

超極細ナイロン6繊維の浸水時引張特性に関する検討

Study on Mechanical Properties for Nylon6 Super Micro Fiber in Water Immersed Condition

森島美佳
Mika MORISHIMA

宮本教雄
Norio MIYAMOTO

清水義雄*
Yoshio SHIMIZU
*信州大学繊維学部

城島栄一郎**
Eiichiro JOJIMA
**実践女子大学生活科学部

Abstract

Mechanical properties measured by tensile test of Nylon6 fibers with various diameters have been examined in standard, wet, water-immersed and water-immersed by JIS conditions. Tensile test in wet condition was performed under JIS L 1030. Tensile test in water-immersed condition was applied to the fibers dipped in water. Diameters of the fibers used for the tests were 2.2 and 2.9 (super micro fiber), 9.1 (micro fiber), 24 and 82 (normal fiber) μm . An influence of water evaporation to the mechanical properties measured in wet condition has been discussed, compared with those obtained in water-immersed and water-immersed by JIS conditions.

Keyword: super micro fiber, micro fiber, normal fiber, tensile property, tensile test

1. 緒言

引張試験は、強度、縦弾性係数、破壊伸度など、繊維の特性を知る上で非常に重要であり、また、計測が簡便であることから、一般的に行われている試験項目の一つである[1, 6]。JIS規格においては、標準条件と水中条件での試験が、JIS L 1030に定められている[7]。JIS L 1030による水中引張試験が実験的に困難である場合は、繊維試料を水に2時間以上漬けた後、水から取り出して計測を行なう暫定処理方法が採用されている。

これまでの研究において、断面直径が3 μm 以下の超極細繊維を水中で引っ張ることは非常に困難であったことから、水中時の引張特性は明らかにされていなかった。そこで、著者らは、JIS L 1030で提案されている暫定方法を用い、超極細繊維の湿潤時引張り特性を検討してきた[8, 11]。しかしながら、超極細繊維は、普通繊維と比較して、半径方向への水移動距離が短いため、JIS L 1030の暫定処理方法に従う試験方法では、水から試験片を取り出した後の水蒸発の影響が懸念される。

本報では、引張試験方法に工夫を凝らし、超極細繊維を水中に浸したままでの試験を行ない、超極細繊維の機械的特性に及ぼす水の影響について検討を行う。また、前者の実験結果とJISの暫定処理方法に従った湿潤時引張試験結果と比較し、湿潤時引張試験における水蒸発の影響について検討する。さらに、超極細繊維だけでなく、極細、普通繊維について、同様の検討を行い、湿潤時引張試験条件に伴う機械的特性に与える水蒸発の影響について、繊維直径に対して系統的に精査する。工夫した

浸水時試験方法に対する検証として、極細繊維および普通繊維を用い、JIS L 1030に従う水中条件での実験を行い、提案する浸水時試験方法の有用性を実証する。

2. 実験

2.1 試料

実験に用いた試料は、太さが異なるナイロン6繊維4種類である[8, 16]。表1に、試料コード、平均直径を示した。n02は超極細繊維試料に相当し、海島紡糸繊維である。3.1項で詳細に述べるが、n02は二種類の断面直径を有することから、小さい断面直径を示すものをn02[S]とし、大きい断面直径を示すものをn02[L]とした。n09は極細繊維試料に、n24、n82は普通繊維試料に相当し、直接熔融紡糸繊維である[17]。

Table 1 Diameters of nylon 6 fibers tested.

| Sample Code | $d^{1)}$ (μm) |
|-------------|----------------------------|
| n02[S] | 2.22 |
| n02[L] | 2.85 |
| n09 | 9.08 |
| n24 | 23.9 |
| n82 | 81.6 |

1) Measured by scanning electron microscope.

2.2 引張強度測定

2.2.1 試料作製

標準時引張試験[D]、湿潤時引張試験[W]および検証実験WI(J)]を行うに当たり、試料は従来通りのJIS法に従って用意

した〔7〕紙枠にはつかみ部分5mmと試料部分との区分を作った。繊維1本を試料区分内に張った状態にし、繊維の両端を紙片に接着した。

浸水時引張試験〔WI〕には、図1に示す試験片を採用した。引張試験機つかみ間隔と同じ長さのガラス管（内径0.2mm）を用意し、管内に繊維1本を通し、繊維の両端を紙枠つかみ部分に接着した。ガラス管は、紙片に挟まれて固定されており、試料繊維には、その質量が負荷されない状態である。

2.2.2 超極細繊維の強度試験方法

n02の標準時〔D〕、湿潤時〔W〕および浸水時〔WI〕の定速伸長型引張試験を行った。試験は、温度20℃、相対湿度65.0%に設定された恒温恒湿室内で計測した。JIS暫定処理法である湿潤時引張試験〔W〕では、同環境の恒温恒湿室で蒸留水に2時間浸漬した試料を、水中から取り出して1分以内に計測した。浸水時引張試験〔WI〕では、2.2.1項で述べた作製試料を用い、試験片のガラス管内に水を挿入して、引張試験を開始した。引張試験中は、毛管現象により、水はガラス管内から落ちることなく、繊維は、常に水と接している状態であり、試験中のガラス管内の水蒸発は無視できた。表2に、引張試験条件として、実験結果に採用した試料4種類の試験回数、試料長、引張速度を示す。n02の試験条件は、つかみ間隔10mm、引張速度100%・min⁻¹である。引張によってつかみ部分で切断された試料を除き、試験繊維は100本である。

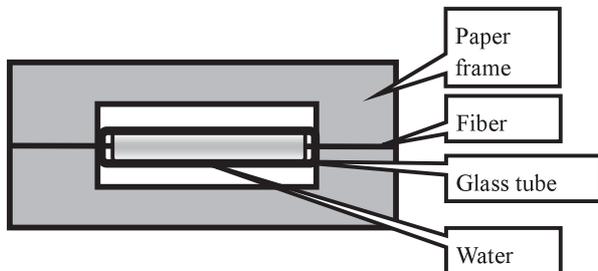


Fig. 1 Setting sample for tensile test of nylon 6 fibers in water-immersed condition.

Table 2 Procedure of the tensile test for the fibers in standard [D], wet state [W], water-immersed conditions [WI] and water-immersed by JIS L 1030 conditions [W(J)]

| Sample Code | n02 | n09 | n24 | n82 | |
|--|--------------|-----|-----|-----|----|
| Test number | [D] | 100 | 10 | 10 | 10 |
| | [W] | 100 | 18 | 15 | 23 |
| | [WI] | 50 | 10 | 10 | 10 |
| | [WI (J)] | | 10 | 10 | |
| Sample length (mm) | 10 | 20 | 20 | 20 | |
| Tensile speed (mm · min ⁻¹) | 10 | 20 | 20 | 20 | |

2.2.3 引張試験改良装置

n09、n24と同じ方法で、万能型引張試験機を使用し、n02の引張試験を試みたところ、6～7Hzの振動がノイズとしてあった。これは荷重にして、約0.6mNの変動幅であり、破壊荷重の約14～38%に相当した。超極細繊維の強度を測定する際、ロードセルとクロスヘッドが一体となっている万能型引張試験機では、試験試料自体が引張り時の振動の影響を大きく受ける。このため、高精度な引張り荷重が検出されることは困難である。

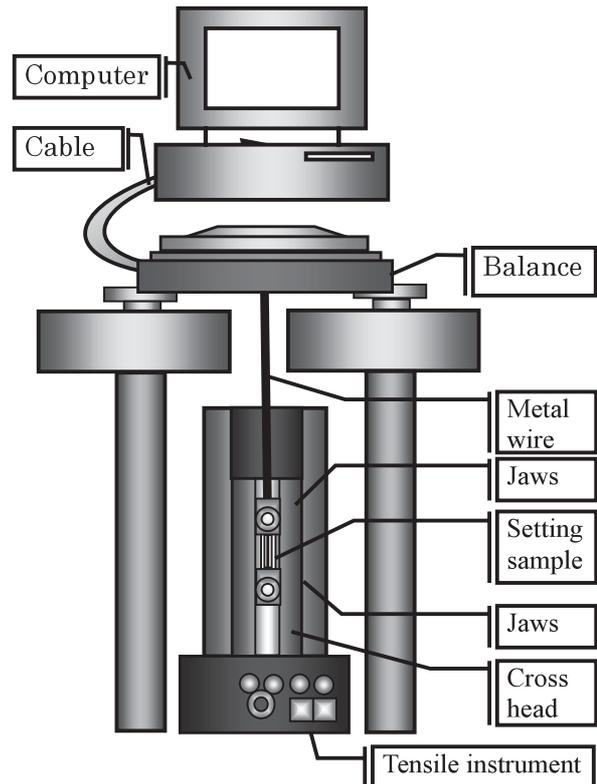


Fig. 2 Schematic diagram of the tensile test apparatus for tensile test of super micro fiber.

改良装置では、試料自体が引張り時の振動の影響を受けないように工夫する必要がある。そこで、クロスヘッド部分と検出器の分離を試みた。荷重測定には精度、ならびに感度の高い天秤を採用した。図2に、改良試作システムを示した。改良システムは、机下の引張試験機（新興通信工業社製）と机上に設置した天秤（ザルトリウス社製BP310S）からなる。天秤の計測データはパーソナルコンピュータにより処理する。熱流、気流の影響を防ぐために、試験機を板で囲い込んだ。検出には、1秒毎に天秤の数値を記録するソフトウェア（テイエステル社製CalcLogger for Win32）を利用した。

天秤の底部には、床下秤量用フックが装備されている。フックに金属ワイヤー（直径約1mm）引張試験機の上側つかみを順次設置した。上側つかみには、平行締付型ジョウ（12g）を用いた。上下つかみ部分にセッティング試料を取付けた後、セッティング試料の紙片に切り込みを入れ、繊維のみが引張ら

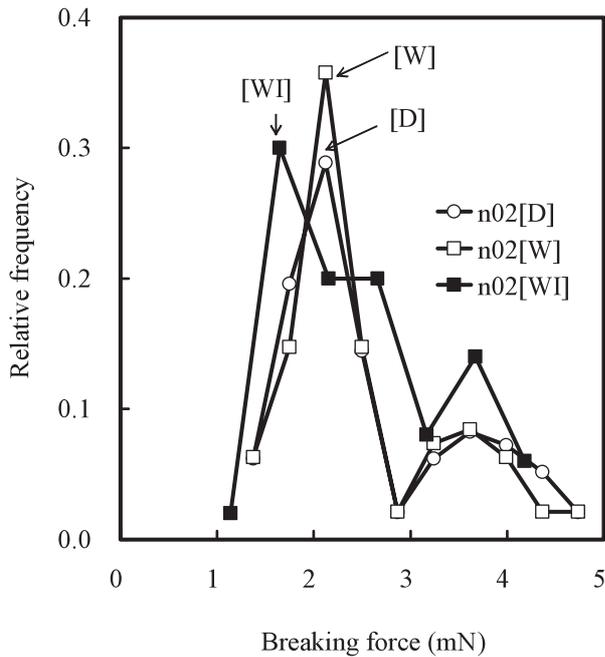


Fig 3 Distribution of the breaking forces for nylon 6 super micro fiber in the standard [D], wet [W] and water-immersed [WI] conditions.

れるようにした。試験においては、風袋消去を行うため、電子天秤のゼロ点を確定した後に、試料を下方方向に定速伸長し、引張り開始時から破壊するまでの荷重 伸長曲線を計測した。

改良システムで測定した超極細繊維の荷重 伸長曲線には、振動の影響は検出されず、滑らかな曲線を示した。この装置によって、0.01mNの精度で荷重を検出することができた。

2.2.4 極細繊維、普通繊維の強度試験方法

n09、n24、n82の標準時[D]、湿潤時[W]および浸水時[WI]の定速伸長型引張試験を行った。さらに、n09とn24を用い、

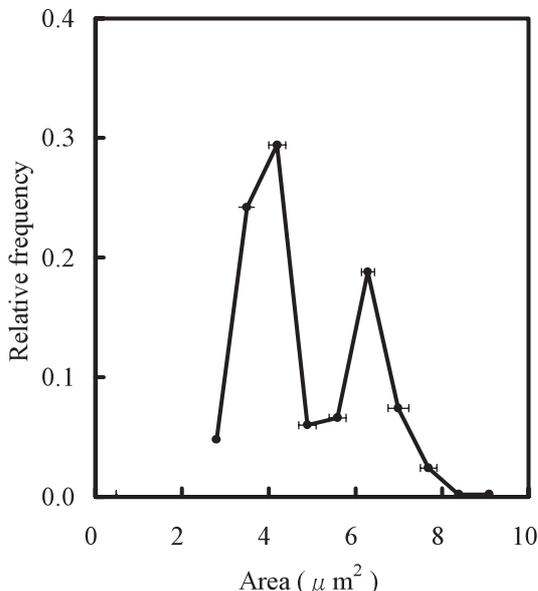


Fig 4 Distribution of the sectional areas of the nylon-6 super micro fibers.

浸水時引張試験 [WI]に対する検証実験 [WI (J)]として、水中での引張試験を行った。試験は、温度20、相対湿度65.0%に設定された恒温恒湿室内で計測した。標準時引張試験 [D]、湿潤時引張試験 [W]、浸水時引張試験 [WI]は、超極細繊維と同環境下、同方法で行った。JISに準ずる検証実験 [WI (J)]では、2時間浸漬した試料を水槽内に設置し、超極細繊維と同環境下で定速伸長型引張試験を行った。試験には、オリエンテック社製万能型引張試験機 (TENSILON RTM 100)を使用した。n09、n24は、ロードセルフルスケール100gf、平行締付型ジョウ (上側つかみ12g)を用いた。n82は、ロードセルフルスケール5kgf、エアジョウを用いた。

2.3 試料のキャラクタリゼーションの測定

2.3.1 密度の測定

試料4種類の密度 ρ は、密度勾配管法を用いて 25 ± 0.1 で測定した。密度勾配管内の混合溶液にはキシレンと四塩化炭素を用いた。実験では、吸湿による計測値への影響を防ぐため、 105 ± 0.5 恒温乾燥器内で2時間乾燥した試料を用いた。

2.3.2 熱特性の検討

走査型示差分析計 (島津 DT 40) を使用し、試料の融解開始温度、融解ピーク温度、融解熱を測定した。測定は、窒素雰囲気中で行った。昇温速度 $20 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 、試料重量約2.5mgである。標準物質にはアルミナ約5.0mgを用いた。大気中の水分の影響を防ぐため [18]、実験の前処理として 105 ± 0.5 恒温乾燥器で2時間乾燥した。測定回数は、試料4種類について約5回ずつである。

3. 実験結果および考察

3.1 超極細繊維の引張試験結果

図3に、標準時引張試験 [D]、湿潤時引張試験 [W]、浸水時引張試験 [WI]による超極細ナイロン6 繊維 n02の破断荷重の頻度分布を示した。横軸は、破断荷重を、縦軸は、その相対頻度を示した。標準時引張試験 [D]および湿潤時引張試験 [W]と同様に、浸水時引張試験 [WI]による破断荷重は、小さな荷重と大きな荷重の二つに分かれた。

応力 歪曲線を描く場合に、応力は、一般に平均断面積で荷重を除く方法がとられている。図4に、電子顕微鏡観測により算出した超極細繊維 n02の断面積の分布を示す。試料の側面観察から試料の断面直径を計測した。各試料において繊維100本を対象とした。繊維1本について5箇所測定した。延べ500箇所の計測により、断面積を算出した。ここで、繊維断面の観察から、試料の断面は円形であることが確認されている。断面積の分布は、破断荷重の分布と類似しており、正規性を示さないことが確認される。このことから、応力の算出方法として、断面積および荷重の平均値を採用する方法は、妥当とはいえない。そこで、図5に示す標準時引張試験 [D]、湿潤時引張試験 [W]

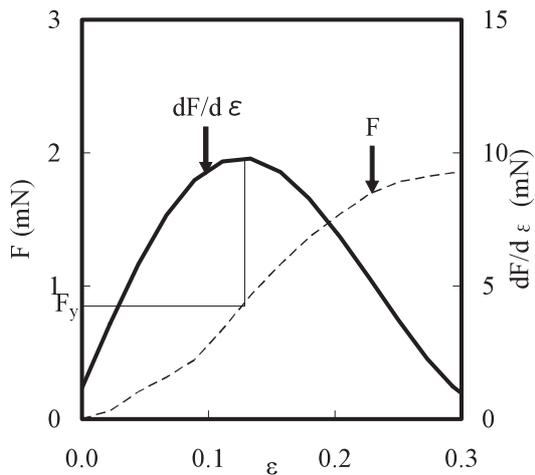
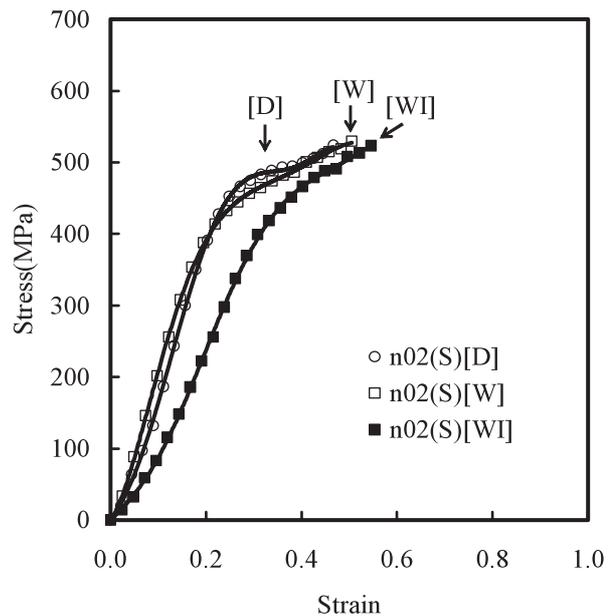


Fig 5 Schema of a modulus ($dF/d\varepsilon$) versus strain (ε) curve with yield point and a corresponding force (F) versus strain (ε) curve of nylon-6 fiber.

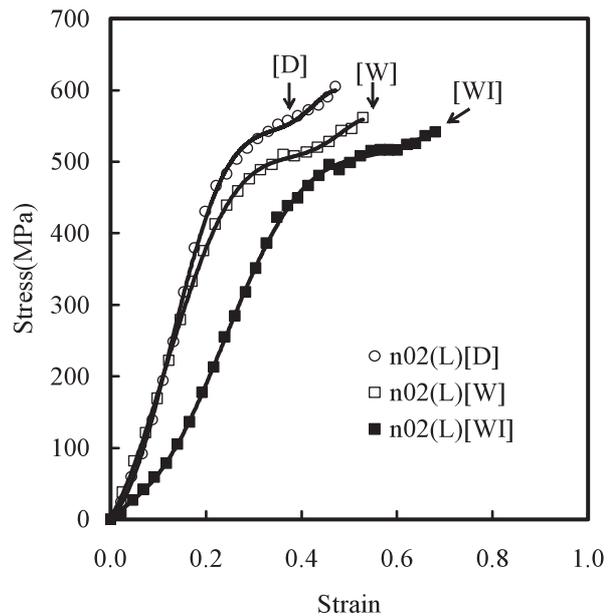
浸水時引張試験 [WI] の全ての試験条件における破断荷重と、荷重 歪曲線について求めた最大荷重変化量（第一変曲点）に対応する荷重の2つの変数について、クラスター分析を行なった。類似度計算方法は、ユークリッド平方距離であり、クラスター結合手法は、ワード法である。同様の方法で、断面積についてもクラスター分析を行なった。この解析結果をもとに、小さな断面積を示すクラスターに対応する荷重 歪曲線のクラスターについては、荷重を小さな断面積で除し、また、大きな断面積を示すクラスターに対応する荷重 歪曲線のクラスターについては、荷重を大きな断面積で除すことにより、2種類の応力 歪曲線を算出した。図6に、標準時引張試験 [D]、湿潤時引張試験 [W]、浸水時引張試験 [WI] について、小さな断面積を有する繊維の応力 歪曲線 (S) と大きな断面積を有する繊維の応力 歪曲線 (L) として示した。

小さな断面積を有する繊維の応力 歪曲線 (S) と大きな断面積を有する繊維の応力 歪曲線 (L) とともに、浸水時引張試験 [WI] では、標準時引張試験 [D] および湿潤時引張試験 [W] に比して、各歪における応力は小さく、曲線中の最大縦弾性係数（第一変曲点における値）は減少し、破断伸度は上昇した。これらの結果は、ナイロン6繊維の機械的特性に対する水の影響を示している。また、標準時試験 [D] 及び湿潤時引張試験 [W] の結果と浸水時引張試験 [WI] の結果に差があるということは、湿潤時引張試験 [W] における暫定処理方法が、水の影響を調べる方法として、超極細繊維には適さないことを示している。

小さな断面積を有する応力 歪曲線 (S) と大きな断面積を有する応力 歪曲線 (L) との比較において、歪0 2の応力低下率 $[D]-[W]/[D]\times 100$ 、 $[W]-[WI]/[W]\times 100$ は、応力 歪曲線 (S) では1%、43%、応力 歪曲線 (L) では13%、59%であり、応力 歪曲線 (L) の方が、浸水の影響を受けやすいことが、実験的に明らかになった。



(S) Small group:
average sectional area of $3.9 \mu\text{m}^2$



(L) Large group:
average sectional area of $6.4 \mu\text{m}^2$

Fig 6 Stress-strain curves for nylon 6 super micro fibers with small and large sectional areas in standard state [D], wet state [W] and water-immersed [WI] conditions.

3.2 極細繊維、普通繊維の引張試験結果

図7に、n09、n24、n82の標準時引張試験 [D]、湿潤時引張試験 [W]、浸水時引張試験 [WI] による応力 歪曲線を示す。これら試料繊維3種類の湿潤時引張試験 [W] による応力 歪曲線は、標準時引張試験 [D] に比して、各歪における応力が小さく、破断伸度は増大し、破断強度、最大縦弾性係数は低下した。これは、ナイロン6繊維の引張り特性に及ぼす一般的な水の影響を反映する結果である [19]、さらに、試料繊維3種類の浸

超極細ナイロン6 繊維の浸水時引張特性に関する検討

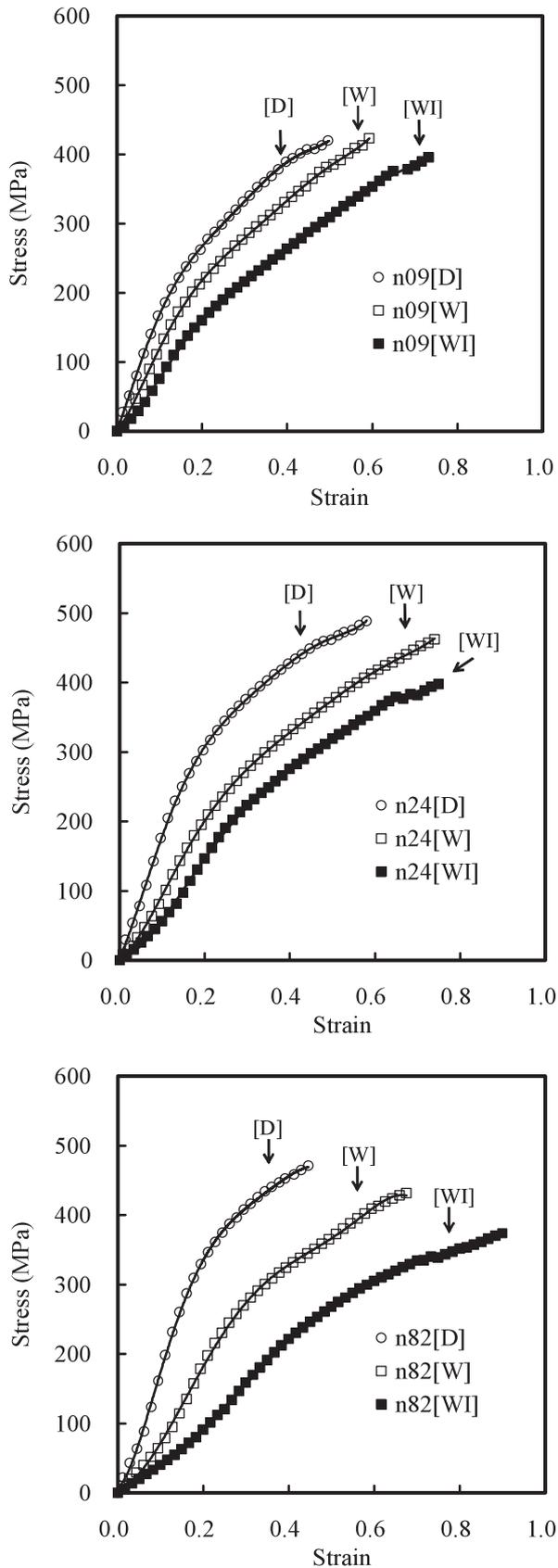


Fig. 7 Stress- strain curves for nylon 6 fibers in standard [D], wet [W] and water-immersed [WI] conditions.

水時引張試験 [WI] による応力 歪曲線は、湿潤時引張試験 [W] によるものよりも、水の影響をより大きく受けていることがわかる。

3.3 浸水時引張試験方法に対する実験方法の検証結果

図8に、n09とn24の標準時引張試験 [D]、湿潤時引張試験 [W]、浸水時引張試験 [WI] および浸水時引張試験に対する検証実験 [WI (J)] の縦弾性係数 E を示す。横軸には、それに対応する破断強度を示す。n09およびn24について、湿潤時引張試験 [W] による縦弾性係数は、標準時引張試験 [D] のそれよりも小さいことがわかる。さらに、浸水時引張試験 [WI] および検証実験 [WI (J)] の縦弾性係数は、湿潤時引張試験 [W] のそれよりも小さいことが観測される。湿潤時引張試験 [WI] と検証実験 [WI (J)] の縦弾性係数について、統計的手法を用い、 t 検定を行った結果、両者間で有意な差は認められなかった。このことから、本研究で工夫を凝らした浸水時引張試験方法 [WI] は、引張試験特性への水の影響を効果的に反映させるものであると言える。以上の結果より、引張試験が困難である超極細繊維の浸水時引張試験には、これまでに述べてきた浸水時引張試験片の採用を提案する。

3.4 繊維径に対する乾湿比

図9に、標準時引張試験 [D] に対する湿潤時引張試験 [W]、浸水時引張試験 [WI] の破断伸度、破断強度、最大縦弾性係数の乾湿比 $[W]/[D]$ 、 $[WI]/[D]$ を断面積に対して示す。試料4種類全ての機械的特性について、浸水時の乾湿比 $[WI]/[D]$ は、湿潤時の乾湿比 $[W]/[D]$ と同様の傾向を示し、断面積が小さい程1に近づく傾向を示すが、後者はいずれも前者に比して、1近くに位置している。

図10に、浸水時引張試験 [WI] に対する湿潤時引張試験 [W] の最大縦弾性係数、破断強度、破断伸度について、水蒸発の影響を $[W]-[WI]/[WI] \times 100$ で表し、断面積に対して示す。この値が0であれば、湿潤時引張試験 [W] の暫定方法が正しく湿潤された状態を観測していることを表す。図7の結果は、ほとんどすべての測定において、水蒸発の影響が現れていることを示唆するものである。湿潤時引張試験 [W] において、水蒸発の影響が少ないと予測される普通繊維についても、水蒸発の影響を受けていることがわかる。

超極細繊維 n02 の縦弾性係数に及ぼす水の影響 $[D]-[WI]/[D] \times 100$ は、小さな断面積を有するグループでは31%、大きな断面積を有するグループでは39%であり、普通繊維 n82 のそれが68%であるのに比して少ないものの、存在することが、浸水時引張試験 [WI] により明らかとなった。

3.5 乾湿比と繊維構造との対応

以上に述べた断面積が小さいものほど応力 歪特性への水の影響は小さいという結果は、密度勾配管法および DSC 法により測定した熱的特性値から算出される非晶密度に対応する。

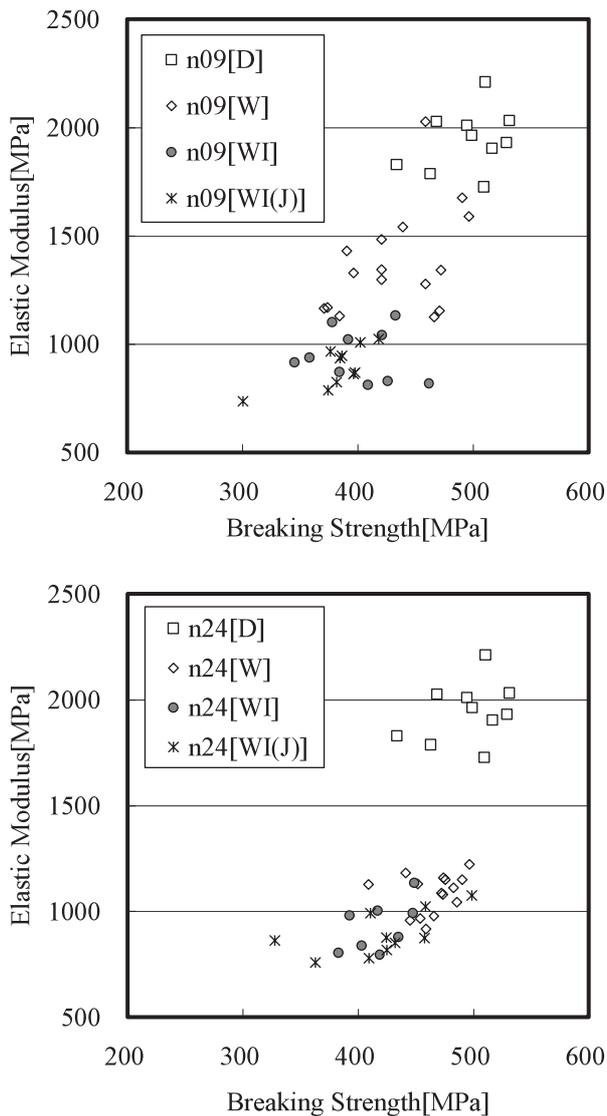


Fig 8 Elastic modulus versus breaking strength for nylon 6 micro fiber and normal fiber in dry [D], wet [W], water-immersed [WI] and water-immersed by JIS L 1030 [WI(J)] conditions.

表3に、試料の融解熱、融解ピーク温度、融解開始温度、密度、非晶密度を示した。観測された試料4種類の融解曲線のピークは単一であり、その形状は断面積が小さいものほど鋭いものであった。融解ピーク温度は、断面積が小さいものほど低温側に現れた。他の試料に比してn02は顕著に低かった。実験値は、文献値と比較して妥当であることが確認された[20]。融解開始温度は、同程度であった。

非晶密度 ρ_a は、融解熱および密度 ρ から、Todaらの方法に準じて(1)式により算出した[21]

$$Ma = Ms - Mc$$

$$Va = Vs - Vc \quad (1)$$

$$\rho_a = Ma \cdot Va^{-1}$$

ここで、 $Ma(g)$ は非晶質量、 $Ms(g)$ は試料質量、 $Mc(g)$ は結晶質量 $MsS \cdot Q^{-1}$ である。 $S(J)$ は融解熱、 $Q(J \cdot g^{-1})$ は結晶融解熱であり $Q = 230$ を採用した[22]。 $Va(cm^3)$ は非晶体

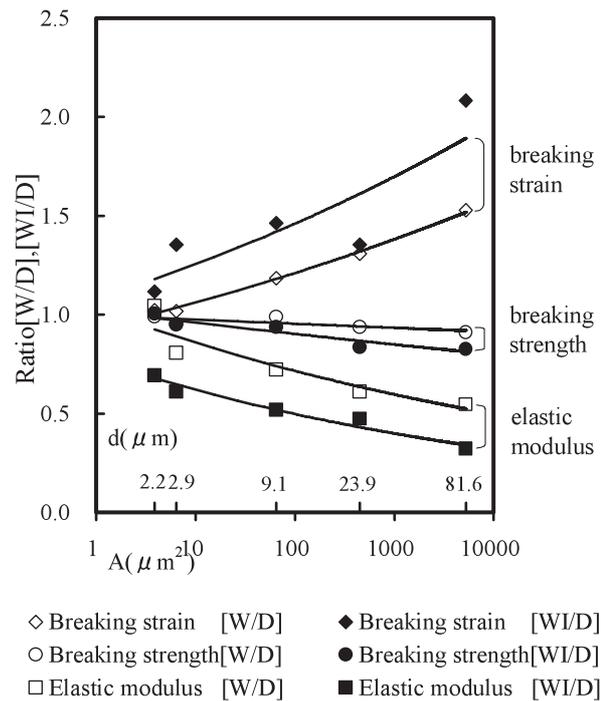


Fig 9 Ratio of breaking strain, breaking strength, and elastic modulus in wet [W], water-immersed [WI] versus standard [D] conditions for nylon 6 fibers different in average diameters.

積、 $V_s(cm^3)$ は試料体積 $Ms \cdot \rho^{-1}$ 、 $V_c(cm^3)$ は結晶体積 $Mc \cdot \rho_c^{-1}$ で表される。 $\rho_c(g \cdot cm^{-3})$ は結晶密度であり、 $\rho_c = 1.230$ を採用した[23]。算出した非晶密度 ρ_a は、断面積が小さいものほど大きいことがわかる。実験値は、文献値と比較して、妥当であることが確認された[18]。以上の結果から、普通繊維に比して超極細繊維の非晶領域における凝集密度が大きく、超極細繊維は水の浸入による高分子鎖間の滑りが生じ難いことが推察される[24]。このため、超極細繊維については、機械的特性への水の影響が、普通繊維よりも小さく現れることが考察される。

4. 結語

超極細繊維の標準時引張試験、試料を水に2時間浸した後水から取り出して計測を行なうJIS L 1030暫定処理方法に従う湿潤時引張試験、これまで超極細繊維を引っ張ることが困難であった浸水時引張試験を行い、超極細繊維の引張特性への水の影響を検討した。超極細繊維は、標準時引張試験、湿潤時引張試験、浸水時引張試験により、全ての条件において、小さな破断荷重を示すグループと大きな破断荷重を示すグループに分かれることがわかった。これは、超極細繊維が小さな断面積と大きな断面積の2つのグループに分かれるという、断面積の分布に起因されることが実験的に明らかになった。

小さな断面積を有するグループと大きな断面積を有するグループについて、それぞれ応力-歪曲線を求めた結果、大きな断面積を有するグループの方が、水の影響をより大きく受ける

超極細ナイロン6 繊維の浸水時引張特性に関する検討

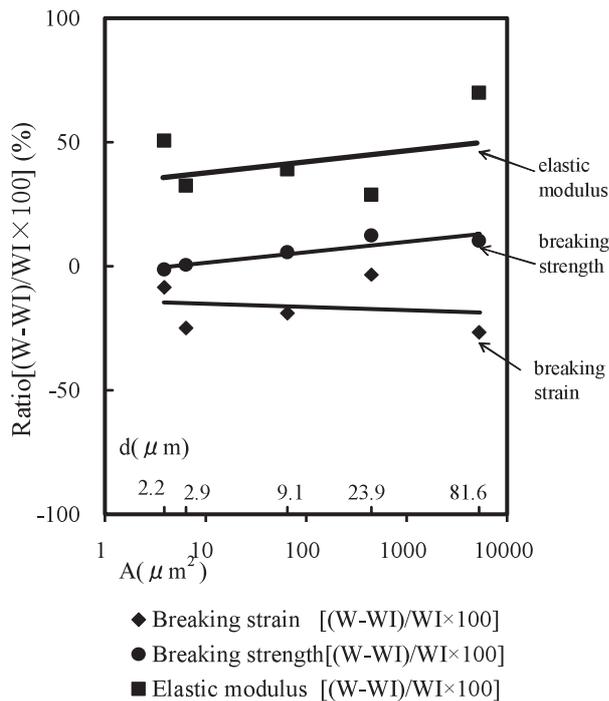


Fig. 10 Ratio of breaking strain, breaking strength, and Elastic modulus for four nylon6 fibers at wet[W] versus water-immersed [WI] conditions.

Table 3 Characterization for crystalline of the fibers

¹Heat of fusion, Melting point and Peak temperature determined by the differential scanning calorimeter.

²Density determined by the density-gradient-column.

³Amorphous density determined by the density-gradient-column and the differential scanning calorimeter.

| Sample Code | n02 | n09 | n24 | n82 |
|---|-------|-------|-------|-------|
| ¹ Heat of fusion ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$) | 66.5 | 67.5 | 65.8 | 69.8 |
| ¹ Melting peak temperature() | 219.1 | 220.6 | 222.4 | 222.8 |
| ¹ Melting point () | 213.0 | 213.4 | 212.9 | 212.9 |
| ² Density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 1.145 | 1.144 | 1.142 | 1.142 |
| ³ Amorphous density($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 1.113 | 1.112 | 1.110 | 1.107 |

ことが実験的に明らかになった。

断面積の違いによる水の影響を精査するため、極細繊維、普通繊維についても同じ試験を行なった。その結果、浸水時引張試験において、湿潤時引張試験よりもより大きく、水の影響を受けていることがわかった。浸水時引張試験方法に対する検証実験として、JIS法に準ずる水中での引張試験を行い、浸水時引張試験結果と比較した。その結果、浸水時引張試験結果は水中時引張試験結果と同様の結果を示した。

JIS L 1030暫定処理法による水の蒸発の影響について検討を行なった結果、水移動距離が短い超極細繊維だけでなく、普通繊維においても水蒸発の影響を受けていることがわかった。以上の結果から、水中から取り出して、手早く試験を行なったとしても、水蒸発の影響は、無視できないことが判明した。繊維径に対する試料ナイロン6繊維4種類の引張特性への水の影響

は、繊維の非晶領域の凝集構造に起因されることが推察された。

以上の結果から、引張試験が困難である超極細繊維の浸水時引張試験には、本研究で工夫を凝らした試験片の採用を提案した。

謝辞

本研究を行うにあたり試料を提供していただきました東レ株式会社 感謝申し上げます。

文献

1. Japan Chemical Fibers Association, "Fiber handbook 2001", Gaitame Printing Co., LTD, p. 309(2000)
2. K.Hashimoto, K.Kakumoto (UNITIKA LTD.), Jpn. Kokai Tokkyo, 292221(1998)
3. M. Murata, M. Shibata (Asahi Kasei Corporation), Jpn. Tokkyo Koho, 218539(1996)
4. T. Mizuki, A. Tawara, H. Takahashi (Toray Industries.Inc.), Jpn. Tokkyo Koho, 28940(1995)
5. Japanese Industrial Standards Committee, "JIS L 1013", Japanese Standards Association, p.7(1999)
6. M. Morishima, N. Miyamoto, A. Morikawa, Y. Shimizu and E. Jojima, Sen'I Gakkai Preprints, 2B12(2003)
7. M. Morishima, A. Morikawa, H. Gocho, E. Jojima and Y. Shimizu, Sen'I Gakkaishi, 58, 29(2002)
8. M. Morishima, A. Morikawa, H. Gocho, E. Jojima, Y. Shimizu, Nihon kasei gakkai Preprints(2001)
9. M. Morishima, A. Morikawa, H. Gocho, E. Jojima and Y. Shimizu, Nihon Kasei Gakkai Chubu chapter Preprints, C3(2001)
10. M. Morishima, A. Morikawa, H. Gocho, E. Jojima and Y. Shimizu, Sen'I Gakkai Preprints, 1E14(2001)
11. M. Morishima, A. Morikawa, H. Gocho, E. Jojima and Y. Shimizu, Sen'I Gakkaishi, 57, 368(2001)
12. M. Morishima, A. Morikawa, H. Gocho, E. Jojima and Y. Shimizu, Sen'I Gakkaishi, 57, 69(2001)
13. M. Morishima, H. Gocho, E. Jojima, A. Morikawa, Y. Shimizu, Kasei gakkai Chubu chapter Preprints, C5(2000)
14. M. Morishima, H. Gocho, E. Jojima, A. Morikawa, Y. Shimizu, Kansei kougakukai Preprints, G 02(2000)
15. E. Jojima, M. Morishima, A. Kobayashi, BULLETIN OF JIS-SEN WOMEN'S UNIVERSITY, 36, 125(1999)
16. M. Morishima, E. Jojima, H. Gocho, Sen'i Gakkai, Preprints, F 33(1998)
17. K. Miyasaka and M. Okamoto, "Shinn gousei senni", Dainippon Tosho Co. Ltd.(1996)

- 18 . M. Todoki, T. Kawaguchi, Kobunshi Ronbunshu, 32, 363
(1975)
- 19 . Japan Chemical Fibers Association, “Fiber handbook 2001”,
Gaitame Printing Co., LTD, 309(2000)
- 20 . N. Tamura, T. Sakai, T. Sakai, Nihon kasei gakkaiishi, 47, 679
(1996)
- 21 . T. Toda, H. Yoshida, K. Fukunishi, Sen’i Gakkaishi, 50, 599
(1994)
- 22 . J. Brandrup, E. H. Immergut, “Polymer handbook”, John Wiley
& Sons, Inc., V/108(1989)
- 23 . H. Narita, K. Shibahara, S. Machida, Sen’i Gakkaishi, 31, T 128
(1975)
- 24 . K.Matsumoto and K.D.Choul, Sen’I Gakkaishi, 43, 46(1987)
(提出期日 平成15年12月10日)