海洋資材としての繊維ロープ

本 田 健 二

1. はじめに

海洋で使用されている繊維製資材のうち、繊維ロープが果している役割は非常に大きなものである。

ロープは古くから船舶用として、また漁具として使用されて来た。それらは係留索、曳き索、船のギ装索、漁網の附属綱などであり、多くの用途に分類される。

これらのロープはその用途に適応するように、原料繊維の種類、ロープの構造、太さ、重さ、引張り強さ、伸びなど性能や性質が検討され、選択されて使われている。

しかし近年、新しい事業が海洋でおこり、その開発が進むにつれて、そこで使用されるロープの性能や性質についての要求は複雑なものとなりつつある。

この傾向の明らかな例は、チェーンやワイヤーロープでは果し得ない軽量化と腐食などに対処して耐久性を高める等の問題の解決である。

その手段として最も有力なものは繊維ロープを使用することである。

この展望においては主として海洋開発で使用されている新しいロープの性能や性質について述べるとともに今後発生する問題について記すこととする。

2. 新しく開発されたロープ

2.1 ポリアラミドロープ

チェーンやワイヤーロープと繊維ロープの性能を比較すると、従来の繊維ロープは引張り強さが足りず、そのために直径の太いものを使用する必要があった。

またナイロンロープで代表される合繊ロープは伸びが大きく、そのために係留中の船舶が移動したり、不幸にも破断するとはねかえって船体や人身に重大な損害を発生させた。

そこで強さがワイヤーロープとはほぼ同じであり、また伸びが破断時で10%以下であって、かつ比重が小さい繊維を原料としたロープの出現が期待された。

その先頭を切って使用されているのがポリアラミドロープである。

ロープ用として使用されている原糸は、引張り強さがナイロンの約3倍のものを持つ反面、伸びは極端に小さい。ロープは細い繊維をいかに効率よく、またむらなく集めるかによって品質の良否が左右される。その簡単な手段は撚り構造を用いることである。

しかし撚られたとき、この伸びの小さな繊維では、他の合成繊維のものと異なって強さの低下がきわめて大きなものとなる。ポリアラミド繊維の場合はナイロン系の半分の強度利用率となると見て良い。

ゆえにこのロープの構造には種々の工夫がこらされている。図でその代表的な構造を示した。

図の内No.1は組紐構造のロープである。この構造ではポリアラミド繊維がストランドとして交差した状態で使用されている。このために繰り返して荷重が掛けられたり、曲げられたりするとストランド相互が擦れ合い激しい磨耗が起る。これを軽減するためにロープの中心部に伸びやすいポリエステルストランドが使われる。

ポリアラミド繊維はその上層部を形成するように、ストランド状の燃合体として、ロープの長さ方向に大きな

No.1

No.2

No.3

Fiber Rope for Marine Use

KENJI HONDA

東京製綱繊維ロープ株式会社

商品開発部 次長(技術士)

リードを取って組み合わせられる。

さらにその上層部にはポリエステル繊維をストランドとして密に組合わせてロープの全周を被包している。

このロープの特長は柔軟であること、荷重が掛ってもロープに回転が生じないこと、外周は耐磨耗性の良い繊維で密な組織が作られているので外部からの損傷を受けないこと、伸びが適度に確保できることである。

用途は大型船舶の係留索、石油掘削リグのペンダントロープなどである。

No.2の構造はポリアラミド繊維の引張り強さを最も効率よく利用しようとするものである。

繊維はストランドの長さ方向にそろえられるか又は非常に甘い撚りで合せられる。これら繊維は熱硬化性樹脂で繊維間隙をうめられる。更にその外周部は未硬化状態で熱可塑性樹脂が被覆される。

ロープはこのストランドを通常の方法で未硬化のまま撚ったり組合せて所定の構造を作り、これを熱処理により硬化させて形状を安定させる。

ここで使われるマトリックスは不飽和ポリエステル樹脂やエポキシ樹脂でありロープは繊維強化プラスチックの様相をおびたものとなる。

これは鋭利な刃物でも傷つかない硬さを持ち、従来繊維ロープは傷が付きやすいという問題から回避することを可能とするものである。

性能面としての特長は太さ、重さの割合に大きな引張り強さが得られることと、荷重によって生ずる伸びは複合材料としての伸び方をするので小さなものとなり、クリープの発生も抑制される。また繊維間には樹脂で埋められているので間隙がなく、水分がしんとうしないので電気絶縁性が必要な用途、例えばアンテナの控え索などに使用することができる。

現在の用途は海洋観測ブイの係留索の一部として使用されている。このロープを使用する部分には海中の温度、水流の方向、速さ等を測定する多くの計測機器や電線が取り付けられている。

また前記アンテナの控え索の他に船舶の索具としても使用され、特に寒冷な海域では結氷しにくい性質があると云われている。

一方この構造のもつ欠点は強化プラスチックの丸棒やパイプなどと比較すれば柔軟性はあるが、やはり曲げには弱く、大部分のものが決定的な損傷となることである。

No.3のロープの構造はワイヤーロープの片撚り構造を利用したものである。ワイヤーロープと繊維ロープの撚りの差はそのリードの大きさにあり、前者では普通後者の2倍以上のものが使用されている。

このリードの大きさは大きな引張り強さを得ることに寄与し、荷重により生ずる伸びも小さなものとする。

しかし最大の特長はロープが曲げられることでおこる疲労が軽減されることである。No.1の構造と異なり、そこにはストランドの交差は存在しない。ロープを曲げる外力でストランドが移動するとき、ストランド相互は線接触の状態では擦れ合う。これはロープ内部の摩擦を小さなものとするに大きな効果がある。

ポリアラミド繊維の弱点の一つである曲げ疲労の問題を解決する有力な構造であると云える。

このロープの欠点は撚り構造であるがゆえに荷重が掛ると回転力が発生することである。

ロープの回転はロープのからみを発生させる原因となり、ブイの係留索のように片方が固定されることなく自由に動くことのできるシステムで使うには適当ではない。また一たんからみが起ると甘い撚で構成されているから構造が崩れやすい。ロープの外周を組紐状に繊維で固めたり、時には樹脂による被覆をして対処する必要がある。

通常このロープの太いものは19本のストランドで作られる。この多くのストランドに有効な加工を行ない端末処理するには相当の熟練を要する。今後簡単な端末加工の手法が検討される必要がある。

用途としては石油掘削リグの部品であるライザーテンショナーやペンダントラインがあり、米国における使用実績は、Du-Pont社の発表¹⁾によれば、ワイヤーロープの代りとして使用された結果、十分にその役割を果し、かつ経済性も立証できたことである。

今後は船舶のテンションウィンチなどに巻きこまれて使われる係留索、曳索、パイロットロープに普及するものと思われる。

表1にポリアラミドロープとワイヤーロープの強さと重さの比較をし、その結果を記載した。

表1 ポリアラミドロープとワイヤーロープの強さと重さの比較

直径 mm	ポリアラミドロープ*			ワイヤーロープ** (JIS 4号品)		
	強さ ton-f	重さ kg/m 空 中	重さ kg/m 水 中	強さ ton-f	重さ kg/m 空 中	重さ kg/m 水 中
30	42.0	0.94	0.28	41.8	2.99	2.57
40	76.2	1.56	0.47	74.2	5.31	4.57
50	117	2.31	0.69	117	8.30	7.14
60	173	3.28	0.98	167	12.0	10.3
70	236	4.35	1.31	227	16.3	14.0

* ポリアラミドロープの構造はNo.3ワイヤーロープ構造のものである。比重≒1.42。端末加工付き。

** ワイヤーロープJIS 4号品はG種メッキの規格である。比重≒7.0。

2.2 高強力ポリエステルロープ

ポリエステル繊維はナイロン繊維と同様に繊維ロープとしては大きな荷重にもよく耐えるロープ原料として広く使用されている。

海洋で使用されるロープの具備すべき性能にはいろいろのものがあるが、ポリエステルがナイロンより勝れているものを上げると

- 水中でも引張り強さが全く低下しない。
- 紫外線や酸による劣化が小さい。
- 摩耗によく耐える。
- 繰返し荷重が掛っても強さの低下が少ない。

欠点は若干引張り強さが小さいために同一の強さのロープを作るには、比重の大きさと相俟って重いものとなることである。

そこで従来のポリエステル繊維に多少の伸びを附加する等改良した結果、ナイロンロープの湿時の強さを対象としてこれに勝るロープが生産されるようになった。

このロープをナイロンロープと比較したものが表2である。

表2 高強力ポリエステルロープとナイロンロープの強さと重さの比較

直径 mm	ポリエステルロープ*			ナイロンロープ*		
	重量 kg/m	強さ ton-f 乾 時	強さ ton-f 湿 時	重量 kg/m	強さ ton-f 乾 時	強さ ton-f 湿 時
20	0.311	7.97	7.97	0.243	7.99	6.79
30	0.705	17.1	17.1	0.555	17.0	14.5
40	1.29	29.3	29.3	0.965	28.1	23.9
50	1.97	45.0	45.0	1.53	43.5	37.0
60	2.88	62.4	62.4	2.24	61.5	52.3
80	5.12	107	107	3.95	106	90.0

* ロープは、八つ打ち構造のものである。

このロープは超大型タンカーを係留する一点係留ブイやオシャンタグボートの曳航索など厳しい用途に投入されている。

2.3 高強力ポリエチレンロープ

ポリオレフィン系繊維で作られたロープは、繊維ロープ全生産量の過半数を占めている。

海洋資材としてのロープにおいてもこの傾向には変りはない。

ポリエチレン、ポリプロピレンはロープの中でも軽量であって、浮くロープとして特長がある。また適当な強さもあり、安価であることから広く使われている。

英国の研究所はその報告書²⁾の中で、海洋で使用されているロープに掛る荷重を解析し、これが衝撃といわれる速さの荷重であることを発表している。またこの荷重速度でロープを破断させ、次でロープのエネルギー吸収

量を実験し測定した結果は通常行われている破壊試験の荷重速度のものと異なり一般に小さな値を示すことを述べている。

この実験で使われたロープの原系種別や構造の中でポリエチレンは比較的、強さおよび吸収エネルギー量の低下が少ないものであった。

一方従来の原料系はロープの強さがナイロンロープに遠くおよばない性能のものであり、安全な使用を考える時、ロープは太いものとなり、実用上多くの支障が生じている。

そこでポリエチレンの原料繊維の引張り強さを15g/D程度まで上げれば、従来と同じ構造で、ナイロンロープに対応できるロープが得られ、また水に浮く等特長あるロープとなるはずである。

現在は商業ベースとして12g/D程度の原系が生産されており漁業用ロープに大量に使用されている。

3. 今後検討されるべき問題

繊維ロープがワイヤーロープやチェーンなどの金属製資材の代りとして即座に利用されない理由は、使用上の信頼性を示すに足る資料が提供できないことによる。

これらの資料を得るための最も確実な方法は使用実績を増し、それに資料を求めるのが最も確実な方法である。しかし使用実績は5年から10年の年月により得られるものであり、早急には間に合わない。

そこで現在の諸々の海洋事業が進展する速さに対応できないため、使用者側から提案がなされた。

海洋で石油掘削や輸送に従事している企業12社は彼らが使用する繊維ロープに独自の規格³⁾を設け事業の新たな分野への展開を図ろうとしている。

この規格は1960年以降の彼らが購入するロープに適応したい意向により、我国の他、諸国のロープ製造者に対し規格案の実施についての問題を検討するよう依頼している。

この案の中の、目新しい試験方法について若干の説明をし、問題の所在を示し、解決の端緒を得たい。

まず繰返ししの荷重試験を行ない、耐久性の予測をすることである。試験用のロープは用途によって三つのカテゴリーに分類される。この分類は動的な仕事の大きさにより決められたものである。

繰返ししの荷重による劣化は各カテゴリー互に荷重率、破損現象が生ずるまでの繰返し荷重回数の目安を設けることでロープの実用性能の予測や使用限界の判断をしようとするものである。

従来この種の試験は明確な方法がなく、また多大な費用を必要とするために実施されていない。早急に設備等

を考える必要がある。

次にロープの劣化はヤーン相互の摩擦によって起るとの考え方を強く主張し、その資料を得るための摩擦試験のいくつかの方法を実施することを義務づけている。

これは従来の規格作成には考慮されていないものであり、今後この運用について十分に検討する必要がある。またロープの摩擦試験装置、試験片の採取の方法、端末処理されたロープの試験結果の取り扱い方、その他検査や品質管理についての規定等従来の規格では見られなかったものがある。

4. おわりに

海洋でようやく金属資材が使用されていた分野に繊維ロープが使われ始め、その実績も徐々ではあるが増えつつある。

これが更に普及することによって海洋開発事業の活動の幅は拡大され、深海部まで及ぶ日も近いと思われる。軽く、柔軟で、耐久性のある繊維ロープが海洋資材の中心的存在として一そう活用されるよう関係者各位のご指導とご協力を賜りたい。

参考文献

- 1) デュポンファイースト：ロープ・ケーブル用途における“ケブラー”シンポジウム講演集
- 2) G. R. Borwick, M. I. Mech, G. Elliot; “Dynamic Properties of Marine Fiber Ropes”, National Engineering Laboratory (U.K.)
- 3) Oil Companies International Marine Forum; OCIMF Hawser Standards

(昭和 58 年 12 月 14 日受理)

第 3 回繊維研究会講演会

主 催：高分子学会繊維研究会

協 賛：繊維学会ほか

日 時：6 月 1 日(金) 10:00～16:10

会 場：愛知県産業貿易館本館 B1 階第 2 教室 (名古屋市中区丸ノ内 3-1-6 電話 052-231-6351)

参加申込締切：定員 (60 名) なり次第

主 題：繊維表面の科学と工学

1. ポリマーの新しい表面解析の手法 (東レリサーチセ) 石谷 炯
2. 繊維製品の走査電顕観察 (クラレ中研) 窪津 彰

3. 繊維の疲労現象と表面構造 (帝人繊維研) 高田忠彦
4. 補強用繊維の表面特性 — 炭素繊維 (東レリサーチセ) 村山和永
5. 機能性繊維および膜の表面モルロジー (旭化成工業繊維加工研) 上出健二

参加費：主催・協賛学協会会員 会社 5,000 円、大学・官公庁 3,000 円、学生 1,000 円、会員外 10,000 円

参加申込方法：氏名、勤務先、連絡先、所属学会を明記の上、下記宛現金書留でお申し込み下さい。

申込先：〒104 東京都中央区銀座 5-12-8 高分子学会繊維研究会講演会係 電話 (03) 543-7858