

海洋観測に使用した係留索の経時特性変化について

山本 浩文^{*1} 伊藤 淳雄^{*2} 観田 悟^{*3}
市川 正和^{*4} 松本 好憲^{*4}

これまで海洋観測研究部では緊張係留方式の海洋観測を行ってきた。緊張係留方式の係留索は1年間以上使用できかつ何度も繰り返し使用できるものであることが絶対条件である。係留索で繋がれたいくつかの流向流速計などの観測データを紛失しないように、係留索の選定、繰り返し強度の計測等は非常に重要である。これらの海洋観測に使用されている係留索が実際にはどの程度の使用によってどのくらい消耗するのか、長期間海中で使用したものの継続的なデータはこれまでなかった。よって我々が使用している係留索の分類・特性について紹介するとともに、大量に使用されているアラミド系スーパー繊維索使用後の残存強度・伸度を測定し、長時間使用した場合の特性変化及び管理方法についてまとめたので報告する。

キーワード：緊張係留系，長期観測，係留索

The Change over time of mooring rope using marine observation

Hirofumi YAMAMOTO^{*5} Atsuo ITO^{*6} Satoru KANDA^{*7}
Masakazu ICHIKAWA^{*8} Yoshinori MATSUMOTO^{*8}

We observed the ocean structure using tension mooring buoys. The mooring line are requirement that can use a few years and repetition using. It is very important to select the mooring rope and to measure the repetition strength of rope. We have never been to measurement data the repetition strength of rope by using the oceanographic observation.

We report on mooring buoy classification and its characteristic. Moreover, we examine the remnants and ductility of the mooring rope, in case of longterm, the characteristic property and the method of administration.

Key Words : Tension mooring bouy, long-time observation mooring rope

* 1 海洋観測研究部
* 2 (株) マリン・ワーク・ジャパン
* 3 日本海洋事業(株)
* 4 東京製網繊維ロープ
* 5 Ocean Reserch Department
* 6 Marine Works Japan Ltd.
* 7 Nippon Marine Enterprises, Ltd.
* 8 TOKYO SEIKO ROPE MFG.CO.LTD.

1 はじめに

従来使用する研究者の経験や、好みを判断基準として、係留材料が選択されてきた場合が多くあった。このような背景において、中層型緊張係留式海洋観測に使用されている合成繊維ロープの種類、構造、選択基準について論じ、これまでほとんど調査されることがなかった使用後の係留索の経時特性変化について、プロジェクト研究「亜熱帯循環系の観測研究」に使用されたものを中心に、使用履歴の明確なロープに関して調査、評価した。またロープの適切な維持管理方法について述べる。

2 緊張係留方式に使われるロープの必要条件

緊張係留方式の海洋観測測器係留には、一般に合成繊維を素材としたロープが使用されている。

その理由として、

- (1) 海水中で腐食しない。
- (2) ワイヤロープ、チェーン等鋼製素材の係留材料に比較して、海中重量が軽く中間フロート取付数量を減ずることができる。
- (3) 組構造ロープが製作可能である。組構造にするとキンクが起りにくくなり、かつ張力が掛かった場合に回転トルクを生じない。ワイヤロープでは組構造の製作は困難であるうえ、耐疲労特性が良くない。
- (4) 端末加工が容易で、応急の場合は、強度が低下するが結束も可能である。
- (5) 重量が軽く、柔軟で取扱いが容易である。
- (6) 入手が容易である。

等多くの理由が挙げられる。

近年ケブラー等の高機能繊維あるいはスーパー繊維と称する、ナイロン・ポリエステル・ポリエチレン等の在来型合成繊維に比較して、はるかに引張強度の大きな繊維材料が普及しつつあり、かつ入手可能な組構造の種類も増えている。

3 ロープに関する用語について

使用する用語について整理を行う¹⁾。

(1) ロープ

ロープとはワイヤロープ(通常は鋼を材料としている)と繊維ロープ(合成繊維もしくは天然繊維を材料としている)の総称である。一般的な用語では、ワイヤロープをワイヤ、繊維ロープをロープと呼んで区別しているが、ここでは繊維ロープについて論じるので、以下“ロープ”で統一する。

(2) スtrand

ロープを構成する子縄のことをstrandといふ(図1)。

(3) リード

strandの1回のよりていをリードという(図2)。

(4) スプライス

ロープ末端のstrandをほぐし、編み込むことをスプライスあるいはスプライス加工という。繊維ロープの場合にはロープ末端はほとんどスプライスされている。さつま、さつま加工も同じ意味である(図3)。

(5) 規格引張強さ

規格表、カタログ等に表示されているロープ引張強さである。一般にはメーカーの最低保証強度であるが、繊維材料の強度利用率から計算した設計値の場合もあり、製品の強度が規格値を下回ることもあるので注意を要する。

(6) 実引張強さ

製品ロープ両端末をスプライスし、JISに定められた方法で引張試験をした場合の強度である。前述のように規格値と実引張強さは一致しない。

4 係留系に使用されている主なロープの種類

繊維ロープの種類は、構造と材質の組み合わせで分類される。

(1) 構造による分類

比較的容易に入手可能である海洋観測に使用されているロープ構造は以下の4種類に代表される。

3つ打ちロープ^{2), 3)}

外観を図4に示す。3本のstrand(小なわ)を、1方向に撚り合わせて構成される、最も一般的な構造のロープである。撚り構造であるため、張力を掛けると撚りが戻ろうとする方向にトルクが発生する。1点係留には不向きな構造であるため、通常は海洋観測に使用されないが、船舶や水産等一般的な用途に多く使用されている。

8つ打ちロープ

外観を図5に示す。Z撚りstrandが4本、S撚りstrandが4本、合計8本のstrandで構成されている組構造ロープである。最初に市場に登場した組構造ロープで、最も多く流通している組構造ロープでもある。よく使用されているイトロープは商品名である。主な特徴・特性は次のとおりである。

- ・組構造であるためキンクが起こらず、形くずれしない
- ・柔軟で取扱いが容易である
- ・構造が簡単であるため、末端のスプライス加工が容易である。
- ・入手が容易なので、海洋観測には頻繁に使用されている。

12打ちロープ

外観を図6に示す。Z撚りstrandが6本、S撚りstrandが6本、合計12本のstrandで構成されている組構造ロープである。国内ではトエルロープという商品名で市場に流通している。近年海洋観測用として普及し始めている。主な特徴、特性は次のとおりである。

- ・組構造であるためキンクが起こらず、形くずれしない
- ・非常に柔軟で取扱いが容易である
- ・荷重をかけてもねじれない

二重組打ロープ(ダブルブレードロープ)

外観を図7に示す。長いリードで編組された内層に、さらに外層を編組した二重構造を持った組構造ロープである。構造上単位面積当たりの繊維密度が高く、同一素材、同一径なら4種中最も高い強度が得られる。主な特徴、特性は次のとおりである。

- ・内外層を異なる材質で製作可能であり、ロープ性能のコントロールが容易である。
- ・組構造であるためキンクが起こらず、形くずれしない
- ・柔軟で取り扱いが容易である
- ・端末加工は比較的煩雑である。
- ・製造時製作工程がかかるので、一般に他構造のロープより多少高価である。
- ・海洋観測によく使用されている。

(2) 材料の種類による分類

ロープ用繊維材料の主な種類を表1に示す。繊維素材の特長、特性については、多数の資料が入手可能と考えられるので、海洋観測に比較的多用されている素材のみについて、簡単に説明する。

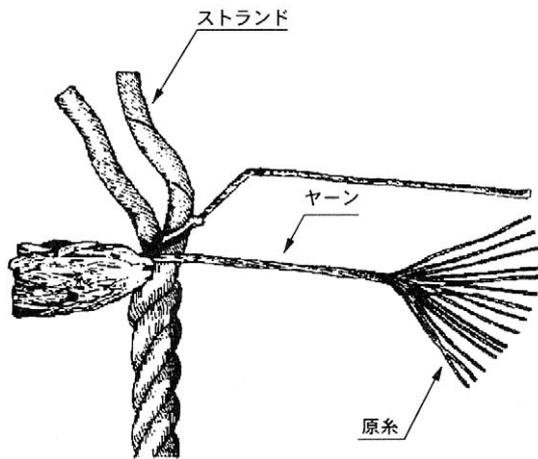


図1 ストランド・ロープ構造について
Fig1 Strard

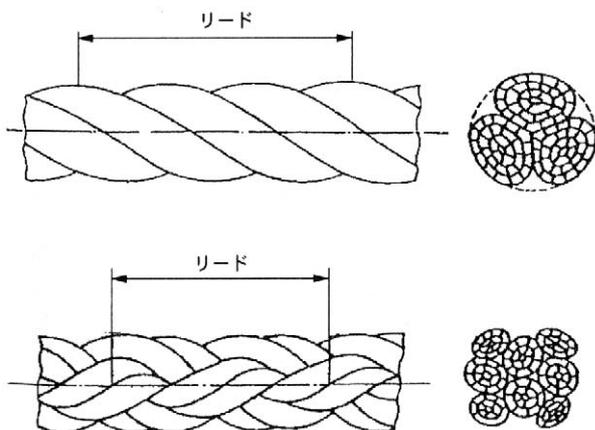


図2 リード
Fig2 Lead

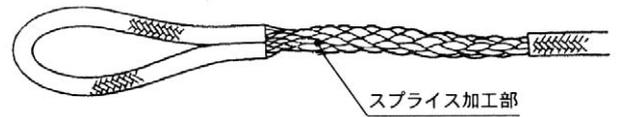


図3 スプライス
Fig3 Splice

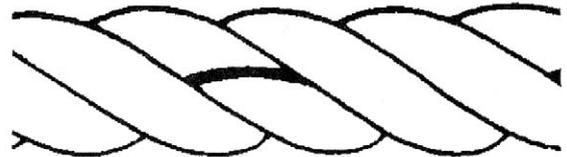


図4 3つ打ちロープ外観
Fig4 Three strand rope

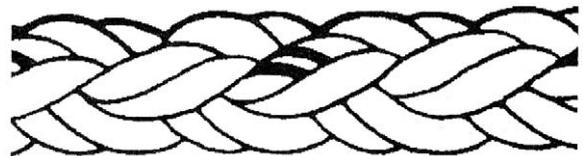


図5 8つ打ちロープ外観
Fig5 Eight strand plated rope

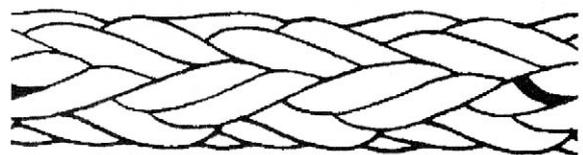


図6 12打ちロープ外観
Fig6 Twelve strand plated rope

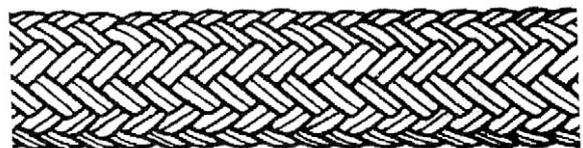


図7 二重組打ロープ外観
Fig7 Double braided rope

表1 繊維ロープ用繊維材料
table1 The material of fibre rope

項目		原 系	織度・番手	乾強度	乾伸度	湿強度	比 重	軟化点	
繊維名		メーカー名		(g/D)	(%)	乾強度 (%)		(℃)	
天 然 繊 維	マニラ麻			4.0～6.6	2.3	104	1.45	—	
	ザイザル麻			3.0～3.8	2.0	104	1.30	—	
合 成 繊 維	ポリアミド系	東レ	840D/96F	7.0	18～27	85	1.14	180	
		ナイロンユニチカ	1,260D/210F	9.0～9.7	16～27	85	1.14	180	
		帝人デュポンナイロン	1,260D/204F	9.0～9.7	19～24	85	1.14	180	
	ポリエステル系	東レ	1,000D/192F	8.4～9.0	11～14	100	1.38	238	
		テトロン	帝人	1,000D/250F	9.2～9.5	10～15	100	1.38	238
		エステルスパン	クラレ	#22	4.3	11	100	1.38	238
			クラレ	#5	4.0	14	100	1.38	238
	ポリビニルアルコール系	クレモナ	クラレ	#20	5.4	8.2	84	1.30	220～230
			クラレ	#5	4.7	9.8	82	1.30	220～230
	ポリビニルアルコール系 + ポリエステル系	クレモナS-VE	クラレ	#5	4.3	9.6	93	1.30	220～230
	ポリエチレン系	ハイゼックス	三井東圧	400D/1F	6.3	15	100	0.96	100～115
		キョーレックス	当社製	400D/2F	12.0	12	100	0.96	100～115
	ポリプロピレン系	バイレン	三菱レイヨン	680D/120F	7.5	20	100	0.91	140～160
		ダンライン	宇部日東	3,000D/1F	7.0～9.0	15	100	0.91	140～160
P.Pスパン		大和紡	#5	5.5	22	100	0.91	140～160	
バルフレックス		東燃ファイナル	2,000D/100F	5.5	12	100	0.91	140～160	
マリンタフ		当社製	3,000D/1F	8.0	13	100	0.91	140～160	
ポリ塩化ビニル系	エンピロン	東洋化学	450D/1F	2.3	22	100	1.37	60～70で 収縮開始	
ポリ塩化 ビニリデン系	サラン	旭化成	1,000D/1F	1.9	20	100	1.7	150～180	
	クレハロン	呉羽化学	1,000D/1F	1.9	22	100	1.7	150～180	
ス ー パ ー 繊 維	アラミド系	ケブラー	デュポン製ケブラー	1,500D/1,000F	26.0	3.3～4.0	100	1.44	430℃炭化
		テクノーラ	帝人	1,500D/1,000F	26.0	4.4	100	1.39	500℃炭化
	ポリアリレート系	ベクトラン	クラレ	1,500D/300F	26.0	3.9	100	1.41	400℃分解
超高分子量 ポリエチレン	ダイニーマ	東洋紡績	1,600D/1,560F	30.0	4.0	100	0.97	148℃	

ナイロン

- ・合成繊維中最も伸びが大きい。
- ・従来型の合成繊維では最も強力である。
- ・復元性がよく、ショックに強い
- ・スレに強い
- ・柔軟で扱い易い
- ・吸水しやすく、湿潤時は強度が低下する。
- ・伸びが大きな特性を適切に利用すれば、海面にブイを浮かべる形式の緊張係留には、現在最も適当な素材である。

テトロン（ポリエステル）

- ・ナイロンと同じく強力であるが、伸びが少ない。
- ・濡れても強度の低下がない。
- ・復元性が良く疲労が少ない
- ・スレに非常に強い。この特性から、ダブルブレード構造の外層材に良く使用されている。
- ・耐候性が合成繊維中最もすぐれている。
- ・耐薬品性がすぐれている。
- ・中層係留形式の緊張係留には、すぐれた素材のひとつである。

ポリエチレン

- ・重量が軽く、水に浮く。
- ・水中でのスレに強い
- ・クリーブが多く、伸びやすい。本特性は緊張係留には比較的不向きである。

ポリプロピレン系モノフィラメント

- ・扁平断面系モノフィラメント（商品名ダンラインが最も一般的である）を用いて製造されている。
- ・フィラメントの線度が大きい（太い）ので、ロープの感触は硬い。
- ・スレに非常に強い。
- ・重量が軽く、水に浮く。
- ・耐疲労特性にすぐれる。
- ・強度が要求されず、比重が海水より小さい必要がある場合は選択肢のひとつである。

ケブラー

- ・芳香族アラミド系繊維の商品名であり、生産量も大きく、スーパー繊維の代名詞的存在である。
- ・高強度、低伸度である。破断時の伸び率は4～5%で、引張強さワイヤロープに近似している。
- ・引張疲労に強い。
- ・合成繊維のなかでは、高い耐熱性を有する。
- ・海洋観測用途では現在適当な素材のひとつである。

(3) 海洋観測用ロープに必要な特性

前述のように、構造と繊維材料の組み合わせで、多種類のロープが製造可能であり、選択肢は多岐にわたる。ここでは中層型緊張係留系に必要な特性について考察する。

必要と考えられる特性

- ・潮流による係留傾角変化を小さくするためには、係留索を極力細くしたい、従ってロープ単位断面積当たりの引張強度が高いこと。長い係留系では特に必要な特性であり、構造と材質の両方から実現可能である。

- ・所定の水深に観測機器を係留するためには、伸度が小さいこと。
- ・軽量であること。必要な余裕浮力を付加するためのフロートを減じ、潮流抵抗を小さく出来る。
- ・出来るだけ小さな安全率で長期間使用しても、強度が低下しないこと。
- ・常時一定の張力がかかるので、クリーブ特性が良好であること。
- ・取り扱いが容易で、キンクを起こさないこと。
- ・張力がかかっても、トルクを生じない構造であること。

ロープの選定

構造としては、直径が小さく、引張時トルクを発生しない、ダブルブレードが望ましい。材質としては、性能上現状ではスーパー繊維が最も求められる特性を満足している。

- ・ダブルブレードなら、内層ケブラー、外層にポリエステルを使用し、耐摩耗性、耐候性を向上させた構造が良いと考えられる。

5 「亜熱帯循環系の観測研究」に使用されたロープの引張強さの経時変化

(1) 適用された係留索について⁴⁾

「亜熱帯循環系の観測研究」において1994年2月～1998年の間に使用され、使用履歴の明確なロープを使用した。ロープは全て東京製綱繊維ロープ株式会社蒲郡工場で製作され、一本一本固有の番号を記入したタグを取り付識別を行った。(写真1)ロープの構造と種類は以下の2種(表2)であった。

表2 ロープ緒言

table2 Nominal diameter and breaking strength

呼称太さ (mm)	単位重量 (g/m)	引張強さ kN (tf)
9	66.7	41.0(4.18)
12	112	69.6(7.10)



写真1 端末部識別表示例

photo1 Sample of terminal marking

係留索に使用されたロープ緒言を表2に示す。
ロープの構造概要(ダブルブレード構造)を図8に示す。

係留索末端の処理・他係留索は、所定の長さに製作され、両末端に専用ナイロンシンブルを取り付けた形状としている。

係留索の強度保証

実際の引張強さは、通常規格引張強さを保証するために高く設定している。

又、強度を確認する為の試験片末端形状は本係留索と同一のアイスプライス加工を施している。

(2) 残存強度用試験片の調整

一般的に索の強度低下は末端部分が大きくなる為、試験片の調整は事項に示すように両末端部とロープ部の2種類の強度を確認した。

ロープは再使用を前提とするので、試験片はロープの両端から採取した。試験片のサプリングは以下の様に実施した(図9)

- ・各供試体ともに試験片NO. , , , の4本をサンプリングした。
- ・試験片NO. , は製品アイ加工部を一方の末端とし、他方の末端を試験のためアイ加工を施した。
- ・試験片NO. , は両末端を試験のためアイ加工を施した。

(3) 引張試験の方法

東京製綱繊維ロープ株式会社蒲郡工場が所有する、NK登録番号T-8139、15t横型引張試験機にて行った。

試験時の調査内容は

- 1) 試験片外観状況
- 2) 残存強度
- 3) 破断試験時の切断箇所

を確認した。

6 残存強度試験結果

(1) 係留索 12 mmの試験結果

係留期間約1年～2年間使用後の残存強度の詳細グラフを図10～図13に示す。

(全データ数54本の係留索)

全データを250日から412日間 使用期間を1年間としてまとめた。

657日から817日間 使用期間を2年間としてまとめた。

として、試験片採取位置番号を集計しその平均値を算出した結果を表3に示す。

新品時実強力からの平均残存強度の低下率は1年間で-13.3%、2年間で-16.9%の低下が見られた。

全体の平均値で、2年間使用品は1年間使用品に対し、平均で4.1%の強度低下が見られた。

試験片採取位置での強度の関係では、1年間使用品及び2年間使用品共にロープ部より末端部の強度低下が大きく、その量は約8～10%程度となっている。

結果を表4に示す。

(2) 係留索 9 mmの試験結果

係留期間約1年～2年間使用後の残存強度の詳細グラフを図14～図17に示す。(全データ数13本)

全データを365日間を使用期間を1年間としてまとめた。497日間を使用期間を1.4年間としてまとめた。

このようにして、試験片採取位置の番号を集め、その平均値を算出した結果を表5に示す。

新品時実強力からの平均残存強度の低下率は1年間で-18.4%、2年間で-24.4%の低下が見られた。

全体の平均値で、2年間使用品は1年間使用品に対し、平均で7.3%の強度低下が見られた。

試験片採取位置での強度の関係では、1年間使用品及び2年間使用品共にロープ部より末端部の強度低下が大きく、その量は約12～15%程度となっている。

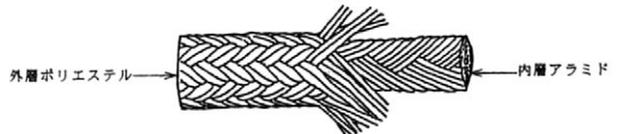


図8 ロープの構造概要(ダブルブレード構造)
Fig8 Construction of double braided rope

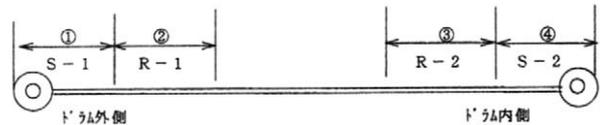


図9 試験片のサンプリング方法
Fig9 Location of sampling

表3
table3

使用期間	残存強度 (kgf)				平均強力 (kgf)	新品時に 対する 低下率
	S-1	R-1	R-2	S-2		
新品時					8,607	0
1年間	7,132	7,791	7,806	7,109	7,459	-13.3%
2年間	6,757	7,487	7,513	6,849	7,151	-16.9%
2年間使用品と 1年間使用品に 対する低下率(%)	-5.3%	-3.9%	-3.8%	-3.7%	-4.1%	

表4
table4

使用期間	残存強度及び低下率 (%)		
	S-1	R-1, R-2平均値	S-2
1年間	7,132	7,799	7,109
	-8.6%	基準値(0%)	-8.8%
2年間	6,757	7,500	6,849
	-9.9%	基準値(0%)	-8.7%

上段：残存強度平均値 下段：R-1, R-2平均値に対する低下率

結果を表6に示す。

(3) 残存強度試験結果のまとめ

係留索9mmと12mmでは、係留日数と残存強度の低下率が異なっており、9mmの低下率が大きい。

本結果は設計上の安全率の取り方、又設置海域の状況によっても異なる事が推定される。

本係留索も一般的な繊維ロープと同様に端末部の強度低下がロープ部より大きく、12mmの場合で、約8~10%低下、9mmの場合12~15%程度低い値となっている。しかし、テストピース採取位置からも判るように、強度低下を起こしている場所は端末加工端部に集中しており、定期的な点検による端末部の切り落とし、再加工によりロープ部並の強度に復帰する事が判明した。今回の残存強度試験結果から考察すると、一連の亜熱帯循環系の観測として使用されるアラミド繊維ロープは、約2年間で新品時からの強度低下は12mmでは15%程度、9mmでは25%程度強度低下を起こす事が判明した。

試験片の外観状況から、本目的の係留索は外傷によるスレ等の損傷は少ない事が言える。但し、投入時又は回収時の接触物とのスレ等には注意を要する必要がある。

表5
table5

使用期間	残存強度 (kgf)				平均強度 (kgf)	新品時に 対する 低下率
	S-1	R-1	R-2	S-2		
新品時					5,320	0
1年間	4,090	4,524	4,813	3,927	4,339	-18.4%
1.4年間	3,665	3,960	4,407	4,065	4,024	-24.4%
1.4年間使用品と 1年間使用品に 対する低下率(%)	-10.4%	-12.5%	-8.4%	-3.5%	-7.3%	

表6
table6

使用期間	残存強度及び低下率 (%)		
	S-1	R-1, R-2 平均値	S-2
1年間	4,090	4,669	3,927
	-12.4%	基準値(0%)	-15.6%
1.4年間	3,665	4,184	4,065
	-12.4%	基準値(0%)	-2.8%

上段：残存強度平均値 下段：R-1部(R-1, R-2平均値)に対する低下率

3年以上の使用による強度低下については、更に残存強度試験による調査が必要と思われる。

7 係留索の維持管理

海洋観測に使用したロープは使用後、適切な維持管理を行うことにより、安全に再使用でき、かつ使用期間を延ばすことが可能となる。取り扱い上の主な留意点、方法は以下のとおりである。

(1) ロープ表面に傷、スレを生じないように、設置及び揚収時には、出来る限り丁寧に取り扱う。極端に小さな曲率で曲げたり、鋭角な面に直接当ててはいけない。

- (2) シープやスターンローラーを介して取り扱う場合は、それらが良好に作動することと、油脂類の汚れに注意する。
- (3) 揚収後、表面に付着生物や汚れが存在する場合は、ロープに傷を付けないように清掃する。
- (4) 揚収後は清水を使用し、可能な限り脱塩を行う。揚収時もしくはその直後が望ましいが、多少時間が経過してからでも、行った方がよい。
- (5) 出来るだけ大きな曲率で木枠・鉄枠等に巻き付けて保管すべきである。やむを得ずコイルする場合も、大きな直径に巻き取る。木枠・鉄枠等に巻き取る場合、強い張力をかけながら巻いてはいけない。また可能な限り、整列に巻き取るようにする。
- (6) 出来得る限り温度変化の少ない、冷暗所に保管する。紫外線だけでなく、可視光波長域でも劣化の進む材質もある。また高温も劣化を促進する場合がある。通気性の良好なカバーを掛けておくのも、良い方法である。
- (7) 乾いて風通しの良い場所に保管する。湿気は汚れに黴の発生を促したり、劣化を促進する場合がある。従って、一度使用したロープについては注意して保管する必要がある。
- (8) 一般に直接床面に置いてはいけない。パレット等を使用し、床面から離して保管する。
- (9) 酸、アルカリ等の薬品に弱い素材が多いので、保管中は十分注意する。
- (10) 使用後全長の点検を行い、損傷及び汚損箇所は切り捨てる。もちろん損傷程度の激しい場合は、廃棄すべきである。
- (11) 使用後端末を切り取り、ロープの残存強度を確認するべきである。外観の目視検査だけでは強度低下の判断が出来ない場合がある。
- (12) 廃棄の目安としては、使用目的に応じてそれぞれの判断があるが、設計破断強度の70%としたい。

8 おわりに

今回のロープは海洋観測研究部が主に使用しているロープについて調査検討を行った。他のロープがすべてこの結果を受けて廃棄すべきものであるかは別として、使用方法状況等多岐にわたるので必ずしも上の結果の限りではない。今後もADCPや流向流速計等の高額なセンサー類を接続し1年間以上海底に設置することから、さらに、このようなデータを蓄積し分析することにより、使用限界というものを明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) ロープ類の知識東京タンカー株式会社海務部編 1989
- 2) 合成繊維ロープ規格東京製綱繊維ロープ株式会社
- 3) 合成繊維ロープJIS規格社団法人日本規格協会
- 4) 東京製綱繊維ロープ株式会社技術報告書

(原稿受理:1999年7月21日)

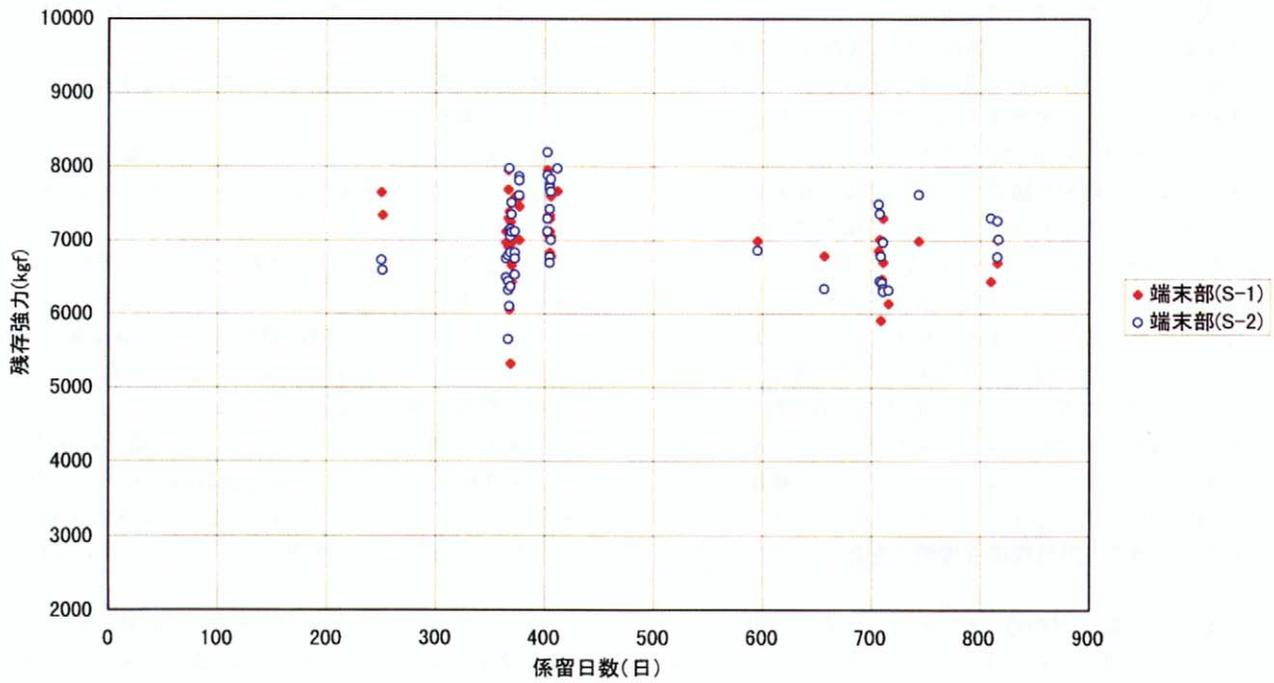


图10 係留索 12mm 係留日数VS残存強度
 Fig10 Mooring days vs residual breaking strength(12)

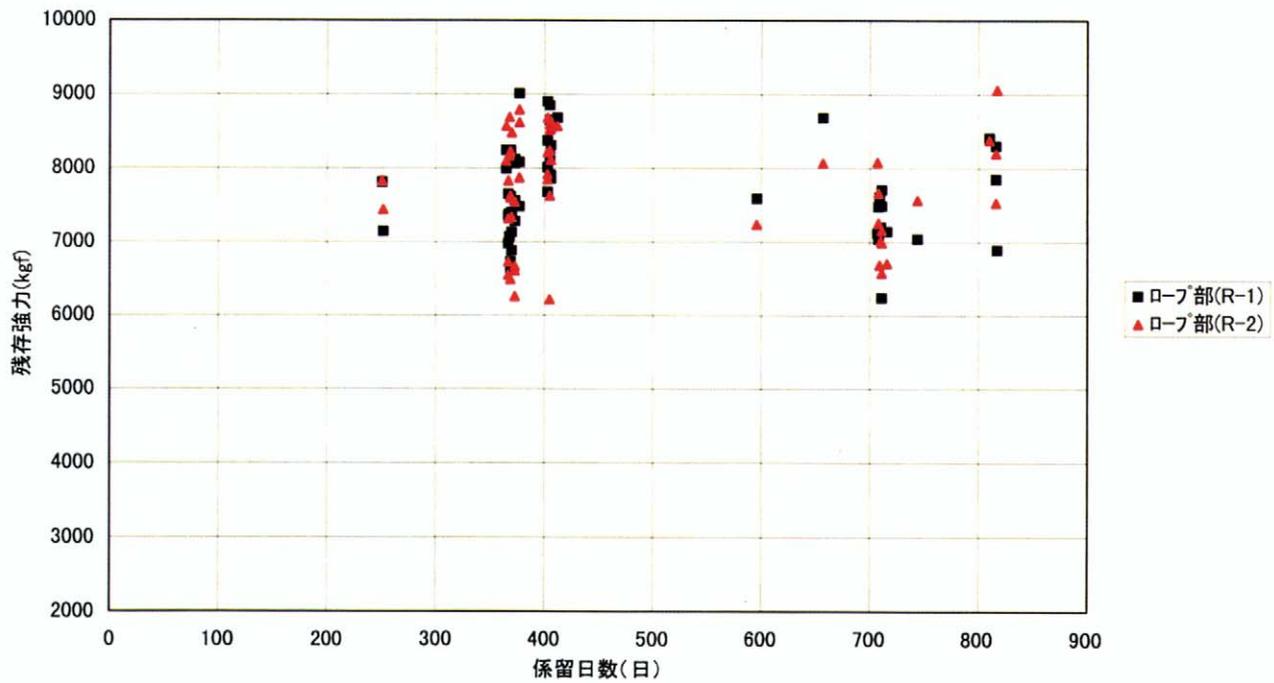


图11 係留索 12mm 係留日数VS残存強度
 Fig11 Mooring days vs residual breaking strength(12)

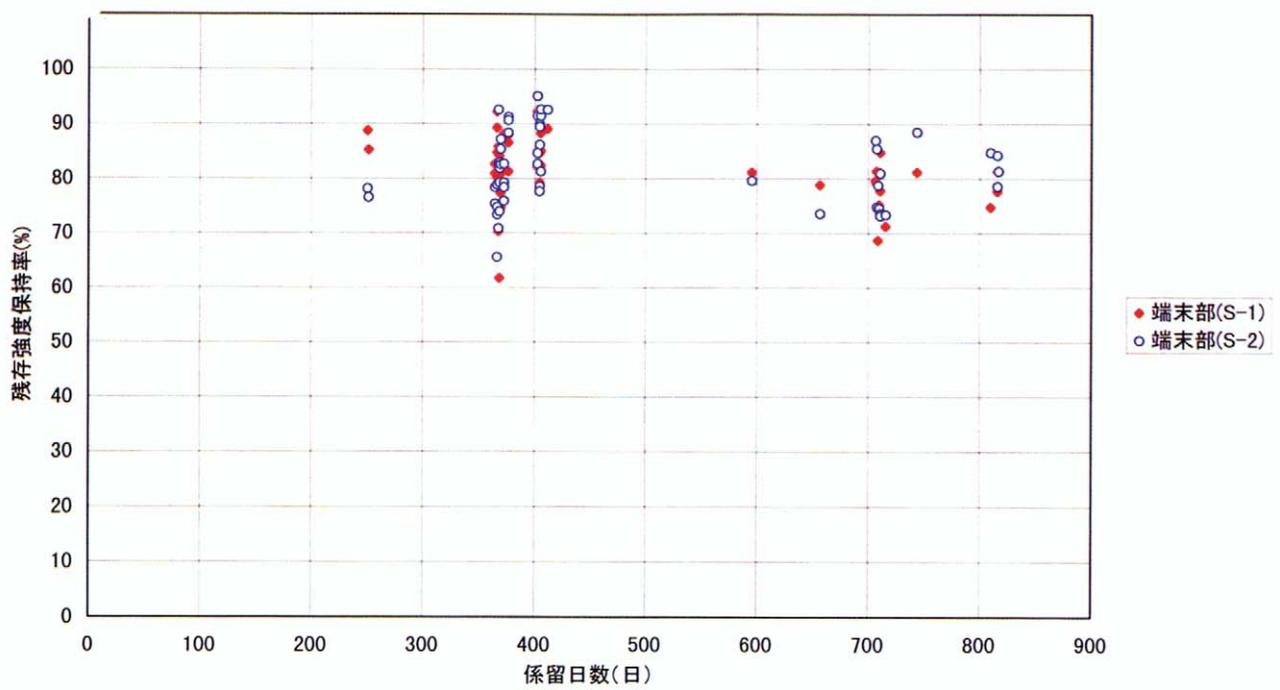


図12 係留索 12mm 係留日数VS実強力に対する強度保持率
 Fig12 Mooring days vs residual breaking strength(12)

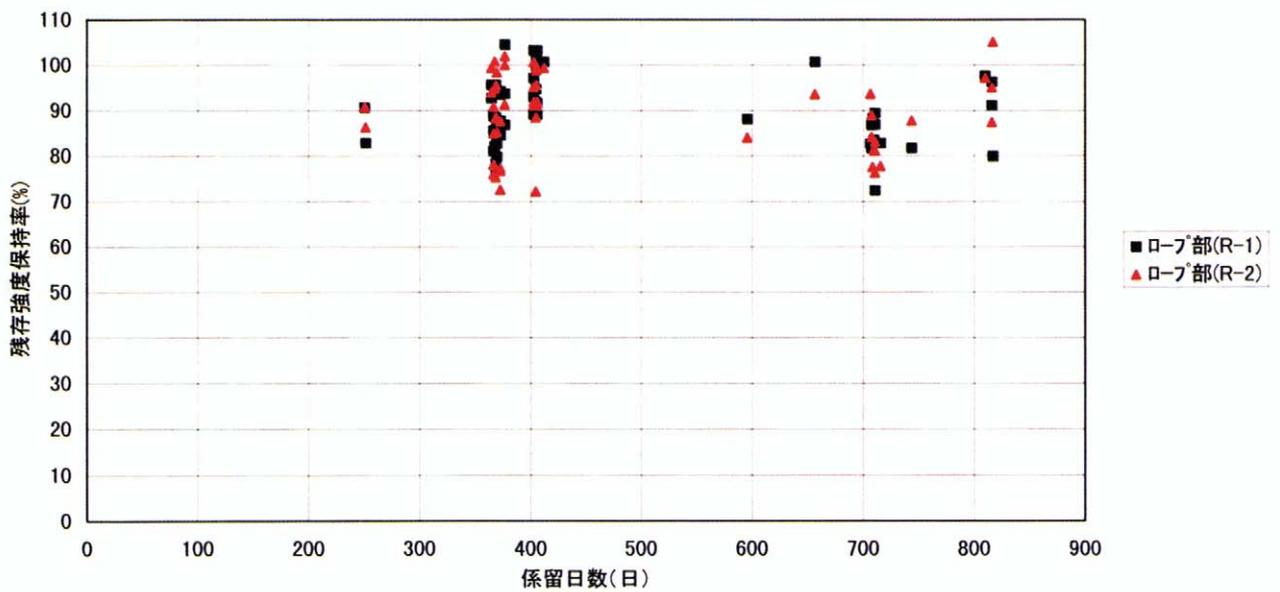


図13 係留索 12mm 係留日数VS実強力に対する強度保持率
 Fig13 Mooring days vs residual breaking strength(12)

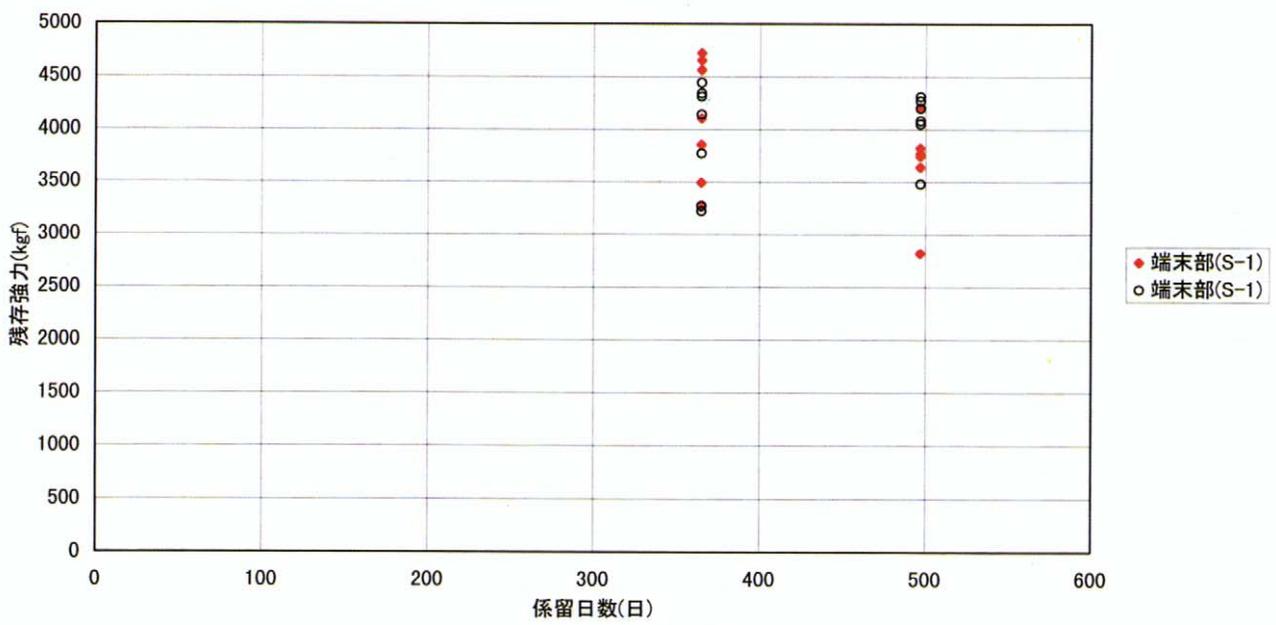


図14 係留索 9mm 係留日数VS残存強度
 Fig14 Mooring days vs residual breaking strength(9)

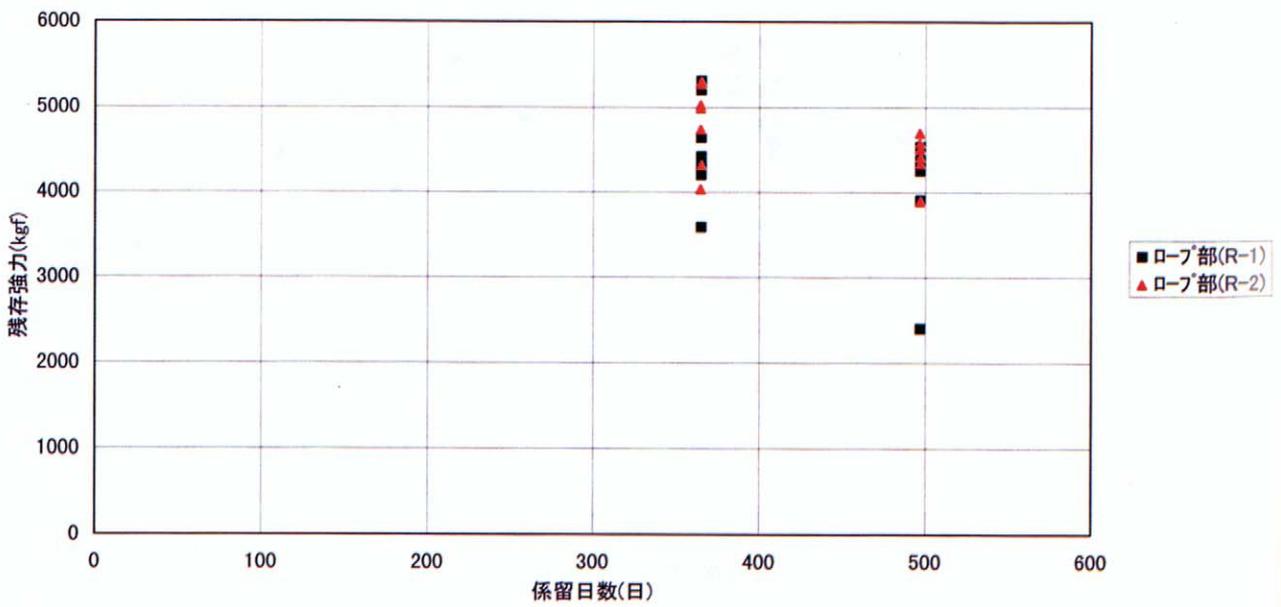


図15 係留索 9mm 係留日数VS残存強度
 Fig15 Mooring days vs residual breaking strength(9)

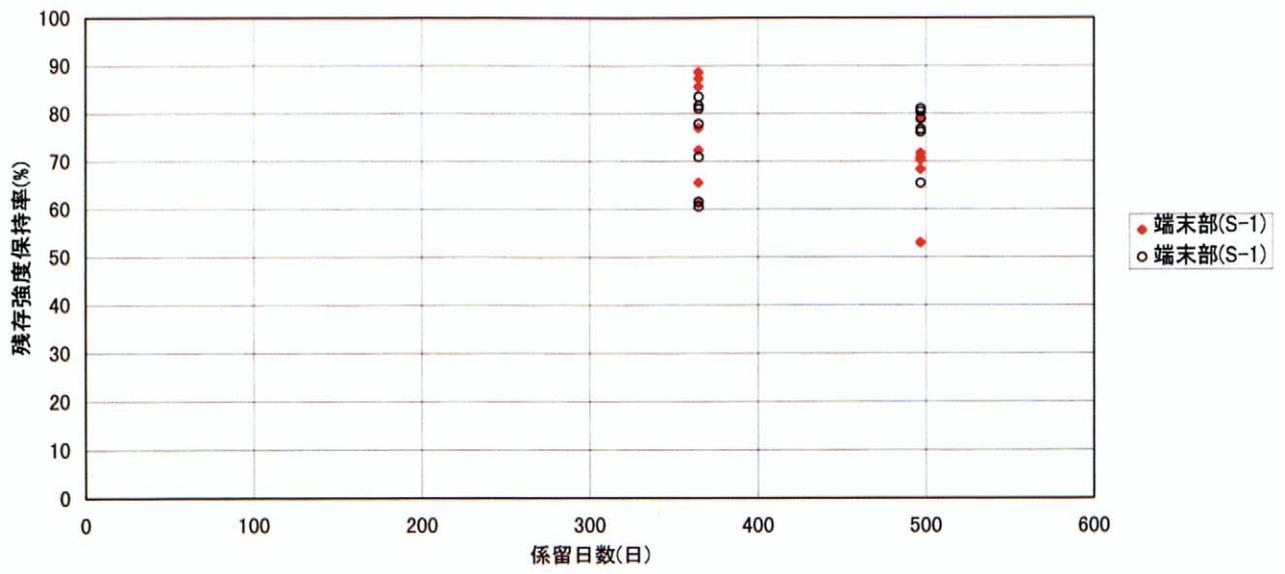


図16 係留索 9mm 係留日数VS実強度に対する強度保持率
 Fig16 Mooring days vs residual breaking strength(9)

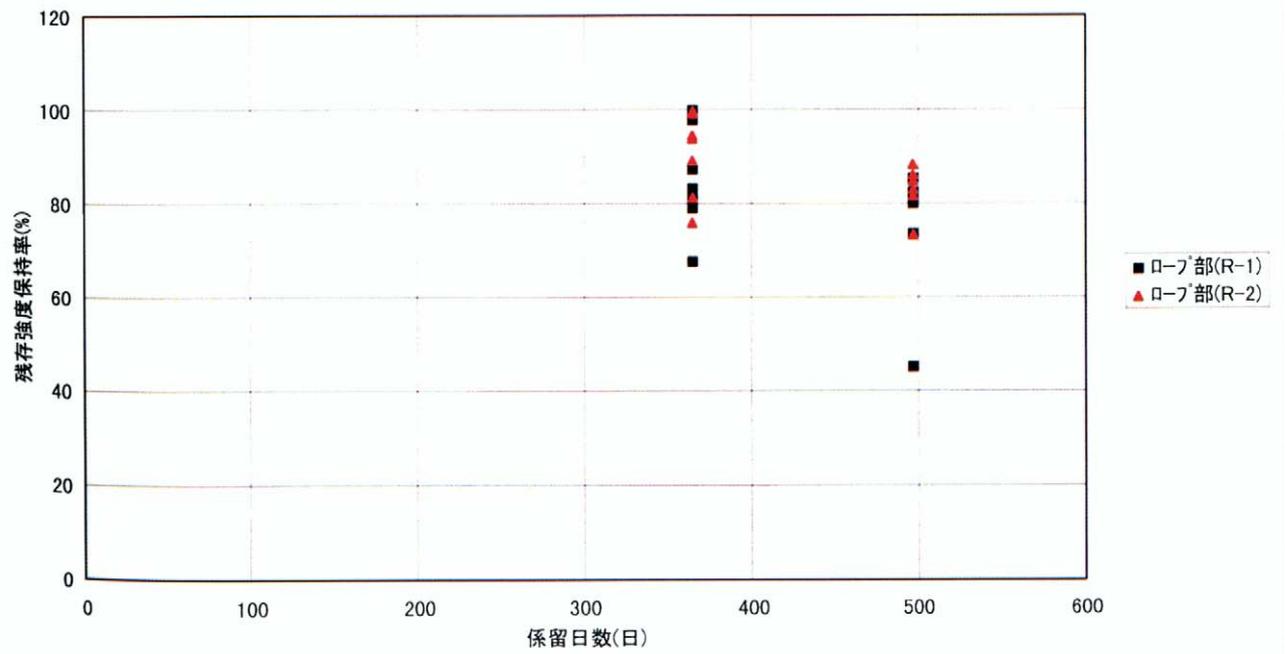


図17 係留索 9mm 係留日数VS実強度に対する強度保持率
 Fig17 Mooring days vs residual breaking strength(9)