

## 合成繊維ロープの繰り返し特性実験

田中 廣治\* 増原 稔之\*\*

### 要 旨

合成繊維ロープは、取り扱いが容易で安価なため、漁業関係では、漁網、底引き網のリール巻き込み索、船舶の係留等に多く用いられている。係留用に用いた場合の長所として、ワイヤロープに比べ腐食することがなく、伸びが大きいこと、衝撃吸収能力が大きいといわれている。

ただしこれは、一度限りの衝撃力についていえることであり、繰り返し変位に対しては復元力がないため、第2回目以後は第1回目と同じ効果を期待することができない。こうした繰り返し特性については定性的に伸びが累積されることは指摘されているが、現状では定量的な評価を行うための設計基準や研究報告がない。

本研究は高知県橋浦の養殖いけすの係留工事の受注に伴い、合成繊維ロープの繰り返し特性を把握し、合成繊維ロープを用いた動揺解析による係留装置の設計に寄与することを目的として実施した。

### 1. まえがき

合成繊維ロープに限らず、係留ロープには浮体の波浪中での動揺に伴う繰り返しの変位が作用する。一般には、浮体の動揺により、係留ロープには繰り返し「荷重」が作用すると理解されているが、正確には、定常外力の他に、繰り返し「変位」が作用する。

定常外力とは、力の大きさと方向の変化しない力のことであり、風荷重、潮流による流圧抵抗、波漂流力である。変動外力とは、力の大きさと方向とが時間とともに変化する外力のことであり、波荷重がこれに相当する。

係留ロープには、こうした定常外力が作用した状態の上に、波

による変動外力により繰り返し変位が作用する。

定常外力、変動外力のいずれが支配的かは外力の条件や浮体の大きさによって異なる。ここでは、変動外力のみが作用し、ロープに繰り返し変位のみが作用すると仮定し検討を行った。

### 2. 合成繊維ロープの基本的特性

#### 2.1 種類と特性

一般に多く用いられる合成繊維ロープの素材の種類と特性を表-1に示す。

表 - 1 合成繊維ロープの基本的特性

種 類	ナイロン	ポリエステル	ビニロン	ポリエチレン	ポリプロピレン	アラミド
商品名	ナイロン	テトロン	クレモナ	ハイゼックス キョレックス	パイレン ダンライン	ケブラー
湿強度 / 乾強度 (%)	85	100	82 ~ 84	100	100	100
破断時伸び (%)	約 50	約 30	約 40	約 30	約 40	
比重	1.14	1.38	1.30	0.96	0.91	1.44
強度(マニラ比 %)	335	250	158	175 ~ 219	212	670
耐候性	普通	強い	強い	普通	普通	普通
耐磨性	普通	強い	普通	普通	普通	強い
伸長復元性	優れている	優れている	劣る	普通	普通	普通
クリープ性	やや大	やや大	やや大	大	大	小
その他長所	衝撃に強い	衝撃に強い 水に強い	水に強い	水に強い	滑り難い	耐熱性・切創性が高い

\* 技術研究所 \*\* 四国支店

2.2 係留用ロープに必要な機能

係留用として必要な機能を以下に示す。

(1) 湿強度 / 乾強度

係留用ロープは常時海水中に存するか、それに近い状態で用いられる。したがって、係留用に用いるためには、この値が100%に近い方が良い。ナイロンやビニロンを用いる場合、海中で用いられた場合に強度低下があることを考慮して設計を行う必要がある。

(2) 破断時伸び

ワイヤロープに比べ、合成繊維ロープは伸びが大きい。伸び特性は、材質による差のほかに、同じ材質でも撚り方による差がある。例えばナイロンの場合、3つ打ちおよび8つ打ちでは、破断時の伸びは50%であるが、二重組打ちロープでは30%である。

(3) 比重

合成繊維ロープは摩擦に弱いので、海底と接触した場合、簡単に切断する。アンカー部分での海底との接触を防ぐためには、海水に浮く素材の方が好ましい。海水に沈む素材を用いる場合には、海底との接触をさけるために、ブイを取り付ける等の工夫が必要である。

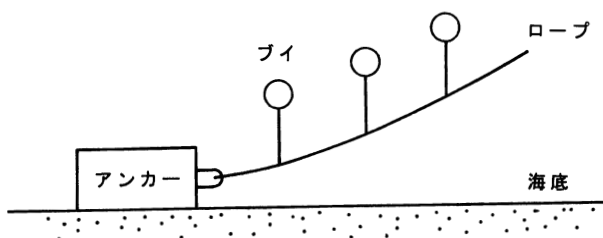


図 - 1 海底部概念図

(4) 伸長復元性

ロープに荷重をかけると伸びる。荷重を取り去ると元に戻る。これを伸長復元性という。伸長復元性が良いということは、荷重が除去された後、すぐに元の長さに戻ることを意味する。耐疲労性に優れていることを意味し、係留用ロープとしては、最も重要な特性である。

一般には、表 - 1 のように、ナイロンやポリエステル(テトロン)が優れているとされている。ただしこうした結論は、繰り返し試験の結果得られたものではなく、一度限りの荷重に対して得られた結果である。あるいは、十分な復元時間を与えて得られた結果である。

係留用ロープには、いわば波の周期と同じ周期、即ち5秒から12秒程度の周期で変位が発生する。従って、この伸長復元性をもって係留ロープの適正を判断することは危険である。

今回の繰り返し試験は、係留ロープにできるだけ近い状態で実験を行い、繰り返し特性を明確にするために実施した。ただ

し、繰り返し同じ「荷重」をかけるのではなく、繰り返し同じ「変位」をかけた。

(5) クリープ性

ロープに荷重をかけると伸びる。そのまま荷重をかけっぱなしにしておくと、荷重は変わらなくても、伸びは時間とともに少しずつ増加する。この現象をクリープという。そして、応力がある値以上になると破断する。

一般に合成繊維ロープは、ワイヤロープに比べクリープが大きいので、常時荷重のかかる場所に用いることには適していない。このクリープ特性と、上記伸長復元性とが混同され用いられていることが多い。

係留ロープには、繰り返し変位が作用している。従って、クリープ性の良い材料を係留用に用いることは、全く意味がない。

(6) 耐久性

一般に合成繊維ロープは、耐薬品性に優れている。太いロープは、紫外線に対して影響を受けにくい。係留用に限らず海上で用いる場合、紫外線による劣化を防ぐために原色以外にも黒または緑などで着色した糸が用いられる。合成繊維ロープは、外部からの損傷や摩擦に対しては弱い。

(7) 温度特性

一般に、合成繊維ロープの引っ張り強度は高温下で低下する。温度影響はロープにより異なる。20 の場合の引っ張り強度を100とした場合の40 の引っ張り強度を以下に示す。ナイロンやビニロンは影響を受けにくい。ポリエチレン、ポリプロピレンは種類によっては影響を受けやすいものもある。

表 - 2 温度特性

種類	引っ張り強度
ナイロン	98%
ビニロン	98%
ポリエチレン	82~98%
ポリプロピレン	78~98%

2.3 ロープの伸び特性

合成繊維ロープに荷重をかけると伸びる。図 - 2に、荷重と伸びとの関係を示す。

第1回目の荷重をかけた場合、荷重が小さい間は伸びは大きく、荷重の増加に伴い伸びは小さくなる。荷重~伸び線図は、放物線に近い形をとる。

または第1回目の荷重をかけた場合、ロープは伸びて曲線を描きB点に達する。荷重が取り除かれると、元の0点に戻らず元の長さの復元せずC点に達する。

2回目に同じ荷重をかけると、曲線C-Dを描く。荷重が破断荷重の10%以内の領域においては、第1回目より大きい傾きをもつ曲線を描く。荷重が破断荷重の20%を越える領域では、曲

線の傾きは第1回目とほとんど同じである。

3回目についても、2回目とほぼ同じ量の永久ひずみ  
が累積されC点はさらに右のE点に移動する。荷重が破断荷重  
の10%以内の領域においては、第2回目より先やや大きい傾きをもつ  
曲線を描く。荷重が破断荷重の20%を越える領域では、第1  
回目の曲線の傾きとほとんど同じである。

4回目については、さらに永久ひずみが累積するがその量は  
少なく、曲線の傾きは3回目に近い。

5回目は、累積される永久ひずみはさらに少なくなる。5回目  
以後は、5回目とほとんど同じ曲線を描く。

以上の結果より、繰り返し荷重をかけた場合、永久ひずみは、  
2回までは大きい。3回目以後は急激に少なくなり、5回程度の繰  
り返し荷重で、永久ひずみ(初期伸び)は無くなると考えてよい。

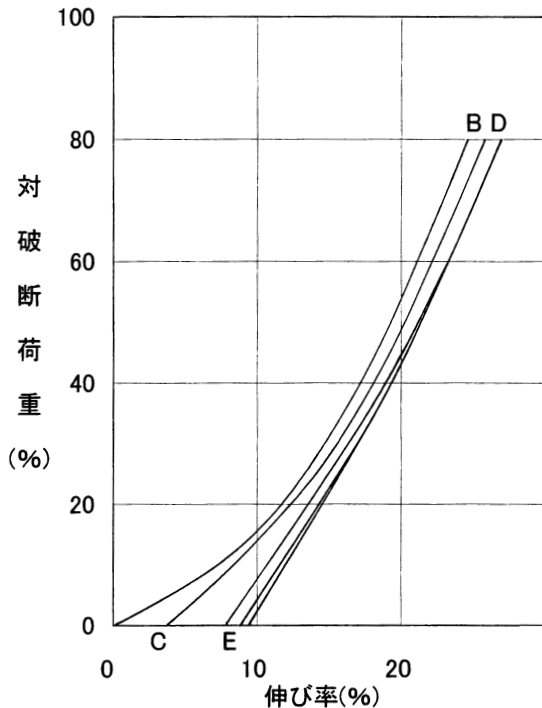


図 - 2 荷重 - 伸び線図

ここで用いたロープの諸元を以下に示す。

- ・ロープの素材: ポリプロピレン  
(特殊モノフィラメント)
- ・ロープの径 : 18mm
- ・撚り方 : 12打ち
- ・繰り返し荷重: 破断荷重の80%
- ・変位の周期 : 6分

### 3 . 合成繊維ロープの破断荷重と安全率

#### 3 . 1 破断荷重

一例として、ナイロンロープの引っ張り強さを以下に示す。この

ように、JISとメーカーの表示とでは差があるので、実際の設計で  
は、「JIS」の規定に従うことが好ましい。

表 - 3 破断荷重

太さ (mm)	引っ張り強さ (tf)	
	JISL 2704	メーカー
20	7.23	7.32
30	15.4	18.0
40	26.3	30.0
50	39.8	45.7
60	55.8	64.0
70	74.3	86.0
80	95.3	111.0
90	119.0	140.0
100	144.0	169.0

#### 3 . 2 安全率

設計基準等に表示される合成繊維ロープの安全率を以下に示す。  
ワイヤロープに比べ、安全率を明記した文献は少なくまた値も  
大きくばらついている。最大で「12」、最小で「3」である。今回の  
実験の目的のひとつが、適正な安全率を見いだすことである。

出典: 浮体構造物技術マニュアル  
発行: (財)沿岸開発技術研究センター  
対象: 浮体式係船岸、駐車場船、倉庫船  
レストラン船、博物館船その他の係留船

安全率: 「5」

出典: 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針  
発行: (社)全国沿岸漁業振興開発協会  
対象: 浮消波堤、いけす

安全率: 「3」ただし、繰り返し荷重による強度劣化などを  
考慮した結果とする。

出典: 「ロープ類の知識」

発行: (株)成山堂書店

安全率: 同書に示される次表は、米国沿岸警備  
隊の研究報告の抜粋である。

表 - 4 ロープの安全率

ロープの種類	安全率	
	動的用途	静的用途
ナイロン	12	9
ポリエステル	12	9
オレフィン系	8	6

オレフィン系とは、ポリプロピレンおよびポリエチレンのことで  
ある。

4. 実験方法

4.1 試験装置

(1) 通常の場合

基本的には、以下に示す装置を用いた。

- 製作所 : (株) 東京衡機製造所
- 型式 : アムスラー式縦型引張り試験機
- 最大引張荷重 : 500kN
- ストローク : 最大3m

(2) 繰り返し変位の周期が短い場合

(1)の装置では、3分以下の周期で繰り返し変位をかけることができないため、繰り返し変位の周期が50秒の場合のみ、以下に示す装置を用いた。

- 製作所 : (株) 前川試験機製作所
- 型式 : アムスラー式縦型引張り試験機
- 最大引張荷重 : 20kN
- ストローク : 最大1m

4.2 試験方法

(1) 試料

試料の長さは、有効長を0.6mとし、両端にアイスプライス加工を施し、全長を1.2mとした。

(2) 伸びの測定法

試料は、荷重を加えない状態で、測定間隔が0.4mとなるようにマーキングを行った。以後、このマーキングを目印として伸びを測定した。

(3) 荷重の測定法

荷重は、「4.1」に示す試験機の荷重計より読みとった。

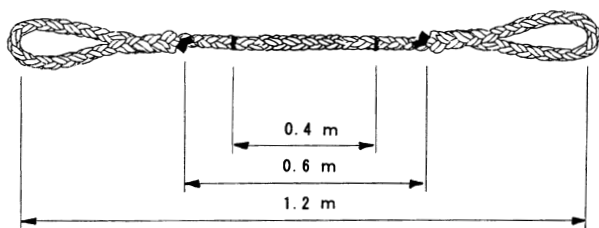


図 - 3 試料概念図

4.3 得られる結果の評価方法 (図の見方)

横軸は、繰り返しした変位の回数を示す。最大繰り返し回数は100回とした。時間の制約のため、またはロープが実験途中で破断した場合には、100回以下の場合でも実験を中止した場合もある。

縦軸は、ロープの張力を示す。ただし、ロープの破断荷重を100%とした割合で示す。従って、対破断荷重 (%) と安全率との関係は表 - 5のとおりである。

理想状態、即ち、ロープに復元力が十分であると仮定する。最

初の変位を与えた場合に発生する張力をX%とする。そして、この点をAとする。一度張力を開放し、二回目に変位を与えてた場合の張力は、第一回目と同じX%である。この点をBとする。こうした繰り返し試験による点列を結び、図 - 4のようになる。

つまり、横軸と平行のグラフが描かれる。

表 - 5 対破断荷重と安全率の関係

対破断荷重 (%)	安全率	備考
100	1	破断を意味する
50	2	-
33	3	-
20	5	-
10	10	-

対破断荷重 (%)

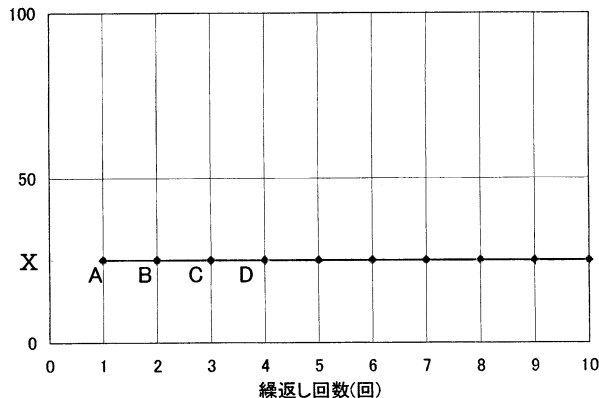


図 - 4 理想状態

これに対し、復元力の小さい場合、グラフはより大きい「+」の勾配を持つことになる。

4.4 実験ケース (検討項目)

(1) 素材による違い

実験の目的のひとつが、最も繰り返し特性に優れた素材を見いだすことである。表 - 6に示す7種類の素材について、素材による違いを検討することにした。

合成繊維ロープについては、撚り方と径を統一すべきであるが、アラミドについては12mmの径で、3つ打の製品が存在しないため、8つ打を用いた。

また、ワイヤロープについては、基本的に合成繊維ロープと異なるので、ロープ径は統一せず、汎用的に用いられているJIS - 6×37 (メッキ種)を用いた。

- ・ロープの径 : 表 - 6参照
- ・撚り方 : 表 - 6参照
- ・繰り返し変位 : 安全率「5」相当
- ・変位の周期 : 3分

表 - 6 素材による違い

素材	撚り方	径 (mm)
ナイロン	3つ打	12
ポリエステル	3つ打	12
ビニロン	3つ打	12
ポリエチレン	3つ打	12
ポリプロピレン	3つ打	12
アラミド	8つ打	12
ワイヤロープ	6×37 メッキ	16

(2) 撚り方による違い

ロープは、繊維を撚り合わせてヤーンとし、さらにこれを撚り合わせてストランドとする。これをさらに撚り合わせたものがロープとなる。ストランドの撚り方に、3つ打、8つ打、12打、48打等がある。打ち数が多いほど、円形を保ちやすく、強度も大きい。表 - 7 に示す3種類の撚り方について、検討することにした。

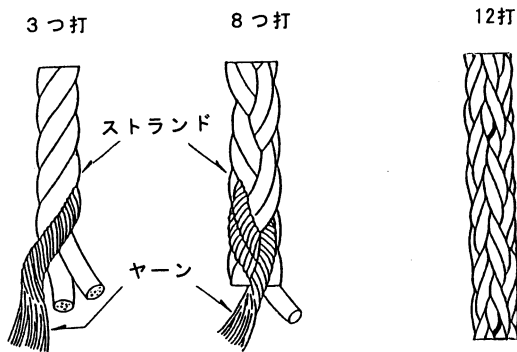


図 - 5 合成繊維ロープの撚り方

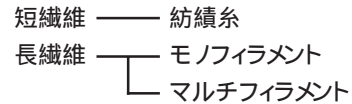
- ・ロープの素材:ナイロン
- ・ロープの径 :12mm
- ・撚り方 :表 - 7参照
- ・繰返し変位:安全率「5」相当
- ・変位の周期 :3分

表 - 7 撚り方による違い

3つ打
8つ打
12打

(3) 繊維の形態による違い

繊維の形態を、大別すると以下のとおりである。



長繊維と短繊維を比較すると、長繊維の方が強度が大きいモノフィラメントとマルチフィラメントとの強度の差はほとんどないが、マルチフィラメントの方が屈曲性能に優れている。

表 - 8に示す2種類の撚り方について、検討することにした。本来ならば、撚り方を統一すべきであるが、実験に使用できるような12mm~16mm程度の製品がないため、撚り方は不揃いとなった。

こうしたことから、撚り方による違いを(2)で先に検討することにした。

- ・ロープの素材:ポリエステル
- ・ロープの径 :12mm
- ・撚り方 :表 - 8参照
- ・繰返し変位:安全率「5」相当
- ・変位の周期 :3分

表 - 8 繊維の形態による違い

繊維の形態	撚り方
マルチフィラメント	12打
紡績系	3つ打

(4) 繰返し変位の大きさ

繰返し与える変位の大きさによって、ロープに与える影響が異なるはずである。当然、与える変位が大きいほど影響は大きく、与える変位が小さいほど影響は小さいことが予想される。

表 - 9に示す8種類の繰返し変位の大きさについて、検討することにした。

- ・ロープの素材:ポリプロピレン  
(特殊モノフィラメント)
- ・ロープの径 :18mm
- ・撚り方 :12打
- ・繰返し変位:表 - 9参照
- ・変位の周期 :3分

表 - 9 繰返し変位の大きさ

安全率10.00に相当する変位
安全率 7.50に相当する変位
安全率 5.00に相当する変位
安全率 4.75に相当する変位
安全率 4.50に相当する変位
安全率 4.00に相当する変位
安全率 3.00に相当する変位
安全率 2.50に相当する変位



(5) 繰り返し変位の周期

復元力の小さい素材に繰り返し変位を与える場合、周期が小さいほど、その影響は大きい。

係留ロープに作用する繰り返し変位の周期は、波の周期と同じと考えることができる。通常、波周期は、5～12秒程度である。ただし、試験機の性能上の制約から、このような短い周期では繰り返し変位を与えることができなかつたために、周期は3分を基準に実施した。

- ・ロープの素材：ポリプロピレン  
(特殊モノフィラメント)
- ・ロープの径：18mm
- ・撚り方：12打
- ・繰り返し変位：安全率「5」相当
- ・変位の周期：表-10参照

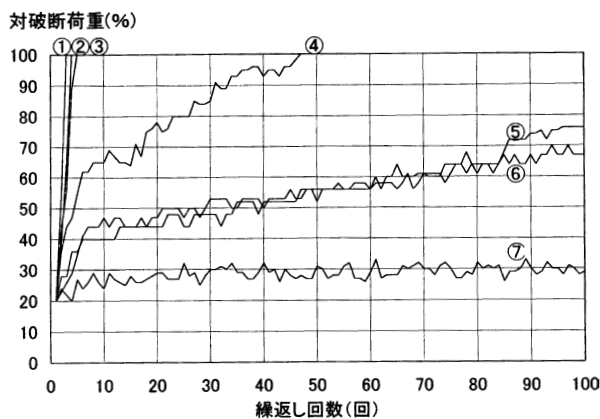
表-10 繰り返し変位の周期

周期	備考
50秒	-
3分	基準周期
6分	-
12分	-
1時間	-
24時間	-

5. 試験結果

5.1 素材による違い

素材による違いの結果を図-6、表-11に示す。



:ビニロン	3つ打	12mm
:ポリエステル	3つ打	12mm
:アラミド	8つ打	12mm
:ナイロン	3つ打	12mm
:ポリエチレン	3つ打	12mm
:ポリプロピレン	3つ打	12mm
:ワイヤロープ	JIS-6×37	メッキ

図-6 素材による違い

表-11 素材による違い

ビニロン	繰り返し3回で破断	(1)参照
ポリエステル	繰り返し4回で破断	(2)参照
アラミド	繰り返し5回で破断	(3)参照
ナイロン	繰り返し47回で破断	(4)参照
ポリエチレン	(5)参照	
ポリプロピレン	(6)参照	
ワイヤロープ	(7)参照	

(1) ビニロン

安全率が「5」に対応する変位を繰り返し与えた場合、繰り返し回数が3回で破断に至っている。

(2) ポリエチレン(テトロン)

同様に、安全率が「5」に対応する変位を繰り返し与えた場合、繰り返し回数が4回で破断に至っている。

(3) アラミド

同様に、繰り返し回数が5回で破断に至っている。

特に、アラミド繊維は破断強度が大きい素材として期待されているが、意外な結果であった。

ビニロン、ポリエステル、アラミドは、繰り返し変位の作用する用途に用いることは危険である。

(4) ナイロン

繰り返し回数が47回で破断に至る。一般には、ナイロンが繰り返し特性が優れていると言われているが、必ずしもそうではないことがわかった。

(5) ポリエチレン

安全率が「2.5」まで低下する。その後わずかつ張力が増加し、繰り返し回数100回で、安全率が「1.3」まで低下する。100回で実験は中止しているが、その後も、張力は増加する傾向にある。

(6) ポリプロピレン

繰り返し回数が8回までで張力が急激に増加し、安全率は「1.7」まで低下する。その後わずかつ張力が増加し、安全率「1.4」まで低下する。しかし、その後は、張力の増加は極めてわずかである。繰り返し回数が100回で、実験を中止しているが、この段階では、破断まで余裕がある。従って、実験を行った合成繊維ロープの中では、最も繰り返し特性が高い。

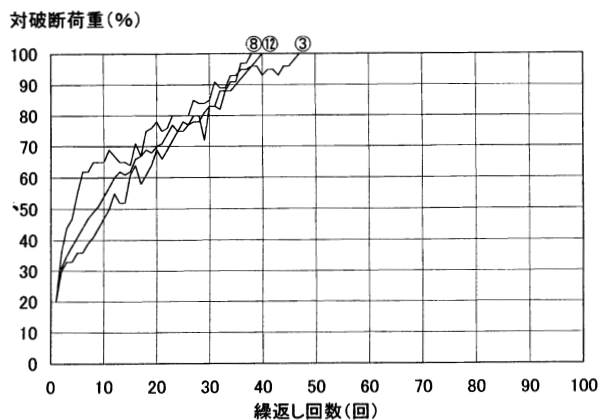
(7) ワイヤロープ

繰り返し回数が25回までは、張力が徐々に増加し、安全率は「3.3」まで低下するが、その後、張力は安定し増加しない。

これよりワイヤロープは、復元力が100%ある理想状態のロープに一番近いと考えることができる。即ち、繰り返し変位に対する安全率は、「5」で設計しても繰り返しにより破断することはないと判断できる。

5.2 撚り方による違い

図-7に撚り方による違いを示す。撚り方による違いは、ほとんどない。

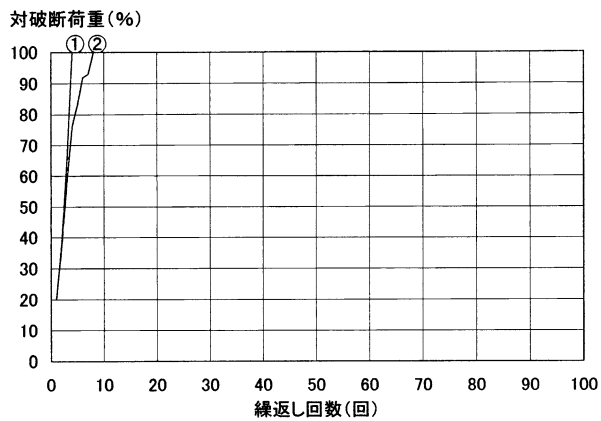


- : 3つ打            ナイロン    12mm
- : 8つ打            ナイロン    12mm
- : 12打            ナイロン    12mm

図-7 撚り方による違い

5.3 繊維の形態による違い

図-8に繊維の形態による違いを示すが、繊維の形態による違いは大きくない。紡績糸は繰り返し変位4回で破断、マルチフィラメントは8回で破断している。

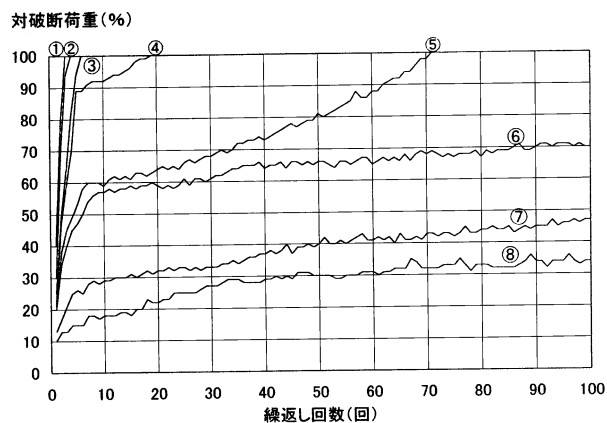


- : 紡績糸            ポリエステル    12mm
- : マルチフィラメント    ポリエステル    12mm

図-8 繊維の形態による違い

5.4 繰り返し変位の大きさによる違い

素材の違いによる試験で、ポリプロピレンが最も繰り返し特性が高いことが解ったので、ポリプロピレンを用い、繰り返し変位の大きさによる違いを調査した。その結果を図-9、表-12に示す。加える繰り返し変位は、安全率に対応する変位の大きさとした。



- : 安全率 2.5 相当の変位を与えた場合
- : 安全率 3.0 相当の変位を与えた場合
- : 安全率 4.0 相当の変位を与えた場合
- : 安全率 4.5 相当の変位を与えた場合
- : 安全率 4.75 相当の変位を与えた場合
- : 安全率 5.0 相当の変位を与えた場合
- : 安全率 7.5 相当の変位を与えた場合
- : 安全率 10.0 相当の変位を与えた場合

図-9 繰り返し変位の大きさによる違い

表-12 繰り返し変位の大きさによる違い

変位の大きさ (安全率換算値)	結果
2.5	繰り返し3回で破断
3.0	繰り返し4回で破断
4.0	繰り返し6回で破断
4.5	繰り返し19回で破断
4.75	繰り返し71回で破断
5.0	繰り返し100回まで破断せず 安全率は、1.4まで低下。
7.5	繰り返し100回まで破断せず 安全率は、2.0まで低下。
10.0	繰り返し100回まで破断せず 安全率は、2.9でほぼ安定。

繰り返し変位が小さいほど繰り返し特性が大きい。ただし、安全率「4.75」と安全率「5」との差が大きい。

繰り返し荷重に対しては、安全率「5」で設計しても、必ずしも十分とは言えず、安全率「7.5」以上で設計する必要がある。即ち、既存の文献の中では「ロープ類の知識（米国沿岸警備隊の研究報告）」に示される安全率が最も適切な値である。また、ポリプロピレンが優れていることも、本実験と同じ結論である。

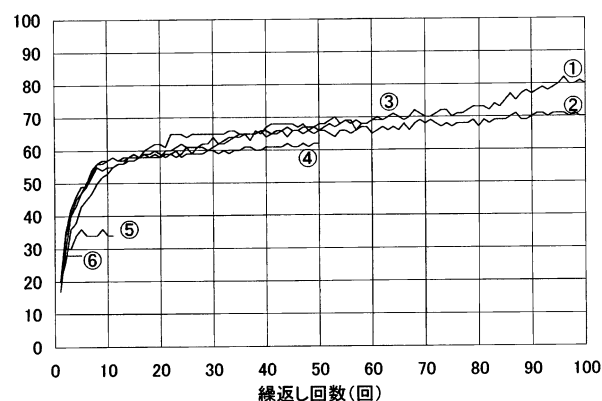
5.5 繰り返し変位の周期による違い

図 - 10 に繰り返し変位の周期による違いを示す。いずれの場合も、表 - 13 に示す回数で実験を中止した。

定性的には、周期が小さい場合、ロープに与える影響は大きいといえる。ただし、周期が12分以下の場合、定量的には顕著な違いはない。

周期が1時間以上になると、安全率は「5」よりも減少するが、ある安定状態に達する。即ち、繰り返し変位によって、破断するようなことはないと考えられる。

対破断荷重(%)



- ：周期50秒      ポリプロピレン      18mm
- ：周期3分      ポリプロピレン      18mm
- ：周期6分      ポリプロピレン      18mm
- ：周期12分     ポリプロピレン      18mm
- ：周期1時間    ポリプロピレン      18mm
- ：周期24時間   ポリプロピレン      18mm

図 - 10 繰り返し変位の周期による違い

表 - 13 繰り返し変位の周期による違い

繰り返し変位の周期	結果
50秒	100回で中止・安全率1.2に低下
3分	100回で中止・安全率1.3に低下
6分	62回で中止・安全率1.4に低下
12分	50回で中止・安全率1.6に低下
1時間	11回で中止・安全率2.8で安定
24時間	5回で中止・安全率3.5で安定

6. 結論

6.1 繰り返し「荷重」試験

以上、繰り返し荷重試験と繰り返し変位試験とは、結果が大きく異なることがわかる。

繰り返し荷重試験の場合、加える荷重は破断荷重以下である。表現を変えると、破断に至る前まで人為的に加える荷重を制御していることに他ならない。

このため、繰り返し荷重に対しては、従来の報告書どおり耐久力がある。

6.2 繰り返し「変位」試験

しかし、係留ロープのように同じ変位が繰り返される場合、復元力が十分でないと、バネ常数が大きくなる。このため、同じ変位に対しロープに作用する荷重は、繰り返し回数が大きくなるに従い、大きくなる。

そして、最終的には破断することになる。

6.3 動揺解析に用いるロープ特性

動揺解析に用いるロープの「荷重 - 伸び線図」は、破断荷重の80%負荷で5回の繰り返し荷重をかけた後に得られる特性曲線を用いるべきである。

同様に、初期の伸びが大きいため、初期張力が設計と大きく異なる可能性があり、実際の工事に用いるロープについても、同様のプリテンション加工を行った上で用いるべきである。

6.4 係留ロープに適した材料

今回の実験では、繰り返し特性の最も優れている素材は、ポリプロピレンであることがわかった。さらに、ポリプロピレンは繰り返し特性以外にも、海水中での強度低下がなく、水に浮くため海底との摩擦による損傷を避けやすい等の長所があるため、係留用として最も適した材料であるといえる。

また、係留ロープにポリプロピレンを用いた場合でも、安全率が「5」では破断の可能性が高い。「7.5」以上を選択すべきである。

謝 辞

なお、本実験は、内外製綱(株)の協力により実現できた。紙面を借りて、謝意を表したい。

参考文献

- 1 財 沿岸開発技術研究センター：浮体構造物技術マニュアル、pp.52、1991
- 2 社 全国沿岸漁業振興開発協会：沿岸漁場整備開発事業施設設計指針、pp.199、1992
- 3 株 成山堂書店：ロープ類の知識、pp.190、1989
- 4 中部繊維ロープ工業協同組合：繊維ロープのクリープ（吊り下げ荷重による）研究報告書、1983