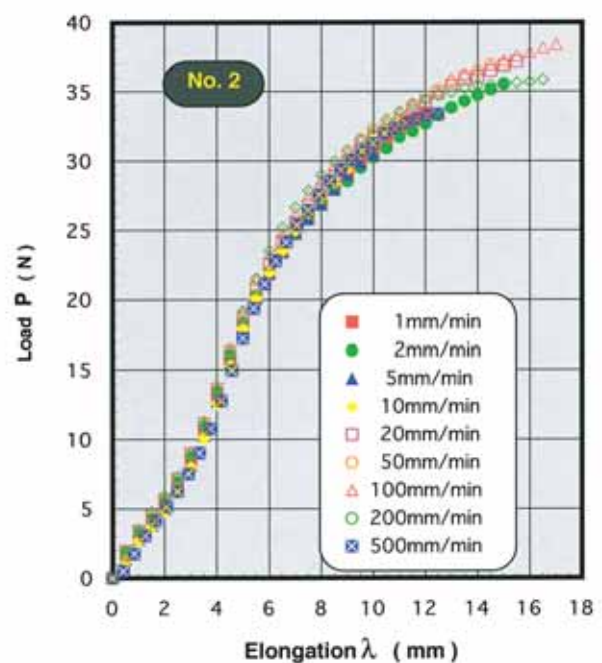


Fig. 5. Displacement rates dependent on load elongation curve

が観察されないことを示している。これは、ナイロン製釣り糸のガラス転移温度が約50度であることから実験温度が室温、約20度であるため、ナイロンの力学応答はガラス状態領域に相当し粘弾性力学挙動が現れにくかったためと考えられる。

次に、現れにくかった負荷速度依存性を詳細に検討するために一定変位までを異なる負荷速度で負荷し、その後除荷するサイクル試験を行った。サイクル試験の実験条件として、一定変位は1~10mmの範囲から4段階、負荷速度は1~500mm/minの範囲から4段階を採用した。

Fig. 6に1例として、一定変位5mmにおける一定負荷速度1mm/min, 10mm/min, 100mm/min, 500mm/minで得られたサイクル試験結果を示す。図から明らかなように

荷重-伸び曲線では観察されなかった負荷速度依存性が除荷の際に現れており、興味深い挙動を示した。サイクル試験における荷重-伸び曲線では、いずれの負荷速度においても高分子材料特有のヒステリシスループを描く。このヒステリシスループの形に負荷速度依存性が観察された。すなわち、負荷速度が低速である1mm/min, 10mm/minにおいては、赤色で示された負荷過程が緑色で示された除荷過程より上にプロットされる通常のヒステリシスループを描いているが、高速になると負荷時よりも除荷時の方が大きな荷重が生じている。この逆転現象は100mm/minより高速の500mm/minでより顕著になり、より長い範囲において除荷過程の荷重が負荷過程を上回る逆転挙動を示している。これは、ナイロン繊維を構成している分子鎖の運動

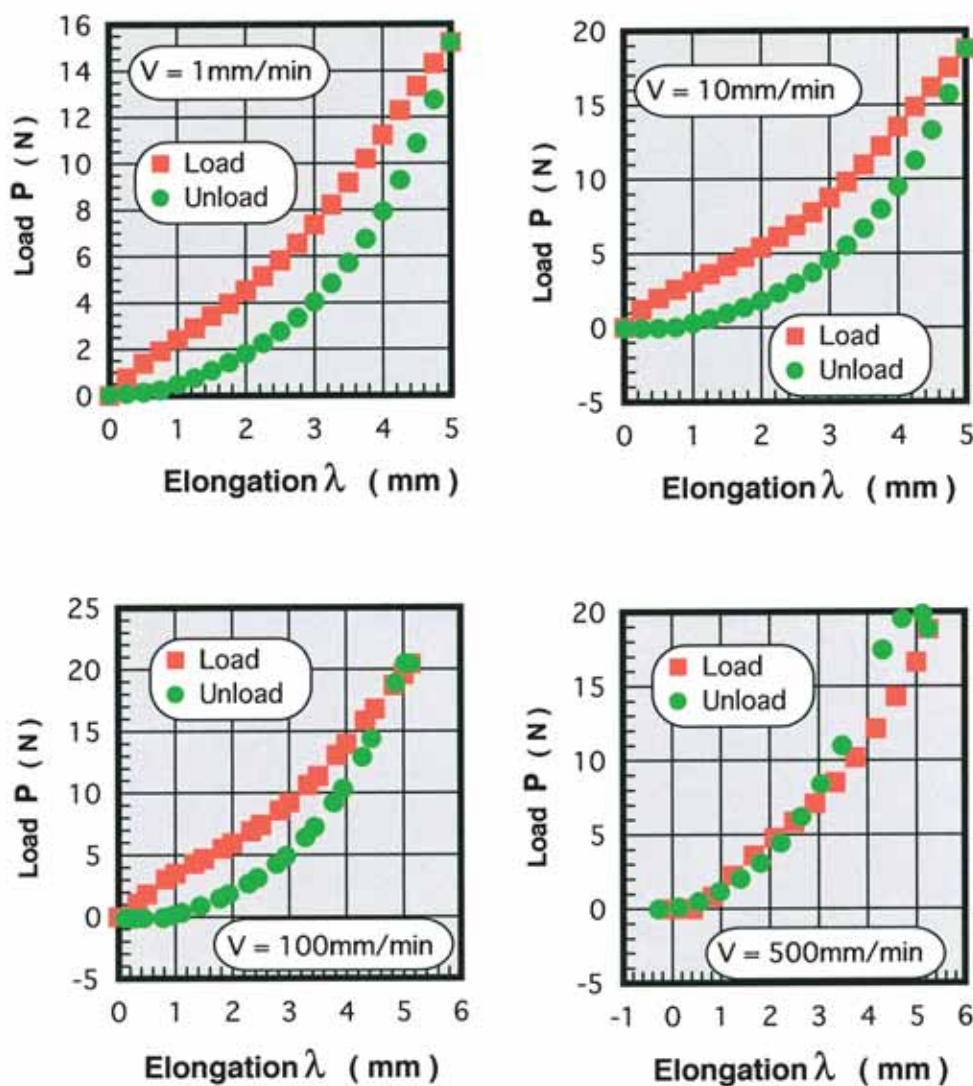


Fig. 6. Displacement rates dependent on load-elongation curve in constant displacement 5 mm

の時間遅れが現れたためにこのような力学応答が現れたと考えられる。これは、Fig. 5で検討したが観察されなかった速度依存性とは、負荷方法が異なるために観察されたとと思われる。サイクル試験で観察されたヒステリシスループに現れる負荷速度依存性は他の一定変位条件、1mm、2mm、10mm、でもほぼ同様な挙動が観察されている。このサイクル試験に使用した試験片を用いて残留伸びを計測した結果の1例をFig. 7に示す。残留伸びの定義は困難なので試験直後の評点間距離を計測し、試験前の標点間距離、50mmとの差を残留伸びとした。

図から明らかなように残留伸びは負荷速度が低速から高速に変化するのに伴って残留伸びは減少する傾向を示している。図中に近似曲線で傾向を示した。この現象は、負荷速度の変化すなわち、高速負荷速度では釣り糸が変位を受けている時間が短くなるために生じる現象だと考えられる。この傾向は、他の条件でも同様な傾向を示している。

次に、計測したすべての残留伸びと負荷速度の関係をプロットした結果を両対数グラフでFig. 8に示す。ここでは、残留伸びは評点間距離で除して残留ひずみとして縦軸に示した。すべての実験条件範囲内では、残留ひずみと負荷速度の関係は対数グラフ上で多少のばらつきは見られるものの1本の直線で表現できる可能性を示している。この直線は最小二乗法により近似されている。今後、詳細に検討することにより定量評価が可能になると考えている。定量評価が可能になれば、実際に魚を釣り上げたあとに糸の残留伸びによるリール等の不具合や、糸の交換時期などを明らかにすることができると思われる。

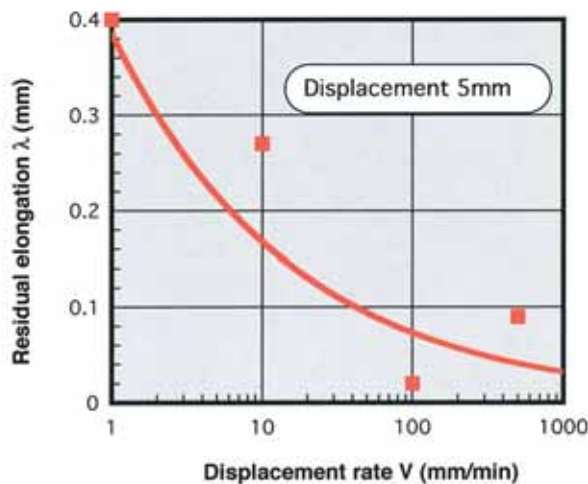


Fig. 7. Relationship between load speed and residual elongation

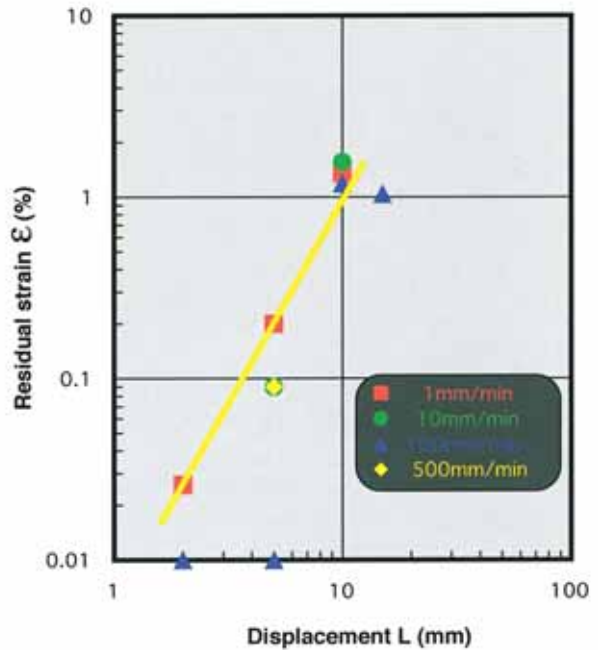


Fig. 8. Displacement length dependent on residual strain

4 結 言

ナイロン製釣り糸の引張り強度評価について検討した結果を簡単にまとめると以下のようである。

- 1) 本研究で開発した引張り試験方法は非常に有効であることが確認された。
- 2) 応力-ひずみ曲線では細い釣り糸ほど応力が大きい。
- 3) 負荷速度依存性は負荷時ではなく除荷時に現れる。

参考文献

1. 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, 水産工学, Vol.35 No.1 pp 23-28 (1998)
2. 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)
3. 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)
4. 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)
5. 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)
6. 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)
 7. 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)
 8. 日本工業規格, ナイロン短繊維法, JIS L 1024
 9. 日本工業規格, 一般紡績糸試験法, JIS L 1905