

太デニールポリエチレン繊維製造技術

加工技術部 丹羽隆治、西村美郎、松原 晃

1. はじめに

産業用資材として使用されているポリエチレンモノフィラメントは、通常400 d前後の太さのものが多く使われているが、生産の効率化と耐久性からみると太デニールほど有利であり、また原糸の特徴を生かした新規用途も期待される。

太デニールモノフィラメントは紡糸時に発生する気泡の防止や紡糸温度、冷却、延伸などの紡糸条件を研究する必要がある、また、この原糸で製造したロープ、網などの物性や耐久性についても比較検討する必要がある。

2. 実 験

2.1 PEモノフィラメントの紡糸

200～2000dのモノフィラメントを次の条件で紡糸した。

PE樹脂：エースポリマー(株)、MFR=1.0

紡糸条件：紡糸温度 230℃、冷却水温 30℃、

アニーリング 130℃、94%、

延伸倍率 9 倍

2.2 試作ロープの構成、規格

200～1500dの各々のモノフィラメントを使用し、4mmφ3つ打ちロープを試作した。ロープの下燃は1mm当り123回、上燃は68回、綿密度は約7～8 g/mmである。ロープの構成を表1に示す。

2.3 物性試験

物性については引張強さと伸び率、剛軟性び曲げ反発性を測定し、各ロープを比較した。

強伸度 JISL 1013

剛軟度 JISL 1096 カンチレバー法、ガーレ法

2.4 耐久試験

サンシャインウエザーメータで照射後の残存強度と摩耗及び屈曲試験を行い比較した。

耐 候 JISL 1096 サンシャインウエザーメータ
照射時間、50、100、200、400、600 時間

摩 耗 ロープ摩耗試験機 グライNDER-#24
50回/分、荷量 3 kg

屈 曲 屈曲試験機、屈曲角180°(90°+90°)
20回/分、荷量 10 kg

表1 4mmロープの構成と綿密度、強伸度、強力利用率

原糸デニール (d)	構成本数 (本)	線密度 (g/m)	引 張 強 さ (K g f) (g/d)		伸び率 (%)	原糸強力 利用率(%)
200	96×3	7.46	261	3.92	26	53.4
400	48×3	7.36	272	4.12	26	55.0
600	32×3	6.95	252	4.14	24	56.7
800	24×3	7.25	244	3.90	25	58.1
1000	19×3	6.76	229	3.77	24	59.2
1200	16×3	7.28	229	3.49	25	59.4
1500	13×3	8.03	244	3.38	26	60.0

3. 結果及び考察

3.1 フィラメント及びロープの物性値の比較

モノフィラメント及び試作ロープの引張強さを表1、図1に示す。原糸の強度は6.1~7.4(g/d)であるが、太デニール(800d以上)になると強度は低下する。ロープに用いた場合の原糸の強力利用率は50~60%である。(図2)

太デニールになるほど原糸の総数が減少するため、同径のロープでは原糸が太くなるほど強力利用率は大きくなる。これらのことから、同径のロープの強度を比較すると、ほとんど同じ強さになる。

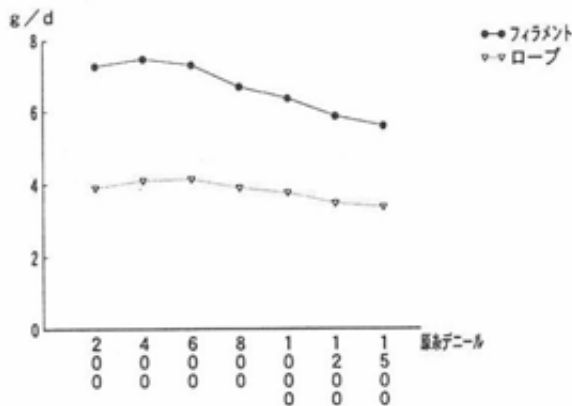


図1 引張り強さ

ロープの剛軟性については適当な評価方法がないため、織物の剛軟度を測定するカンチレバー法及びガーレ法で測定した。その結果を図3、4に示す。カンチレバー法は45°の斜面に水平方向からロープを延ばし、自重で斜面に届くまでの長さ測定する方法で、硬いロープほど大きい数値になる。ガーレ法は曲げ反発性を物理量(N)で表わすため、定量的な比較ができる。剛軟度の試験結果(図3)より、原糸デニールが太くなるほどロープは硬くなる。特に1000d以上のモノフィラメントを使用したロープでは400dのロープに比べ、かなり硬い手触りがする。また、曲げ反発性(図4)は、原糸デニールが4倍になるとほぼ2倍に増加(原糸の直径に比例)する。

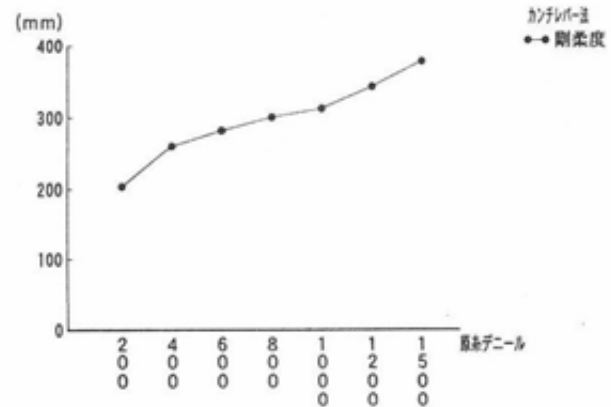


図3 PEロープ剛軟度

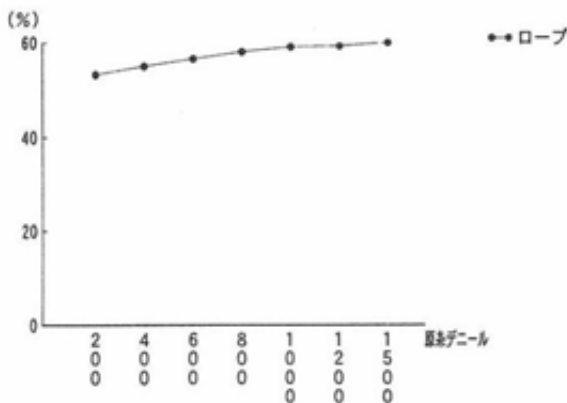


図2 強力利用率

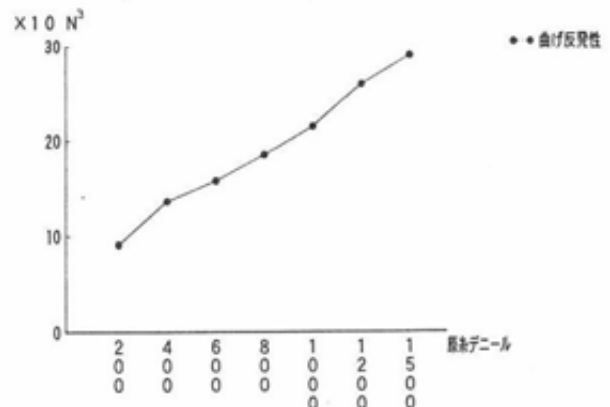


図4 PEロープ剛軟度

3.2 気泡の発生状況

フィラメント紡糸時に発生する気泡は、未延伸糸が急冷されることによってフィラメントの外部が固化し、その後内部が固化する際の体積収縮によって発生する空間である。

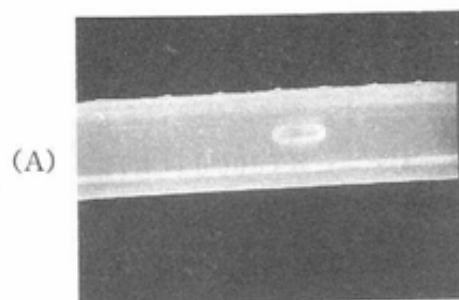
表2はメルトインデクサーで測定したポリエチレンの溶融密度である。今回使用した樹脂の密度は30℃で0.94 g/cm³だが、紡糸温度230℃では0.676 g/cm³であるので、冷却により28%の体積収縮が発生することになる。また、紡糸直後の未延伸糸気泡含有部を徐々に加熱すると泡部分が消滅することから、泡内部は減圧状態とみられる。この気泡は真空泡とよばれ、延伸時の糸切れや強度低下の要因になるため、太デニールモノフィラメントの紡糸時には特に問題になる。

なお、加藤らの報告¹⁾では、HDPEは製造メーカーやグレードの違いにより真空泡の発生しやすさに大きな差があると述べている。

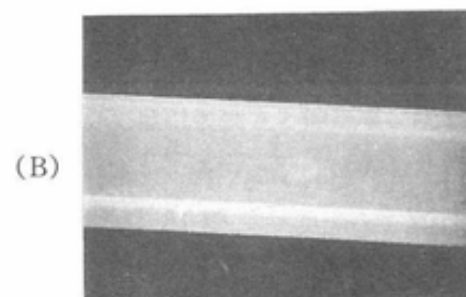
気泡の発生状況を調べるため未延伸糸をとり、マイクروسコープで外形及び1 m当りの個数を観察した。気泡は800 d以上の太デニール（未延伸糸で7200 d）で発生し、その形状は図5のように様々である。未延伸糸では、気泡の大きさは糸径の30%を越えるものもあるが、延伸糸では最大20%程度、繊維軸方向に筋状に見える。

表2 ポリエチレンの溶融密度

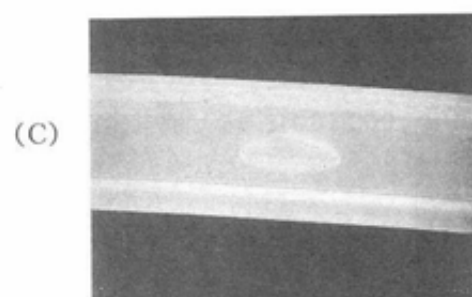
温度(℃)	溶融密度 (g / cm ³)	
	樹脂 A (MI=1.0)	樹脂 B (MI=0.4)
190	0.694	0.698
230	0.676	0.677



800d 未延伸糸



1500d 未延伸糸



1500d 未延伸糸



1500d 9倍延伸糸

図5 気泡の発生状況

正常部分との強度を比較するため明確に気泡が認められるところを数か所とり、強伸度を測定したのが表3である。気泡含有部分の強力比は90～98%、最大10%程度の強度低下であるが、外観ほど強度低下していない。

気泡の発生を防止するには未延伸糸の冷却速度を遅くすればよいが、これには①紡糸温度を下げる ②エアーギャップを長くする ③未延伸糸の引取速度を遅くする ④延伸槽の冷却温度を上げるなどの方法がある。①～③は紡糸条件から制約を受けるため、④について検討した。

表3 気泡含有部の強度(1500d)

正 常 部		気 泡 含 有 部	
引張強さ (Kgf)	伸び率 (%)	引張強さ (Kgf)	伸び率 (%)
9.31	20.0	8.88	22.4
		8.40	22.4
		9.29	22.3
		7.92	15.9
		7.29	12.9

3.3 冷却槽温度による気泡の発生状況

冷却水を35、50、65℃に設定し、この条件下での各未延伸糸の太さにおける気泡の1m当りの発生個数及び大きさを測定した。その結果が図6、7である。未延伸糸が太くなる程、また冷却温度が低下するほど気泡は多発し、泡径も大きくなる。これらの結果から、冷却水を65℃以上に上げれば気泡の発生をかなり減少させることが可能であるが、冷却水を上げると未延伸の表面で突沸し糸づらが悪化するメルトフラクチャーとよばれる現象や糸のゆらぎが起きるため、冷却水温は60～65℃が限界である。

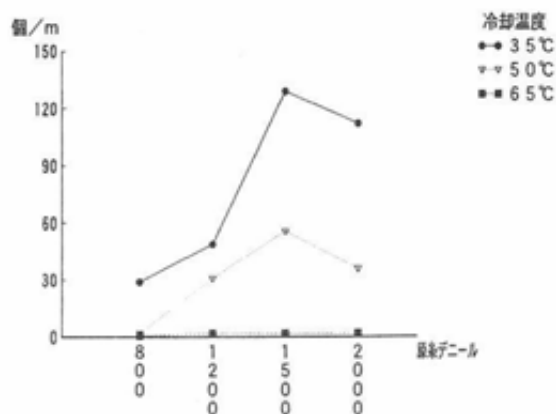


図6 冷却温度による気泡の発生状況

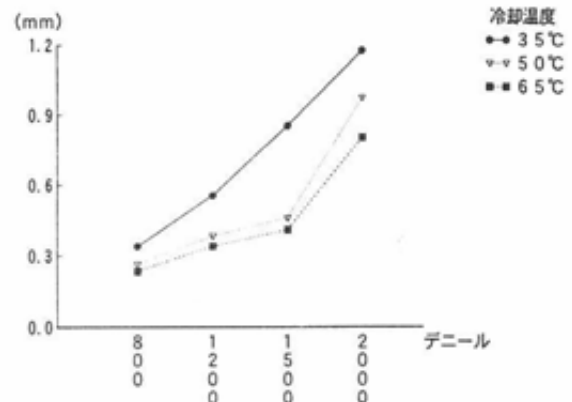


図7 気泡の大きさ

3.4 原糸の違いによる耐久性の比較

3.4.1 摩耗強度

原糸が太いほど摩耗による糸切れが起こりにくいため、太デニール糸を使用すると、ロープの耐摩耗性が向上することが期待される。

摩耗試験の結果を図8に示す。原糸が最も太い1500dのロープは摩耗回数5300回で切断した。600dまでは原糸が細くなるほど切断までの摩耗回数が減少した。しかし400dでは逆に増加し、最も細い200d原糸のロープでは摩耗回数は600dと同程度となった。これは、ロープ摩耗試験機では摩耗のストロークごとに試料を半回転させているためで、原糸の細いロープほど柔らかく柔軟性に富み摩耗されにくくなるからで、これらの総合的現象として切断が起きるものと推察される。

3.4.2 屈曲強さ

ロープの屈曲疲労については、繊維の素材や表面形態の比較、屈曲角度、荷重、温度などの試験条件の違いについて種々検討されている。²⁾³⁾

PEモノフィラメントについても屈曲による強度低下が著しいと報告されている。⁴⁾ 繊維についてはモノとマルチフィラメントロープが比較されており、モノフィラメントロープは耐屈曲性が劣ることから、繊維が太いと屈曲時の応力が大きく、破壊が進行し易いと報告されている。しかし、PE 200dと400dの差は微少で、明確ではないと述べている。

図8に試験結果を示す。原糸デニールが太くなるほどロープの耐屈曲性は低下し、その違いは明確である。剛軟度の試験結果で述べたように、ロープを構成しているフィラメントが太くなるほどロープは硬くなり、外部からの変形に追従できなくなるため耐屈曲性は低下する。ロープの剛軟性と屈曲疲労特性とは密接な関係がある。

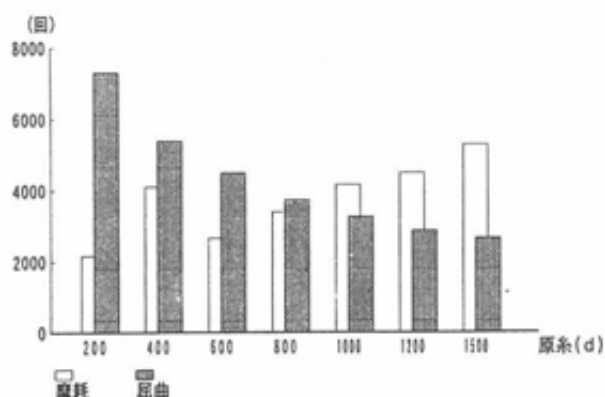


図8 PEロープ摩耗、屈曲試験

3.4.3 耐 候 性

ロープや網などの屋外で使用する産業資材の劣化の最大の要因は光による劣化である。光劣化は繊維の表面層から起こり内部へと進行するため、表面積の割合が小さい太デニールモノフィラメントは耐候性に優れていると予想される。

モノフィラメント及びロープについて、サンシャインウェザーメータで50~600時間まで照射し、原糸デニールの違いによる残存強度の違いを比較した。その結果を図9, 10に示す。モノフィラメントについては、1500dは強度低下が小さいが、デニールの違いによる明確な傾向はみられなかった。同様に、ロープでは耐光性の違いはほとんど認められない。

市販の12mm径のPPモノ及びマルチフィラメントロープについて、サンシャインウェザーメータと屋外暴露による耐候性を比較した結果や、ナイロンのモノとマルチ、ビニロンのモノとマルチフィラメントを用いた1500~2000dのより糸につい

ての耐候性を比較した結果⁶⁾でも、光劣化による強度低下はモノ、マルチ(デニールの違い)間ではほとんど差が認められない。これは、モノフィラメントは光の透過性がよく、一様に光劣化していくためか、他の要因によるものかその理由は明らかでない。この点については今後さらに詳細な実験を重ね、解析していく必要がある。

また、ロープはこれを構成しているフィラメントより光劣化の進行が早い。これはロープが製造工程で燃を掛けるためフィラメントに応力がかかり、光劣化が促進されるものと思われる。屋外で使用する場合は、自然光、応力、温度変化、風雨などの諸々要因が複合的に作用するため、耐久性の比較は、実際の使用環境に近い状態で評価する必要がある。

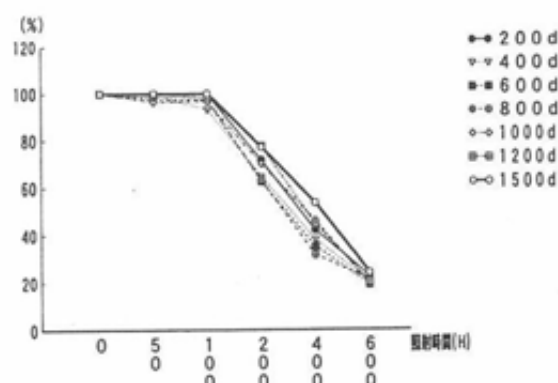


図9 PEモノフィラメント残存強度

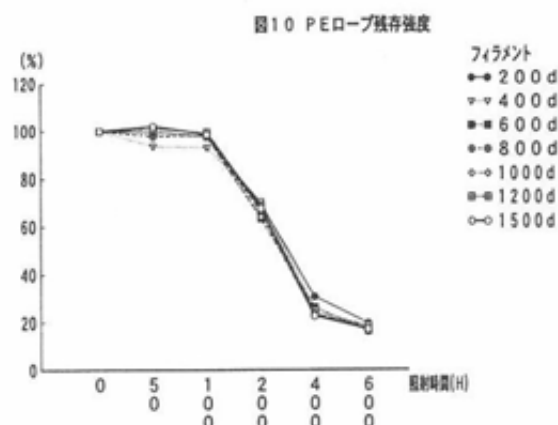


図10 PEロープ残存強度

4. ま と め

太デニールPEモノフィラメントを紡糸してロープを試作し、強伸度、硬さ、曲げ反発性などの物性及び、摩耗、屈曲、耐候性を測定し、400d前後の通常のモノフィラメントを用いたロープと比較し、次の結果を得た。

- 1) 太デニールポリエチレンモノフィラメントを使用したロープは、400d 前後通常のロープに比べ原糸強力(g/d)は低いが原糸の強力利用率が大きいため、同径のロープでは強力はほぼ同程度である。また、硬く曲げ反発性が大きく、耐摩耗性優れている。しかし、耐屈曲性はかなり低下する。
- 2) 耐候性については、原糸が太くなるほど光劣化が起きにくく、耐候性は向上すると思われたが、今回の試験結果ではほとんど差が認められなかった。
- 3) 800d 以上のモノフィラメントは紡糸時に気泡が発生するが、冷却水温をコントロールすることでかなり減少できる。気泡含有部分の強度低下は最大10%程度である。

文 献

1. 加藤、柴山、松原、三河繊維研究資料、40,(1), (1990)
2. 木全、三河繊維研究資料、20,(3), (1970)
3. 木全、戸村、三河繊維研究資料、20,(2), (1971)
4. 杉浦ほか、三河繊維研究資料、37,(1), (1987)
5. 杉浦、沢田、松原、三河繊維研究資料、28,(2), (1979)
6. 松下ほか、三河繊維研究資料、22,(2), (1972)