

研究論文

PP/PE 繊維の耐摩耗性の評価

佐藤嘉洋*1、田中俊嗣*1、山口知宏*1

The Evaluation of the Abrasion Resistance of PP/PE Fiber

Yoshihiro SATO*1 and Toshitsugu TANAKA*1 and Tomohiro Yamaguchi*1

Mikawa Textile Research Center*1

ポリプロピレン (PP)とポリエチレン (PE)をブレンドした PP/PE モノフィラメントはロープ等の原糸として、主に水産用途を始め、陸上・産業資材用途に使用され、耐摩耗性に対する関心も高い。そこで、本研究では各種ブレンド比の PP/PE モノフィラメントを作製し、サンドペーパー及び六角棒を使用した摩耗試験を行った。破断に至る時間や試験回数は、試験方法により異なる傾向となり、摩耗性は試験方法に大きく依存することが分かった。また添加剤を用い、耐摩耗性向上を試みた。摩耗試験には、摩耗試験方法の特徴を認識し、適切な方法を選択するよう十分な検討が必要である。

1. はじめに

愛知県の蒲郡を中心とする東三河地域では、繊維ロープの生産量は全国トップシェアを占めている。特に PP 特殊モノフィラメントと呼ばれる PP と PE をブレンドした PP/PE モノフィラメント (以下、PP/PE 繊維)は軽量、低吸水性、高強度・低伸度および安価と優れた特長があり、ロープ等の原糸として、主に水産用途を始め、陸上・産業資材用途に使用されている。

PP/PE 繊維から構成されるロープは、使用によりロープ表面が毛羽立ち、フィブリル化することで、ロープ中心部を保護するため、一般的に耐摩耗性は優れると認識されている。しかし、使用現場によっては、毛羽立ちが早いことから、取扱いに不安視されることもある。

また、信頼性、安全性の面から、耐摩耗性の向上に対する要望も強く、定番的な製品の見直しが課題となっている。

しかし、PP/PE 繊維のブレンド比が摩耗性に及ぼす影響を評価した例は少ない。そこで、本研究では各種ブレンド比の異なる PP/PE 繊維を作製し、サンドペーパー及び六角棒を使用した摩耗試験を行った。また、PP/PE 界面の相溶性の改善による耐摩耗性の向上を試みた。

2. 実験方法

2.1 試料

試験に供した試料を表1に示す。ポリプロピレン (PP)にはホモポリマー、PEには高密度ポリエチレン (HDPE)を使用した。

表1 試料

樹脂	品番	MFR (g/10min)		メーカー
		温度	荷重	
PP	プライムポリプロ [®] E-100GPL	0.9	230℃ /21.2N	(株)プライムポリマー
PE	ハイゼック [®] ス 5000S	0.82	190℃ /21.2N	

なお、PP と PE は非相溶性であり、繊維のフィブリル化の要因となる。このフィブリル化を抑制させ、耐摩耗性の向上させることを目的とし、添加剤を加え試料を作製した。

具体的には、PP/PE 界面の相溶性の改善を目的にオレフィン結晶・エチレンブチレン・オレフィン結晶 ブロックポリマー (CEBC) :DYNARON6200P(JSR(株)製)を添加剤として選定し¹⁾、紡糸に用いた。

2.2 試験条件

2.2.1 試料作製

モノフィラメント紡糸機 ((株)中部マシン製)を用い、各種 PP/PE 繊維を作製した。試料作製条件は表2のとおり。原料樹脂である PP、PE 及び CEBC はペレットブレンドで供給した。

なお、CEBC 添加剤は PP/PE 樹脂に対し、5 部、15 部 (樹脂 100g に対し 5g、15g 添加)とした。

各種 PP/PE ブレンド比率及び各延伸倍率で紡糸し、約 1100dtex の PP/PE 繊維を採取した。

*1 三河繊維技術センター 産業資材開発室

表2 試料作製条件

項目	作製条件
ノズル	$\phi 1.8 \times 4H$ (L/D=2)
紡糸温度	250℃
冷却水槽	30℃
エアギャップ	50mm
第1 延伸槽	98℃
第1 ローラー速度	10m/min
延伸条件	1 段延伸

以下、本報告では各作製パラメータを用いて、次のとおり試料名を表記する。以下に例を示す。

(表記例) PP/PE=70/30×8 +C15

ここで、70/30: PP/PE ブレンド比率、8: 延伸倍率、C15: CEBC 添加 15 部であることを示す。

2.2.2 物性評価

得られた試料に対しては、引張強度及び摩耗試験の評価を行った。

(1) 引張強度

作製した PP/PE 繊維の強度測定及び摩耗試験後の強度測定により、強度保持率を評価した。試験は定速伸長形により行い、つかみ間隔は 200mm、引張速度は 200mm/min とした。

(2) 摩耗試験

摩耗試験については、サンドペーパー及び六角棒を用いた方法で行った。サンドペーパーを用いた試験方法を図 1 に示す。サンドペーパーを張り付けた回転ドラム上で、一定荷重を掛けた試料を摩耗させた。なお、サンドペーパーは新しい面が試料を摩耗させるよう、ドラムを平行移動させた。サンドペーパーは耐水研磨紙 Cc-400 を用い、ドラム直径 180mm、ドラム表面速度 11m/min、荷重 200g の条件下で行った。なお、繰返し測定回数は 10 回とした。

六角棒を用いた試験方法を図 2 に示す。固定した六角棒に対し、一定荷重を掛け試料を往復運動させることにより、試料を摩耗させた。六角棒は SUS304、対辺距離 6mm のものを用いた。条件としては、摩耗角度 90°、荷重 500g、ストローク幅 120mm、ストローク速度 30 回/min で行った。なお、1 ストロークを摩耗 1 回とカウントした。繰返し測定回数は 10 回とした。

3. 結果及び考察

3.1 各種 PP/PE 繊維の強度測定

各ブレンド比率で紡糸した PP/PE 繊維の延伸倍率と強度の関係を示す(図 3)。

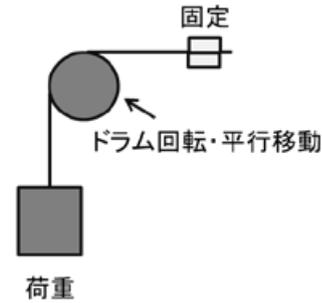


図1 サンドペーパーによる摩耗試験

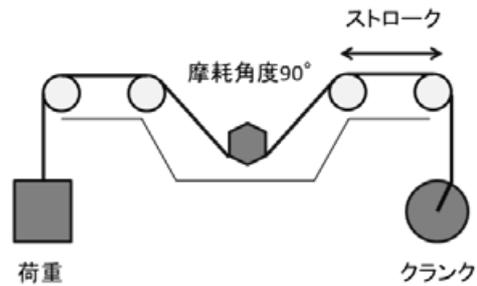


図2 六角棒による摩耗試験

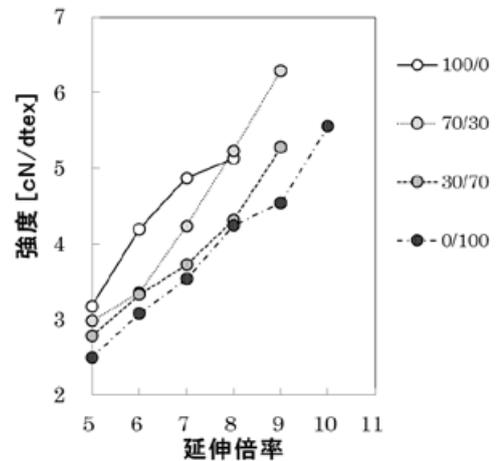


図3 PP/PE 繊維の延伸倍率と強度の関係
(PP/PE=100/0, 70/30, 30/70, 0/100)

最初に PP と PE を比較すると、PP の最高延伸倍率である 8 倍までは同延伸倍率で PE より高強度である。また、PE は低延伸倍率での強度は PP より低い、最高延伸倍率 10 倍では PP より高い値を取った。これは、PE が PP より延伸性が高く、分子の配向が進んだためと考えられる。

一方、PP/PE ブレンド系の最大延伸倍率は、PP と PE の間である 9 倍となった。延伸倍率 9 倍で強度を比較すると、PP/PE=70/30、PP/PE=30/70、PE の順に高い強度となった。PP に PE をブレンドすることで、高強度化することが知られている²⁾。これは、PP 中の PE が可塑的に働き、PP 分子鎖の延伸性が向上し、高配向すること

で、高強度化したためと考えられる。

なお、PP/PE ブレンド系において、延伸倍率 9 倍では延伸点が熱水槽をはみ出し、紡糸不安定であったため、以後の試験は高強度であり、安定的に紡糸できた PP/PE=70/30×8 を中心に評価した。

添加剤の効果を調べるため、PP/PE=70/30×8 に CEBC を 15 部添加した試料の強度測定も行った。図 4 に添加試料の応力-ひずみ (S-S) 曲線を示す。CEBC 添加により、若干、強度低下が認められた。

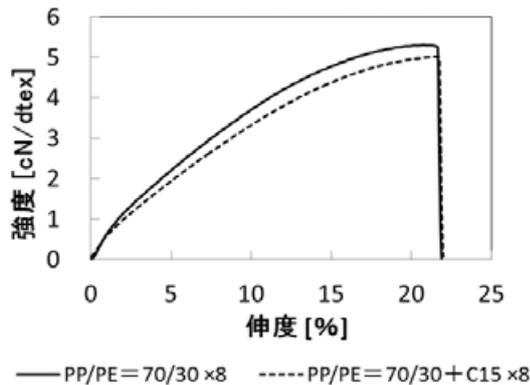


図 4 CEBC の添加効果 (PP/PE=70/30×8)

3.2 サンドペーパー摩耗試験

サンドペーパー摩耗試験の結果を図 5 に示す。PP/PE 繊維は PP 及び PE 繊維に比較して、摩耗性は大きく劣ることが分かった。PP/PE 繊維の摩耗状況は、摩耗初期に細かいフィブリルが発生した後、そのフィブリルごと削り取られていき、破断に至る。一方、PP 及び PE 繊維ではフィブリル化は起きず、サンドペーパーに削り取られる量も少なかった。また、PP/PE 繊維の中では、PP 比率が高いほど、摩耗時間は長くなる傾向が見られた。

次に、摩耗性向上を目的として、PP/PE 70/30×8 に対し CEBC を添加した効果を検証した。その結果、CEBC を 15 部添加しても、破断時間は、ほとんど差がなく、添加効果が見られなかった。

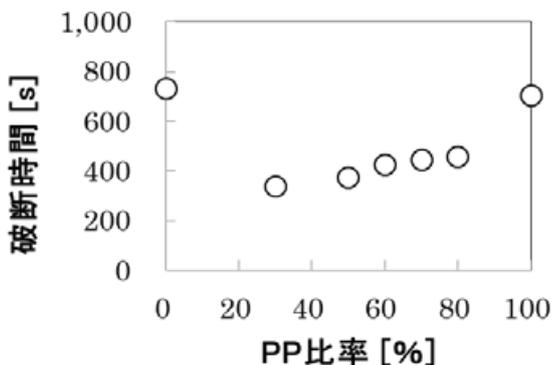


図 5 PP/PE 繊維の PP 比率と破断時間の関係 (サンドペーパー摩耗試験)

3.3 六角棒摩耗試験

六角棒摩耗試験の結果を図 6 に示す。PP、PE は PP/PE ブレンド系と比較して、非常に低い摩耗回数で破断した。また、PP/PE ブレンド系では、PE の比率が高いほど、破断回数は大きくなった。

なお、PP/PE 繊維の摩耗挙動は、摩耗の進行に伴いフィブリルが発生し、繊維軸方向にクラックが発生・進展し、更にフィブリル化が起これ、破断に至る。フィブリル化が速いほど、破断しやすい傾向となった。

六角棒摩耗試験はサンドペーパー摩耗試験の結果とは反対の傾向となった。今後、より詳細な検討を要するが、摩耗試験方法が試験結果に大きな影響を及ぼすことが分かった。

次に CEBC 添加効果を検証した結果を図 7 に示す。六角棒試験において、破断回数は CEBC を 15 部添加することで、大幅に向上した。また、摩耗される状態も変化した。

図 8 に摩耗回数 400 回後の試料における摩耗端部を示す。PP/PE=70/30×8 では、繊維が平らに変形し、フィブ

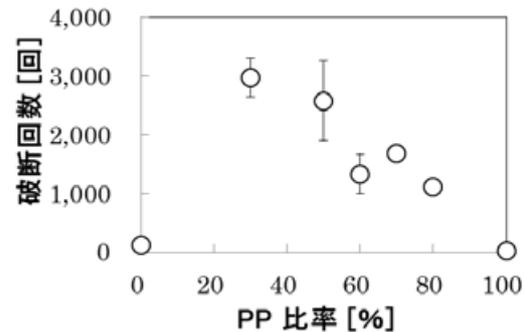


図 6 PP 比率と破断回数の関係 (六角棒摩耗試験)

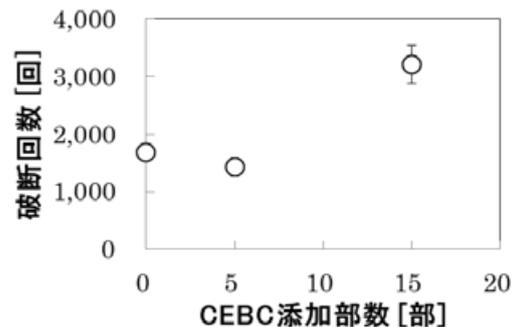


図 7 CEBC 添加部数と破断回数の関係 (六角棒摩耗試験)



図 8 摩耗試験後の PP/PE 繊維 (摩耗回数 400 回)
左: PP/PE=70/30×8 右: PP/PE=70/30×8+C15

リル化と割れが観察されたのに対し、CEBC を添加した。

PP/PE=70/30×8+C15 では、フィブリル化は見られず、代わりに繊維表層が削られた堆積物が見られるようになった。

次に摩耗回数 400 回後の試料において、繊維の断面観察を行った結果を図 9 に示す。

六角棒による摩耗により、両試料とも繊維断面は、半円状に変形している。なお、写真背景は繊維断面の観察用に用いた包埋樹脂の気泡である。PP/PE=70/30×8 では、繊維内部にクラックが多数観察されるのに対し、PP/PE=70/30+C15×8 では、クラックは少ないことが分かった。

そこで、六角棒摩耗試験をより詳細に検討するため、破断に至る経緯を一定時間摩耗後の残存強度測定を行い、強度保持率を評価した結果を図 10 に示す。破断回数には約 2 倍の相違があったにもかかわらず、摩耗初期～中期の残存強度には顕著な差は見られなかった。この原因として、試験時に、摩耗回数の増加とともに、試料が徐々に伸長していくことが観察された。これは、試料の摩耗が進むとともに、試料は荷重により伸長し、摩耗されるポイントが移動していくことが大きな要因と思われる。

また、今後、より詳細な検討が必要であるが、試料に荷重を吊り下げた状態で摩耗する評価方法は、本現象は少なからず起こっていると考えられ、試験結果の取扱いには注意が必要である。

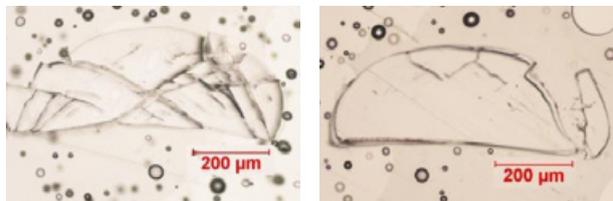
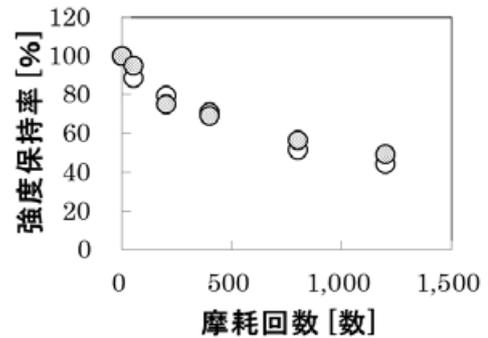


図 9 繊維断面観察 (摩耗回数 400 回)

左: PP/PE=70/30×8 右: PP/PE=70/30+C15

4. 結び

本研究では、各種ブレンド比率の PP/PE 繊維を同一強度で作製し、サンドペーパー及び六角棒を摩耗子とする摩耗試験を行った。その結果、同じ PP/PE ブレンド率でも、



○ PP/PE=70/30×8 □ PP/PE=70/30+C15×8

図 10 強度保持率と破断回数の関係 (六角棒摩耗試験)

摩耗試験方法の相違により、摩耗性能の評価が逆転する結果を示した。

また、CEBC 添加効果の評価結果から、単なる破断回数での評価は、見た目の摩耗特性を向上させてしまうことが分かった。そのため、破断に至る強度保持率の推移を評価することは重要と考える。この要因として、本試験方法は、試料に荷重を吊下げた状態で摩耗しているため、摩耗の進行に伴い、繊維が伸長し、摩耗箇所が移動することが挙げられる。

本研究では、サンドペーパーと六角棒を用い摩耗試験を行ったが、いずれの方法でも単純に摩耗性を評価するのは限界があり、断面観察や強度保持率などから総合的に判断する必要がある。また、摩耗試験方法の特徴を認識し、適切な方法を選択するよう十分な検討が必要である。

なお、本研究では、モノフィラメントで評価したが、ロープのような構造体では、太さ、撚り数等で摩耗試験結果が異なると予想され、より使用状況に応じた評価方法の選定が重要になり、試験結果の考察には注意を要すると考えられる。

文献

- 1) 中村重哉, 徳満勝久, 来田村實信, 宮川栄一, 田中皓: 環境資源工学, **54**, 167(2007)
- 2) 加藤和美, 柴山幹生, 松原晃: 愛知県三河繊維技術センター研究資料, **40**, 19(1990)