

林業用ワイヤーロープと付属器具 の性能試験

林業用ワイヤロープと付属器具の性能試験

I 試験担当者

生産技術部林業機械科伐出機械研究室

広部 伸二

上村 巧

陣川 雅樹

II 要旨

1. ナイロンシープとワイヤロープの寿命

ナイロンシープがワイヤロープの寿命に与える影響を調べ、鋼製シープとの違いを明らかにした。ワイヤロープJ曲げ疲労試験装置を用い1割断線をロープ寿命判定の指標とした測定では、ナイロンシープの方が鋼製シープよりロープ寿命が長い結果となり、特にロープにかかる総応力（引張応力と曲げ応力の和）が低い（ $100\text{kgf}/\text{mm}^2$ 程度以下）場合ではその差が6～7倍にもなる。しかし、1割断線に達したときのロープ残留強度はナイロンの方が低く、新品ロープの破断強度に対する比率は、鋼製シープの70～90%に比べ、ナイロンシープでは30～55%にも低下している。

また、ナイロンシープ溝面の磨耗量を調べ、その耐久性について他の素材との違いを明らかにした。シープを通過するロープの距離が延べ450kmに及ぶ耐久試験の結果、総応力が100及び $115\text{kgf}/\text{mm}^2$ の条件で、溝面の磨耗深さが0.5mm及び1.5mmにも達した。鋼製シープでは0.05mm未満である。

2. エンドレスドラムにおけるロープの滑り

ワイヤロープの巻き付け回数や張力が、エンドレスドラムでの滑りに与える影響を明らかにした。自走式搬器の走行用エンドレスドラムとガイドシープの周速を計測しその速度比を調べたところ、巻き付け回数では1回巻きと2回巻きとで速度比に統計的な差があり、前者の方が約1%程高い値、すなわちエンドレスドラムでの滑りが大きい結果となった。

また、ロープ張力では約1tfを境に、その上下の張力条件の間でやはり速度比に統計的な差があり、張力の大きい方がより滑りが小さくなる結果となった。

3. 非自転性ロープの自転性

特殊なストランド構成やより方の工夫のため、捻転しにくく取り扱い性がよいとされる非自転性ロープ数種類について、実際に自転トルクと自転角度を計測し、一般的な架線集

材作業索用ロープとの特性比較を行った。一般的ロープでは、自転トルクは張力と比例関係にあり、自転角度は張力とロープ長に比例するが、非自転ロープでは必ずしも直線比例関係にならない場合もあった。また、非自転性ロープでは自転トルク・角度ともその値は小さく、ロープ常用荷重の張力レベルでの比較では、一般的作業索用ロープに比べておよそ1/3から1/7である。

4. ガイドブロックの性能

集運材架線に用いられるガイドブロックを対象に、寸法及び耐荷重についてその呼称・表示値と実測値の関係を調査した。シープ径では、すべてのブロックで使用ロープ径との比が20以下の数値となり、機械集材装置構造指導基準の推奨値を下回る結果となった。シープ溝の曲率半径は、使用ロープ半径の1.1～1.2倍が好ましいとされるが、その値以下のものも散見された。引張試験機による破壊試験の結果では、塑性変形開始時の荷重が表示値以下のものはほとんどなかったが、その比率には0.97～3.50とかなりばらつきがあった。

5. ワイヤロープの腐食とその破断荷重の低下

約14年間屋外に自然環境下で暴露状態にあったワイヤロープの腐食と強度低下について未使用ロープとの比較試験を行った。対象ロープは、6×7 C/L A種 16mmで、ロープ表面の片側だけに腐食の進んだものである。ロープのある1断面での断面積減少率は0.06%に過ぎないが、素線当たりの面積減少率は最大で14%に達し、ロープとしての破断荷重も未使用ロープに比べて10～13%減少していた。また、心綱のロープグリスもわずか4.5%量が残存していたのみである。

6. 合成繊維スリングの引張強度

合成繊維スリングの中でエンドレスタイプのものについて、その引張特性を調べるとともに、紫外線及び雨水による強度低下発生の有無を促進暴露試験により確認した。引張特性については、ワイヤロープの場合とことなり、降伏点を過ぎても繊維が徐々に切断するため強度が漸減するという現象がみられた。促進暴露試験では、対象スリングを1.0tf, 2.0tf及び3.2tf用、促進暴露時間を0時間、108時間及び216時間の3段階とし、さらに、ナイロン外皮の傷(10mm×10mm)の有無を設定して、残存強度を測定した。その結果、促進暴露時間の長短または外皮の傷の有無による強度への影響は認められなかった。

7. ワイヤロープのS曲げ疲労

ワイヤロープのS曲げ疲労試験における、ロープの伸長量と残留強度の関係を明らかにした。対象ロープは6×19 0/0 A種 12mmで、試験条件は、S曲げシープ径が190mmかつロープ張力が700kgfを主に、S曲げ往復回数を2400～6000回の3段階に設定した。その結果、初期伸びを省いた伸長量と残留強度との間に高い負の相関が認められた。さらに、S曲げ往復回数と伸長量の間にも正の相関があり、往復回数からも残留強度を推定することが可能となった。

ロープの自転特性として、張力を作用させたときに、ロープの端末を拘束した状態でロープに発生するトルク（自転トルク）と、ロープの端末の回転を自由にした状態で端末が回転する角度（自転角度）があるが、それらの特性について、非自転ロープ数種類を対象に相互比較を行うとともに、一般的なロープとの違いを明らかにする。

4. ガイドブロックの性能

集運材架線装置に用いられるガイドブロックの構造や性能に関しては、機械集材装置構造指導基準でシープ径の推奨値が示されているのみであり、その他の数値は特に定められていない。また、ガイドブロックの常用荷重、シープ径、使用ロープ径などについて、その算定の根拠又は設計の方針が各メーカーで異なっているため、カタログの数値が不統一なものになっている。各メーカーのブロックの形状寸法を得るとともに、引張試験でのその強さと各部の変形を測定し、それらの数値の実態を明らかにする。

5. ワイヤロープの腐食とその破断荷重の低下

ワイヤロープの破断強度低下の原因としては、曲げ疲労による断線、磨耗や腐食による断面積の減少、あるいはキンクや形くずれによる応力の集中があり、通常の使用状況下ではそれらが複合的に作用して強度低下をもたらす。曲げ疲労断線あるいは磨耗とロープ強度低下の関係を定量的に評価した事例は多いが、ここでは腐食のみを対象に、ワイヤロープでの腐食の進行状況とそれが強度低下に及ぼす影響を調べる。

6. 合成繊維スリングの引張強度

合成繊維スリング（以下スリング）の中で、エンドレスタイプの製品がワイヤロープ製のものに代わり、台付け索として架線作業の現場で使用され始めている。このスリングは軽くて取り扱いが楽であること、巻き付ける対象物を傷つけない等の特長を持ち、今後の普及が予想される。しかし、エンドレスタイプのものはJIS規格外の製品であり、品質の規準がなく、破断強度、破断特性、紫外線による劣化、あるいはメーカーが示す廃棄基準を超えて使用した場合の強度低下等について不明な点が多い。このスリングの引張特性を求めるとともに、長期間屋外で使用することを前提に促進暴露試験によりその強度低下を調べる。

7. ワイヤロープのS曲げ疲労

架線集材作業索用ワイヤロープの中で、従来から使用されている構成のものについては曲げ疲労特性が解明され寿命予測も確立している。しかし、タワー付き集材機等の新しい機械で使用される作業索の種類は、ロープ心種やウォーリントンシール種が中心であり、それらのロープに対応するには、従来の「1より長さの表面素線断線数増加に伴う強度低

下の過程」を調べる試験方法を見直すとともに、ロープ廃棄規準の1項目である「外観上の1割断線」を再検討する必要が生じている。ロープの強度低下について、外観上の断線数の発生度合だけでなく他の判断規準を得ることを目的に、曲げ疲労断線と関係の深いと思われるロープの伸びに注目し残留強度との関係を明らかにする。また、ロープの素線断線発生と残留強度低下の傾向について、ロープ構成種及び製品による特性を調べる。

IV 試験の方法と結果

1. ナイロンシープとワイヤロープの寿命

1) L曲げ疲労試験によるワイヤロープの寿命

供試ナイロンシープはピッチ径が110, 150及び190mmの3種を使用し、ワイヤロープ試料は6×19 0/0 12mm、張力条件は280と350kgfの2通りとした。ロープ試料は、長さ約3.5mで、両端に鉛合金ソケットを施し、図1に示すとく供試シープを受索輪側のL曲げ装置に取り付け、ヒールブロックを介して張力をかける。伸び測定機をセットしたのち試験機を始動し、供試ロープに往復運動による繰り返しL曲げを与える。張力が350kgfでシープ径が190mmの条件では、初期断線（N₁）の発生に至るまでは5000～25000回きざみで試験機を運転し、山断線と谷断線の別に断線状況を調べる。さらにN₁以降は500～1000回ごとに断線状況を調べ、ワイヤロープの1より長さの間に断線が11～12本発生するまで運転を行ない、その時点での累積往復回数（N_n）をロープの寿命とした。その他の条件の場合、シープ径に応じて500～1000回ごとに停止してロープ寿命を測定した。

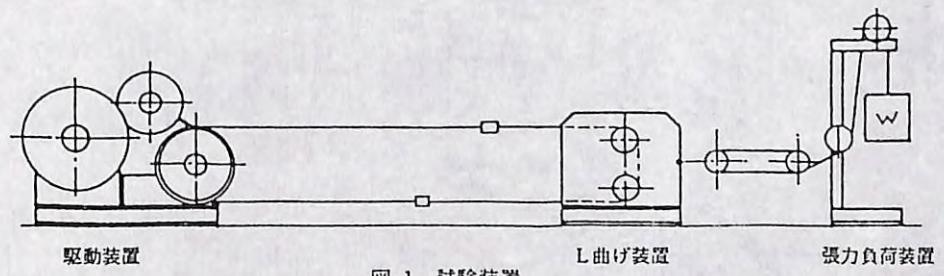


図1. 試験装置

試験の結果は表1及び図2のとおりである。表の各条件での寿命の平均値（N）をみると、鋼製（St）シープに比べてナイロン（Mc）シープの方が大きい値となっており、条件ごとのNの比率（Mc/St）では、シープ径110mmの場合で1.4～1.7、190mmの場合では、6.5～7.0にもなっている。しかしながら、平均残留強さは、同じ条件での比較ではMcはStの約半分の値しかなく、新品ロープの破断荷重の30～55%にも減少している。

ナイロンシープでは、外層素線の断線発生が遅く、1割断線に達した時には残留強度が

かなり低下していることが明らかになった。外層素線はシープ溝面と接触する素線であり、その断線発生が遅いことはナイロン素材の効果であるといえる。ただし、外観上の断線本数割合を寿命判定とする限り、ナイロンシープを使用する場合はその割合を見直す必要がある。また、寿命に至るまでの残留強度の変化を調べていないため確定的なことはいえないが、強度低下が曲げ回数と比例していると仮定すると、ナイロンシープでは曲げ応力レベルが低い条件の方が、真の寿命が延びる、すなわち残留強度が一定の値に低下するまでの曲げ回数が増加するといえる。

表1. 鋼製滑車とMc滑車を用いたワイヤロープの寿命比較

項目No	滑車の種類	車径 (mm)	張力 (kgf)	N _n (×10 ³)	N (×10 ³)	Mc/St	残強さ (tf)	平均残留強さ (tf)	備考
1	St ss45C 表面 処理	190	280	49.30	57.150		7.50	7.30	N _n :1割断線までの寿命
2				65.00			7.10		
3		350	30.00	32.500			7.30	7.50	N:平均寿命
4				35.00			7.70		
5		150	280	15.00	16.000		7.30	6.55	
6				17.00			5.80		
7		350	15.00	14.750			6.80	6.70	
8				14.50			6.60		
9		110	280	6.00	6.000		5.20	5.00	試験方法 L曲げ 供試ロープ 6×19, 0/0, 12mm
10				6.00			4.80		
11			350	4.00	4.000		6.30	6.20	
12				4.00			6.00		
13	Mc (908)	190	280	490.30	398.000	7.00	2.50	2.75	
14				306.00			3.00		
15		350	175.00	210.000	6.50		6.00	4.45	
16				245.00			2.90		
17		150	280	34.20	36.600	2.30	3.50	3.25	
18				39.00			3.00		
19		350	27.40	30.800	2.10		3.10	3.25	
20				34.20			3.40		
21		110	280	8.75	8.625	1.44	2.70	3.10	
22				8.50			3.50		
23			350	7.00	7.000	1.75	2.90	2.50	
24				7.00			2.10		

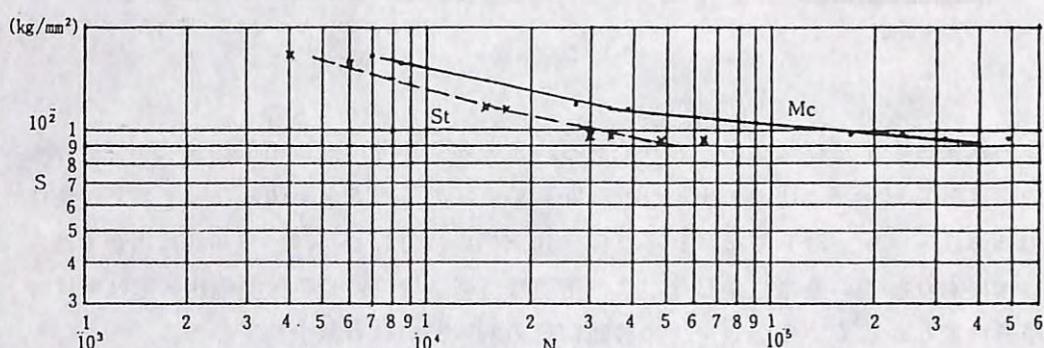


図2. StとMcの寿命と総応力の関係

2) ナイロンシープ溝面の磨耗

表2に示すとおり、供試材質はSt (表面焼入加工), Ss (表面無処理), Fc (鼠鉄) およびMc (901と908) の5種類とした。Mc 901とMc 908はほぼ同じ素材であるが、後者の方がやや耐衝撃強さが高いという特性の違いがある(5)。曲げ疲労試験の前後で、供試シープの溝形を型取りしたゴム粘土を投影機(倍率10)にかけ、スクリーンに写し出された映像を比較することで磨耗の深さを読み取る方法と、デップスマイクロメータ(最小目盛り1/100mm)で直接磨耗深さを読み取る方法の2とおりで行った。曲げ疲労試験機は前述と同様で(図3), L曲げ装置の代わりにシープを取り付ける。ワイヤロープ試料も前述と同様である。負荷張力は700と1400kgfの2とおりとした。試験機は、鋼製シープの場合1000回ごとにまたナイロンシープでは2000回ごとに、ロープ径、伸び、断線数(1より長さにおける)を測定記録し、1割断線に至るまで運転と測定を繰り返した。

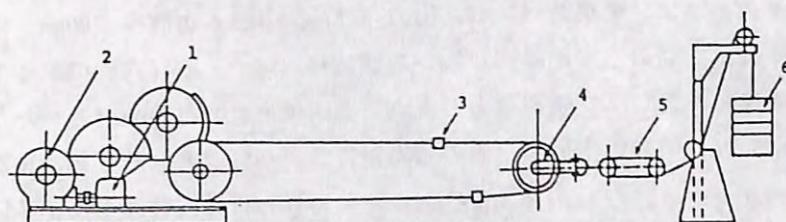


図3. 試験装置

表2. 滑車の材質別磨耗量

測定項目 滑車の種類	張力 (kgf)	延回数 (×10 ⁴)	ワイヤロープの 通過距離(km)	磨耗深さ (mm)	備考
St	1400	24.0	600.0	0.00	St : S45C表面
Ss	1400	18.0	450.0	0.00	焼入加工
Fc	700	18.0	450.0	0.20	Ss : S45C表面
	1400	17.2	430.0	0.70	無処理
Mc(908)	700	18.0	450.0	0.55	
	1400	18.0	450.0	1.55	
Mc(901)	700	18.5	462.5	0.68	

結果は表2に示すとおりである。供試Stシープでは、張力1400kgfの試験条件で延24万回運転(通過距離600km)後の磨耗深さは0である。Ssでは、延18万回運転(450km)後の磨耗深さはほぼ0であるが、シープ溝面に若干のワイヤロープの縄目が認められた。また、Fcシープでは張力700kgfの試験条件で、磨耗深さ0.2mm、張力1400kgfでは0.7mmの

摩耗深さである。一方、Mc (908) では、張力700kgfで摩耗深さは 0.55mm、同じく 1400 kgfでは1.55mmと摩耗深さは確実に大きくなり、試験後のシープ溝表面はワイヤロープの繩目（ストランド）の圧痕が明瞭に表れている。同一ナイロン系素材でも、Mc (908) に比べ Mc (901) では摩耗深さは大きい結果となっている。St, Ss, Fcのロックウェル硬度計（Bスケール）による実測値はそれぞれ85, 50, 48（平均値）であり、硬度が低い数値を示すに従って、摩耗量が増加する傾向にある。

2. エンドレスドラムにおけるロープの滑り

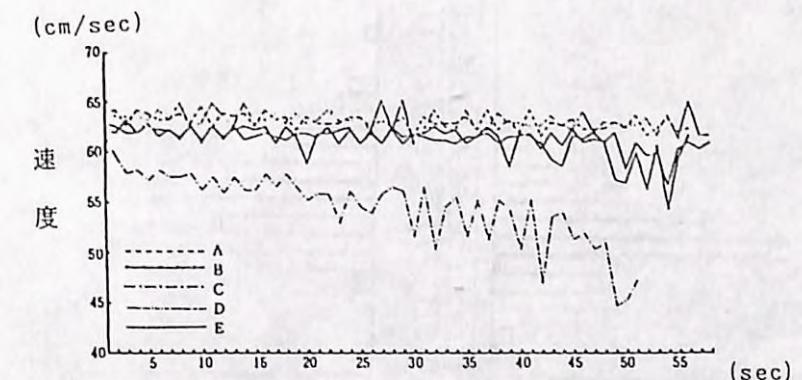
自走式搬器のエンドレスドラム（以下ドラム）とガイドシープ（以下シープ）に光電式回転検出器を取り付け走行中の回転数をそれぞれ測定記録し、その周速の差よりエンドレスドラムの滑りを求めた。

使用した自走式搬器は、全重量141kgf、出力 3.8ps、ドラムの直径 200mm、幅50mmである。索架設条件は、支間の水平距離 62.6m、高低角10.4度で、直径10mmのワイヤロープを用い1線式で架線した。ロープ張力を上方支点の実測値で510～1340kgfとしたため、中央垂下比は0.04～0.06、搬器の上側と下側の張力差は 10～90kgfと計算され、搬器本体の傾斜角度は10～25度となる。なお、ドラムへのロープの巻き付け回数は1及び2回とした。

測定結果のうち代表的な条件のものを選びA～Eとし、図4と5にドラムとシープそれぞれの上り走行での速度変化を示した。ドラム、シープともに、AやDのように張力が600kgf程度の場合は、ほぼ一定のスピードで走行する場合が多かった。一方、B, C, Eのように張力が 1000kgfを越える場合や負荷をかけた場合は、傾斜が急になるにつれ速度が徐々に落ちる傾向にあった。これは実験に用いた自走式搬器の出力が 3.8psと小さいためであろう。下り走行の場合は、条件による違いがほとんどないので省略する。

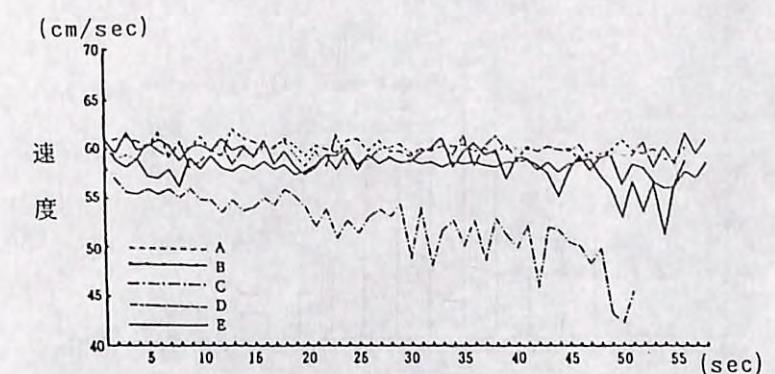
実験を通じての自走式搬器の平均速度を求めるとき、ドラムへの巻き付け数が1回の場合、上りで59.08cm/sec、下りで61.03cm/secとなり、2回巻きの場合、上りで58.10cm/sec、下りで61.81cm/secであった。図4と5からAを抜きだしたもののが図6である。ドラムとシープの速度は 3cm/sec程の差があることが分かる。ドラムの速度をシープのそれで除したものと速度比とし、滑りの検討に用いた。

速度比は、条件を変えても上りと下りでは差がなかった。下りの方が平均速度が速いので、速度差の絶対値では下りの方が大きい、すなわちより多く滑っていることになる。ドラムへの巻き付け回数別に速度比をみると（図7）、平均値で1回巻きが 1.052、2回巻きが 1.041となり1回巻きで1%程より多く滑ることになる。なお、両者の分布は統計的に差がある（1%で有意）。ただし、今回の実験では、1回巻きの方がドラム表面でのロープの移動がスムーズであった。逆に、2回巻きで張力の高い場合にはドラムでのロープの横滑りが円滑でなく、衝撃音を発してスリップすることが認められた。



A 張力 660kg 2回巻 D 張力 570kg 1回巻
B 張力 1250kg 2回巻 E 張力 920kg 荷重 50kg 1回巻
C 張力 880kg 荷重 50kg 2回巻

図4. 条件別 エンドレスドラムの速度変化



A 張力 660kg 2回巻 D 張力 570kg 1回巻
B 張力 1250kg 2回巻 E 張力 920kg 荷重 50kg 1回巻
C 張力 880kg 荷重 50kg 2回巻

図5. 条件別 ガイドシープの速度変化

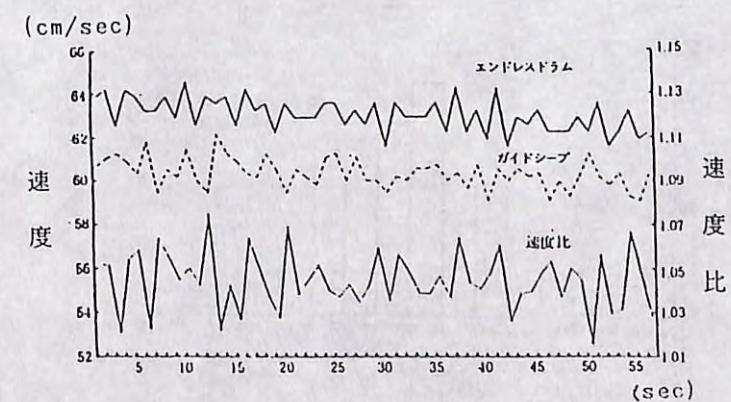


図6. エンドレスドラムとガイドシープの速度変化

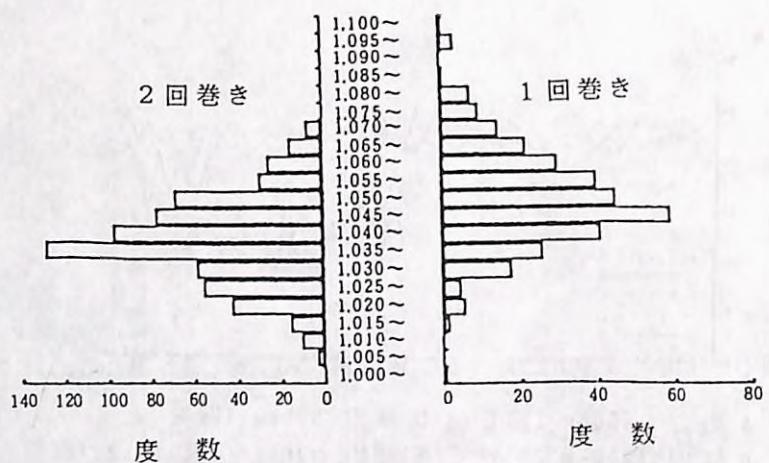


図7. 卷数による速度比の変化

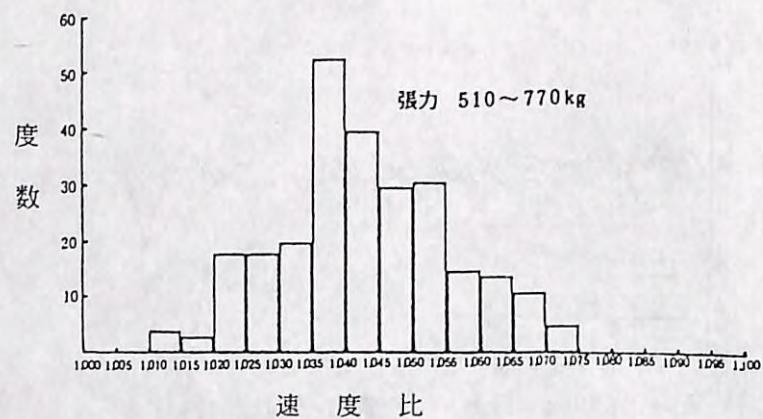


図8. 張力別 速度比 ヒストグラム

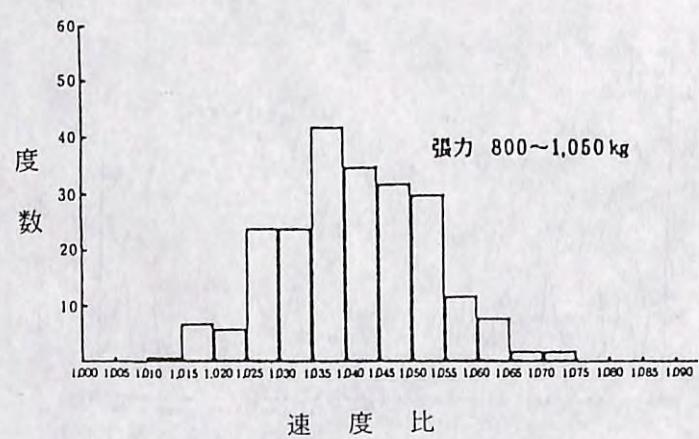


図9. 張力別 速度比 ヒストグラム

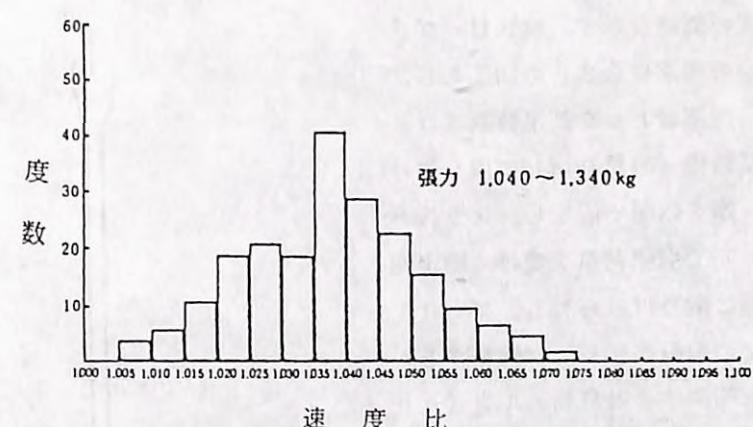


図10. 張力別 速度比 ヒストグラム

素の張力別に速度比をみると、図8～10のように張力が増すにつれて速度比が小さくなる傾向が認められる。最も張力の高い 1040～1340kgf場合その平均値が 1.038で、張力が 510～770kgf及び800～1050kgfの2つの場合とは分布に 1 % の有意差が認められる。しかし、張力 510～770kgfと800～1050kgfの両者間においては有意差は認められない。また、張力を増すほど速度比のばらつきも大きくなる傾向がある。

3. 非自転性ロープの自転性

類似した構造をもつ8種類の非自転性ロープの自転特性について比較試験を行った。供試ロープ（図11）はいずれも市販品であり、4ストランド、構成素線数120～168本、素線抗張力180～195kgf/mm²であり、A～D、G～Jの記号で表す。比較対象ロープとしてIWRC 6×Fi(25)と 6×19を加えた。ロープ直径はいずれも12mmである。

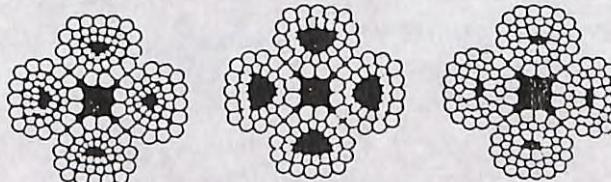


図11. 非自転性ロープの断面図の例

図12に装置の概略を示す。供試ロープ(a)は約80cmの両端に合金止め加工をし、一端は直接に、他端はトルク測定装置(b)を介して引張試験機(容量10tf)に取り付ける。bはaの一端を内部で固定し、スラストベアリング(c)で引張荷重を受け、固定端(d)で試験機に取り付けられる。張力(T)によってロープの自転が生じcが回転するが、bの腕(e)を拘束すると自転トルク(q)が、拘束をはずすと自転角度(r)が測定できる。eにかかる力はビーム型ロードセル(容量10kgf)で、回転角度の測定はロープを中心とした分度盤で測定した。

Tとq及びrの測定結果を図13, 14に示す。一般にqはTと比例関係にあり、その比率はkgf·m/tfの単位で表される。供試非自転性ロープについてはTが大きくなるにしたがいこの値がわずかに小さくなる傾向がみられた。一方、rは一般にロープの長さとTに比例するが、供試非自転性ロープについてはTと必ずしも比例していないものがある。相互に比較するため、各ロープの切断荷重の1/6の張力におけるq及びrの測定値を用い、さらにrについてはロープ径の10倍のロープ長さを規準とし、自転トルク(Q)と自転性係数(R)を計算した(図15)。非自転性ロープ8種のQ及びRは、種類ごとに差があり比較対象としたJIS規格品に比べおよそ1/3~1/6と小さい。Cだけは特に小さな値となっている。Q, Rは、ストランドとロープのより長さによって決まるものであるが、供試ロープのロープより長さは100から114mmと差が少なく、より角度も外観から計測する程度では明瞭な差が得られず、Q及びRの値をロープの形状と関係づけて説明することはできなかった。QとRの関係については、その大小関係は似ているが必ずしも一致するものではない。

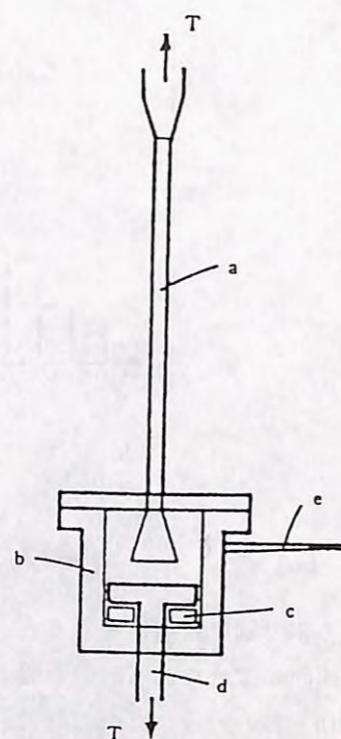


図12. 試験装置

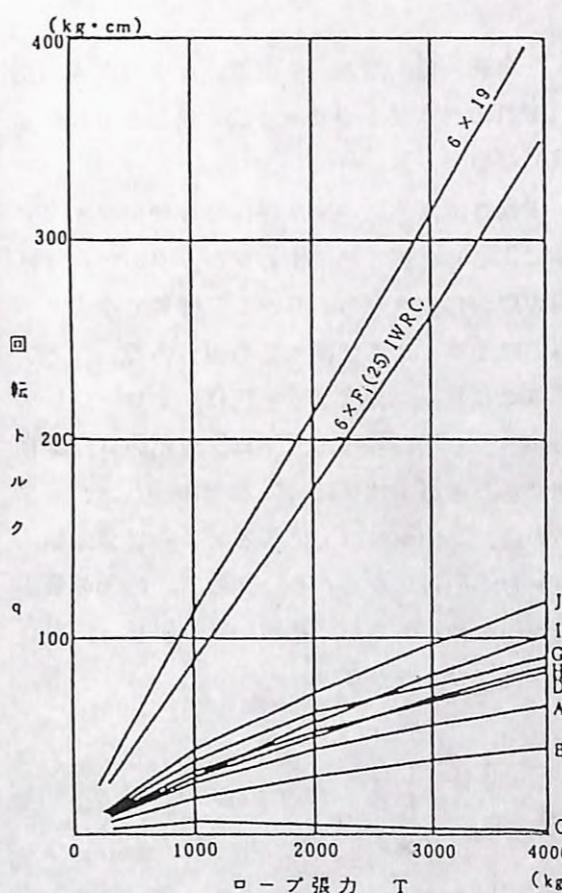


図13. 自転トルク

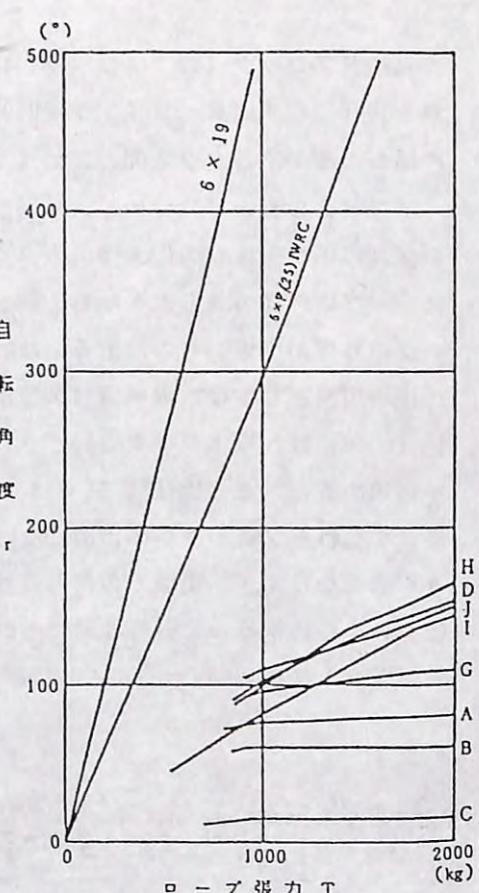


図14. 自転角度

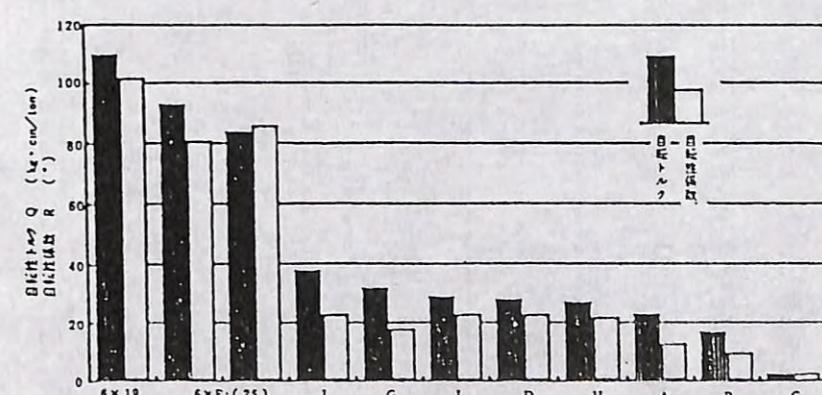


図15. 自転トルク (T, kg/cm/ton) と自転性係数 (R°)

4. ガイドブロックの性能

ガイドブロック（以下ブロック）について、全高、幅、厚さ、全重量、カタログ表示重量を表3に示す。6~9インチ（吋）のそれぞれのクラスの中で、寸法、重量ともに相当の幅があるが、各クラス間の差は外見上明確でない。

ブロックのシープについて、外径、谷径、溝深さ、溝底の曲率半径、及び使用ワイヤロープ（以下ロープ）の最大径（カタログ表示による）を表4に示す。ブロックの呼称寸法はシープの外径の大きさを示し、購入や使用の際の目安となる。しかし、呼称寸法よりシープの外径が小さいもの、あるいは谷径のみでは1クラス下に属するものもある。シープの径の規制としては、機械集材装置構造指導基準にシープ径（ピッチ円径）とロープ径の比（D/d）は20以上が望ましいとされているが、シープの谷径とカタログ表示のロープ径から求めると、この比は9.56~18.93の範囲にありその平均値は12.25であった。シープ径、すなわちブロックが小さめになっているのは、D/dを20以上にするとシープ全体が大きく重くなりすぎ、現場での持ち運びや取り付けが困難になるからであろう。D/dの最小値をいくらにするかということについては議論の余地があるが、基準に従う限り、使用ロープ径を1サイズ細くしてD/dの値を上げるべきブロックが多い。

表3. 試験したガイドブロックの寸法と重量

呼称寸法	試験記号	ガイドブロック全寸		重量	カタログ重量
		高さ	幅		
6吋	M B L-56	348	177	125	7.3
	B S 6B	275	159	90	4.6
	B S 6D	324	165	129	6.1
	S B -6H	305	165	106	5.1
	E B 415J	295	160	102	4.5
	B S 6A	300	163	103	5.7
	E 06	313	168	104	6.4
	150	280	164	107	6.8
	T B 150S	271	163	114	5.8
7吋	B S 7	341	192	120	7.1
	B S 7E	360	189	138	8.9
	R 7	347	170	120	6.8
	S B -7H	350	191	124	8.2
	E B 453J	351	184	116	6.5
	B S 7A	345	186	127	8.3
	E 07	356	212	107	9.6
	7"xD	384	207	146	7.9
8吋	M B L-58	425	248	140	11.8
	S B -8H	385	222	124	10.2
	E B 401D	381	209	127	8.8
	B S 8A	390	217	137	12.9
	E 08	394	235	122	13.1
	B S 8	381	223	138	10.8
	T B 200S	390	226	126	9.6
9吋	M B L-59	425	248	140	12.7
	B S 9	395	248	140	10.0
	R 9	400	220	120	9.8
	T B 230S	415	255	135	11.9

表4. シープの寸法と最大使用ロープ径

呼称寸法	試験記号	外径	谷径	溝深さ	溝底半径	使用ロープ最大径	
						mm	mm
6吋	M B L-56	149	123	12.8	7.5	12	
	B S 6B	150	121	14.6	6.1	12	
	B S 6D	150	126	11.9	7.75	12	
	S B -6H	140	124	8.2	7.0	14	
	E B 415J	151	127	11.8	7.0	9	
	B S 6A	151	129	11.2	10.6	12	
	E 06	150	127	11.5	9.0	14	
	150	150	131	9.9	6.0	9	
	T B 150S	150	124	12.9	10.25	14	
7吋	B S 7	163	128	17.5	8.1	14	
	B S 7E	174	139	17.4	7.5	14	
	R 7	164	128	18.0	8.1	14	
	S B -7H	166	144	11.0	9.0	16	
	E B 453J	174	151	11.3	6.5	10	
	B S 7A	173	137	17.8	13.1	14	
	E 07	180	155	12.8	10.0	16	
	7"xD	171	137	17.0	14.5	16	
8吋	M B L-58	200	176	12.0	7.75	16	
	S B -8H	196	170	12.8	7.0	16	
	E B 401D	200	158	21.2	7.5	12	
	B S 8A	202	174	14.3	9.0	16	
	E 08	200	170	14.8	11.2	18	
	B S 8	200	170	15.5	7.5	14	
	T B 200S	198	163	17.7	7.5	16	
9吋	M B L-59	220	196	12.0	8.0	16	
	B S 9	212	176	18.0	9.0	14	
	R 9	211	175	17.9	8.75	16	
	T B 230S	228	187	20.7	7.75	16	
12吋	B S 12P F	288	251	18.6	9.5	14	

溝の曲率半径は、使用ロープ径の1.1~1.2倍が好ましい。測定値をみると、ロープ径の0.88~1.87倍の範囲で、ほとんどのものは1.1倍以上であったが、4つのブロックでロープ径よりも溝底の径（直径）が小さかった。

ブロックの強さと各部の変形を、引張試験機によって調べた結果を表5に示す。

この試験ではブロックのシープにロープを掛け、引張試験機でブロックの縦軸方向に負荷をかけた。荷重は0.5t刻みで増加させ、一定荷重を3分間保持した後、各部分の塑性変形の有無やシープの回転の具合を詳細に調べた。その結果、ほとんどのブロックにおいて、塑性変形は次のような順序で生じた。

1. シャックルピン及びシャックル本体が変形する。

2. 左右ケースカバーの間隔（上側）が縮む。

3. ケースカバーのペアリングピン孔が荷重方向へ梢円形に変形する。

4. シャックルピンが抜けなくなる。シープの回転が正常でなくなる。

これらの塑性変形が、カタログ標示の常用荷重以下で生じたものは1つだけであった。また、変形開始の荷重と常用荷重との比は0.97~3.5で強度的にもかなりばらつきがある。

表5. ガイドブロックの強さ

試験記号	塑性変形の部分と状態 (単位 ton)								常用荷重
	シャックル				ケースカバー		ベン	ア曲	
	間さ 隔く がな 小る	ビ長 く がな がる	ビ ン 曲 がが る	ビ抜 き ん け がな い	左 右 か ほ じ 間 隔 る	軸 変 形 す る	始 め る	カタ ログ 標示	
M B L-56	5.0	5.0	4.0	10.0	4.0	8.0	6.0	2	
B S 6B	2.4	3.0	2.4	5.5	3.0	4.0	5.5	2	
B S 6D	5.5	7.5	7.5	8.0	4.0	8.0	12	2.5	
S B -6H	5.0	8.0	6.5	6.0	3.75	7.0	6.0	2	
E B 415J	2.25		1.03	7.75	4.0	7.7	7.5	1	
B S 6A	5.0	7.0	5.5	11.0	4.0	11.0	11	2	
E 06	4.5	7.0	3.5	10.5	4.5	6.0	10.5	1	
150	10	6.0	6.0	10.0	5.0	10	10	2	
T B 150S	6.0	6.0	8.0	10.0	7.0	12.0	13	2	
B S 7	6.0	7.0	3.2	9.0	6.0	7.0	9	3	
B S 7E	5.0	7.0	11.0	11.0	6.0	7.0	13	3	
R 7	5.0	5.0	5.0	12.0	6.0	7.0	12	3	
S B -7H	3.5	7.0	5.5	6.5	6.0	7	7	3	
E B 453J	3.0	9.5	4.0	9.0	3.5	9.0	9.0	2	
B S 7A	7.0	10.5	8.0	14	8.0	14.0	14	3	
E 07	4.5	8.5	6.5	11.75	4.5	8.0	12	1.5	
7"xD	3.0	7.0	3.0	9.0	9.0	9.0	9	3	
M B L-58	3.5	4.5	3.5	10.0	4.5	4.0	10	3	
S B -8H	4.85	13.8	9.0	8.5	8.5	10.0	11.0	5	
E B 401D	4.05	11.0	6.0	9.5	7.0	11	11	4	
B S 8A	9.0	11.0	10.0	15	15	15.0	15	4	
E 08	7.0	12.0	12.0	12	10.0	12.0	12	2	
B S 8	6.0	10.0	7.0	14.0	6.0	9.0	17	3	
T B 200S	5.0	5.0	16.0	9.0	5.0	9.0	17	3	
M B L-59	3.8	7.0	3.8	7.0	4.5	5.5	7	3.5	
B S 9	7.0	9.0	3.6	11.0	7.0	9.0	11	3	
R 9	3.4	5.0	3.4	7.0	7.0	7	7	3	
T B 230S	7.0	13.0	14	11.0	9.0	12.0	14	4	
B S 12P F	7.0	9.0	5.0	14	4.0	14.0	14	3	

5. ワイヤロープの腐食とその破断荷重の低下

供試ロープは、6×7 C/L 16mm A種で、支間長128m、張力約200kgfの条件で14年間にわたり直射日光の当たる野外に架設しておいたものである。期間中は無給油で放置した状態である。

(未使用)を比較対照試料とした。

供試ロープの外観は一様に茶色に変色し腐食が進んでいるようにみえた。しかし、表面の汚れやグリスを除去すると、直線部ではロープの上側、屈曲部ではシープに接触していなかった側にのみ錆が生じており、片寄った腐食となっていた(図16)。また、いずれの箇所にも磨耗や断線あるいは形くずれはみられなかった。腐食は素線の表面に小さなクレータ状のくぼみが生じている場合が多い。

素線の直径は、ストランドの外層素線(側線)で1.76mm、中心素線(心線)で1.85mmであるが、場所によっては0.3mm以上の減少となっている。さらに詳細に観察するために、素線を樹脂で固め研磨した後、万能投影機とプラニメータを用いて断面積を測定した。その結果、素線当たりの断面積減少率は0.0~14.0%であった(表6)。また、ロープとしての断面積減少率は0.06%であった。

腐食による強度の低下を調べるために、引張試験機(容量1tf)で素線の破断強度を測定した(図17)。

試料は直線部、屈曲部、及び未使用から350mmずつ採取した。供試ロープの1より長さは105mm程度であるため、350mmの試料には腐食した箇所が2か所以上含まれている。

側線は腐食が進んでおり、未使用に対する強度低下率は、直線部の平均で22.3%、屈曲部の平均で15.1%である。図18に側線の破断強度の度数分布を示す。一方、心線はあまり腐食しておらず、強度低下率の平均値は、直線部で14.9%、屈曲部で14.8%であった。

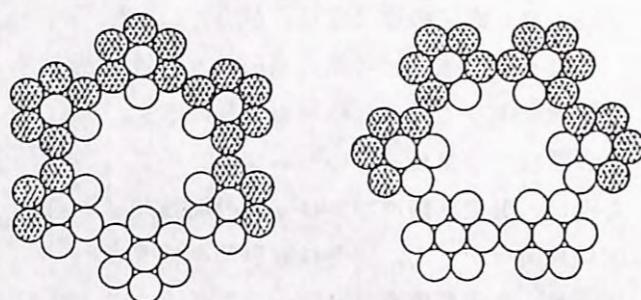


図16. ワイヤロープの腐食状態

表6. 素線の断面積減少率

番号	面積減少率(%)	備考
1-1	1.22	1-1から5-3まで
-2	1.00	同一断面その他の素線
2-1	2.01	は腐食無し
-2	3.49	
-3	0.40	
-4	1.06	
4-1	2.78	
-2	7.26	
-3	2.08	
-4	8.05	
5-1	2.79	
-2	4.24	
-3	3.62	
N.O. 1	1.01	
N.O. 2	0.76	
N.O. 3	9.09	
N.O. 4	13.96	
N.O. 5	1.28	

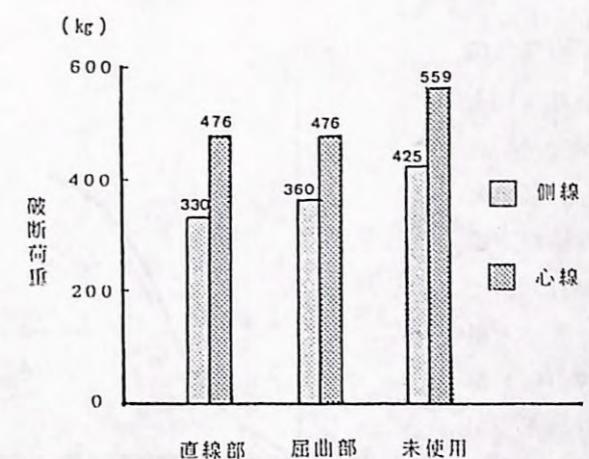


図17. 素線の破断強度

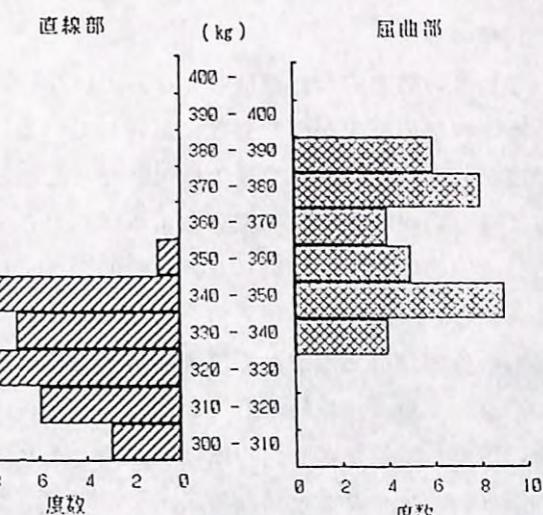
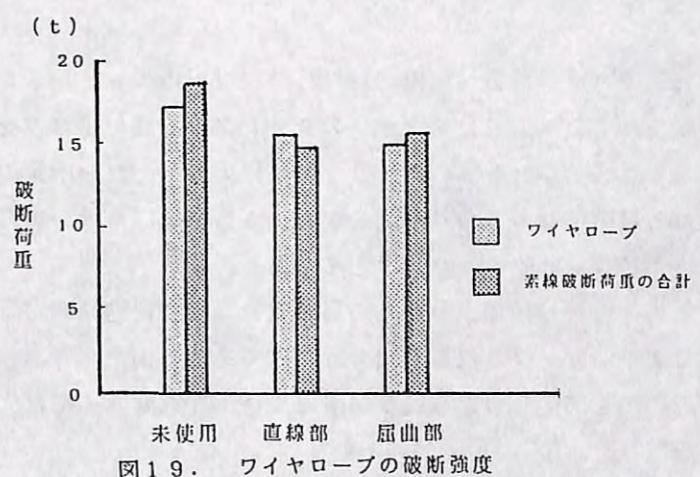


図18. 素線(側線)破断荷重の度数分布



— 19 —

ロープの破断強度を、引張試験機（容量25tf）で測定した（図19）。その結果、直線部で平均15.5tf、屈曲部で同じく15.5tfとなり、未使用に対する強度低下率はおのおの、10.3%及び12.6%である。図20は未使用ロープと供試ロープの荷重伸び曲線の例である。弾性限界内での傾きは未使用ロープのそれとほとんど同じであるが、弾性限界をはずれた当たりからの伸びが供試ロープでは少ない結果となっている。14年の経過にもかかわらずロープとしての構造的な伸びはなくなっていないこと、また、材質的なもろさではなく腐食による断面積の減少が破断強度に影響している（2）ことが分かる。

直線部と屈曲部の強度が、素線とロープで逆の結果となったことについては、サンプル数が少ないため断定はできないが、ロープの部分によるばらつきであると考えられる。

補足的な調査として、心綱の脱脂状況を調べた。一般的には、ロープに張力がかかることによって次第にグリスがにじみ出し、心綱での含有量も徐々に減少していくが、この供試ロープの場合は、張力の影響はほとんどなく単純に時間の経過による脱脂と考えてよい。

ロープ 1m当たりの心綱の重量は、未使用で 62.3g であったのに対し、供試ロープでは 49.6g であった。完全に脱脂して乾燥させた心綱は 49.0g であり、供試ロープのグリス含有量は、未使用時の 4.5% に減少したことになる。

6. 合成繊維スリングの引張強度

スリングはK社製で、使用荷重 1tf用、2tf用、3.2tf用のエンドレスタイプのもの（長さ50cm）を使用した。このエンドレスタイプのスリングは、高い重合度を持つ高強度の繊維（この製品はポリエチレン）を細いストランド状に束ね、それを所定の長さ、幅にエンドレスに巻き付ける構造になっており（図21），さらに、取り扱いの容易さを考慮して、全体をナイロン（ナイロン66）のカバーで包んである。

試験本数は、使用荷重が3種類、カバーの傷の有無、及び促進暴露が3段階（0, 108, 216時間）のクロス条件で、繰り返し1回の計18本である。また、カバーの傷の形状は10mm×10mmの四角形の傷を図22のように2か所に設け、促進暴露の際は光源の方向に向けて暴露試験機に設置した。

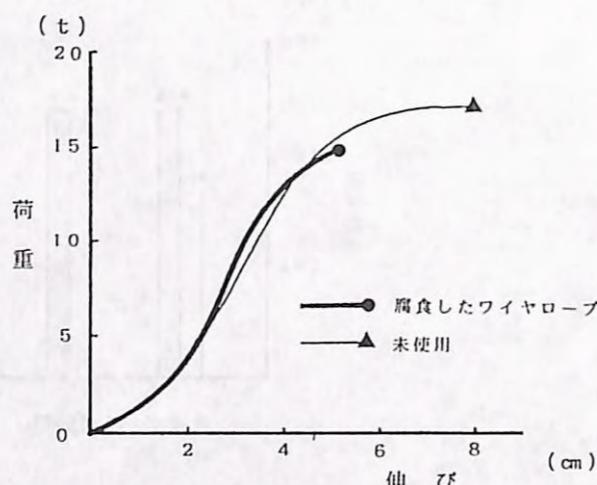


図20. 供試ロープの荷重伸び曲線

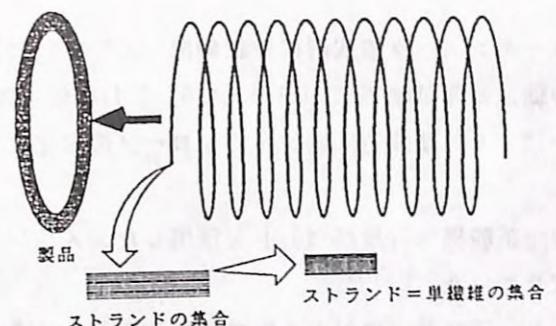


図21. エンドレスタイプスリングの内部構造

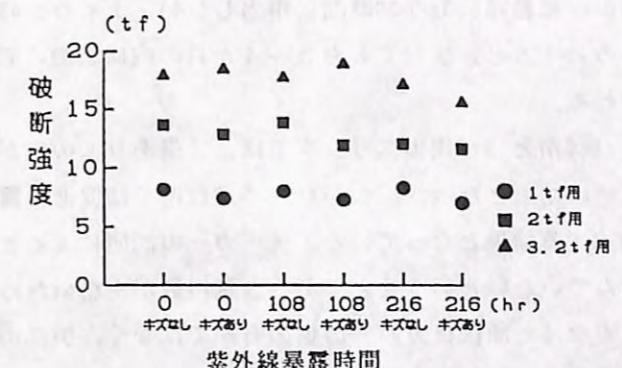


図23. 合成繊維スリングストレート引き破断強度
(ピン径40mm)

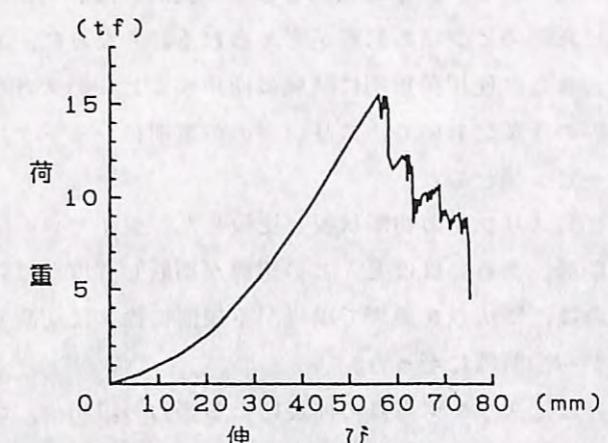


図24. 合成繊維スリングの荷重伸び曲線

2 tf 用 (1 cm 角のきずあり)

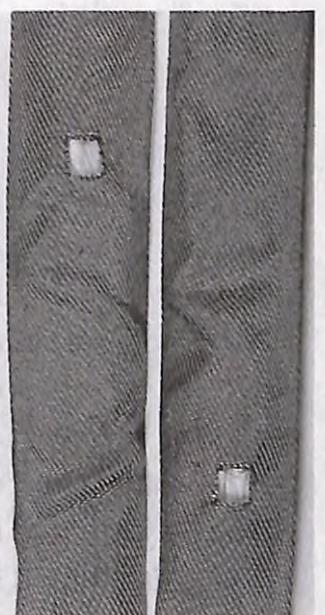


図22. スリングカバーの傷の形状



図25. 内部繊維の切断状況

表7. 使用荷重別安全率

使用荷重 (tf)	促進暴露時間					
	0時間		108時間		216時間	
	傷なし	傷あり	傷なし	傷あり	傷なし	傷あり
1	8.1	7.4	8.0	7.3	8.3	7.0
2	6.8	6.4	6.9	5.9	6.0	5.8
3.2	5.5	5.7	5.5	5.8	5.3	4.8

促進暴露については、「サンシャインカーボンアーク燈式耐候性試験機 JIS B 7753」(3)を使用し、「プラスチック建築材料の促進暴露試験方法 JIS A 1415」(4)に規定されている方法で行った。水の噴霧は120分中18分で、試験時間はナイロンロープの劣化現象についての実験(1)を参考にした。

また、引張試験は「アムスラー式横型引張試験機(容量25tf)」を使用した。スリングは直径40mmのピンに、直線引きの状態で取りつけた。

引張試験の結果は図23のとおりであった。破断強度に対する促進暴露の顕著な影響は認められなかった。促進暴露は、その影響が試験される素材により異なる(4)が、ナイロン6の場合に屋外1年間の紫外線暴露が促進暴露500~600時間に相当し(4)、ナイロン66やポリエチレンも同程度の耐候性があるとすると、少なくとも3~4か月の内に急激に破断強度が低下することはないと考えられる。

カバーの傷の有無で比較した場合、1tf用と2tf用のスリングでは、「傷あり」の方がそれぞれ平均で0.92tfと1.03tf強度が低い結果となった。しかし、3.2tf用では促進暴露が216時間の試料以外は逆に強度が増加する結果となっている。メーカーの説明によるとカバーの強度は設計上の使用荷重に含んでいないということである。試料数が少ないため確定的なことはいえないが、強度が低くなった原因はカバーの傷の有無ではなく、製品の個体差とみるのが適当であろう。

使用荷重に対する実際の破断荷重の比率(安全率)でみた場合、使用荷重が大きいものほど、安全率が低下する傾向が認められた(表7)。その原因として、製品の設計荷重の違いか、あるいは引張試験機に取り付けた際のピン径の影響が考えられる。ちなみに、ドイツの工業規格ではストランドの厚さ、または使用荷重別に試験に使用するピンの太さが決められている。今回の実験では、実際の作業において、スリングの荷重別にシャックル等のピン径を変えないことを想定し同一ピン径とした。

切断状況の特性についてワイヤロープ製スリングの切断状況と比較した。ワイヤロープ製では降伏点を過ぎると一瞬にして全断線、あるいはほとんどの素線が切断し強度がほぼ0となる。それに対し合成繊維製の場合は、降伏点を過ぎて繊維が不規則に徐々に切断するため強度が図24のように漸減しながら全断線に至った。

内部繊維が徐々に切断するということは、スリング自身の伸長による張力の緩和や、切断兆候の発見の機会を増やせることなど安全面から有益な場合もある。しかし、カバーの内部で切断が生じても、それを目視によって判別ができず、点検をおろそかにした場合に事故につながりかねない。内部繊維は切断すると収縮してダンゴ状になっているので(図25)、使用前にカバーの外から手で触って異常の有無を確認する必要がある。

7. ワイヤロープのS曲げ疲労

1) ロープの伸長量と残留強度

図26にS曲げ疲労試験機と測定器の構成を、表8にその仕様を示す。供試ロープはK社製6×190/0 A種12mmである。供試ロープの伸び測定については、試験機運転中にロープの長さを直接測ることが困難なため、非接触レーザ変位計(KEYENCE FC-2000)で張力シープの位置(移動量)を計測した。

試験に先立って、運転に伴う張力シープ台車の振れを測定した。振れは駆動シープに2回半巻き付けた駆動索が、回転とともに駆動シープ内で横方向に移動することによって生じる。測定の結果、ほぼ0.2mmの幅で振れを起こしていることが分かった(図27)。しかし、この振れは完全に駆動シープの動作と同期しているため、シープのある箇所が同じ位置に来たときに、すなわち図の波形の同位相の時にタイミングを合わせて張力シープの位置測定を行えば、誤差を少なくすることができる。今回の試験では、駆動シープ(駆動索)の往復動作に同期して、そのストロークごとに1回の位置(移動量)計測を行った。試験条件は表9のとおりである。

図28に伸びの進行状況を、表10に試験結果を示す。試験機運

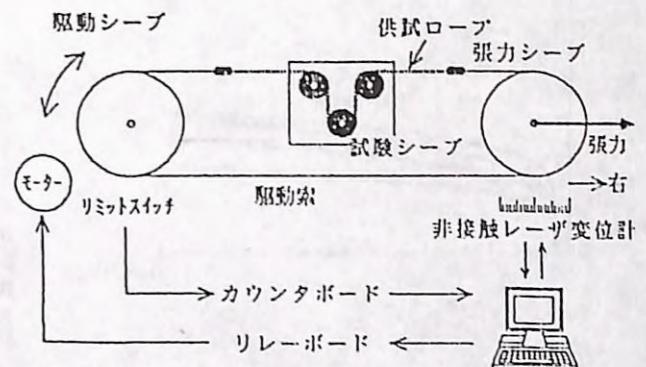


図26. 疲労試験機の構成図

表8. 疲労試験機の仕様

曲げ方	ダブルS曲げ
ストローク	1250mm
ストローク速度	1524サイクル/hr
供試ロープの長さ	3600mm
加重方法	重錘
シープ表面硬度	Hv800以上
シープ間隔	160mm
シープ溝底半径	6.6mm

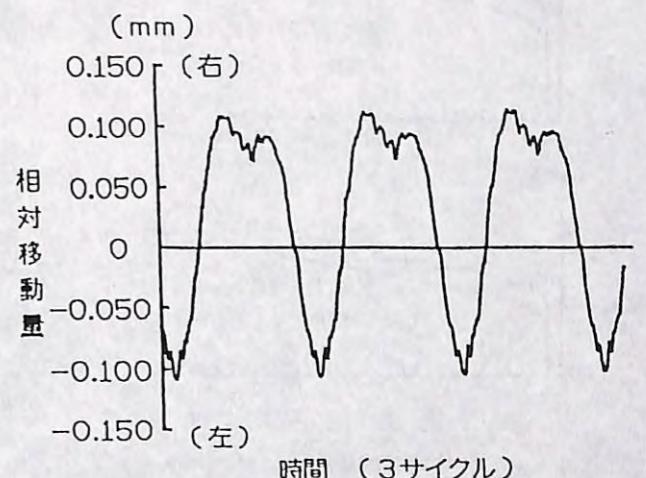


図27. 駆動索の振れによる台車の移動

表9. 試験条件

試料番号	試験シープ径 (mm ピッチ)	張力 (kg)	運転回数 (回)
No. 1~5	190	350	6000
No. 6~11	150	700	2400
No. 12~16	190	700	4500
No. 17~19	190	700	6000

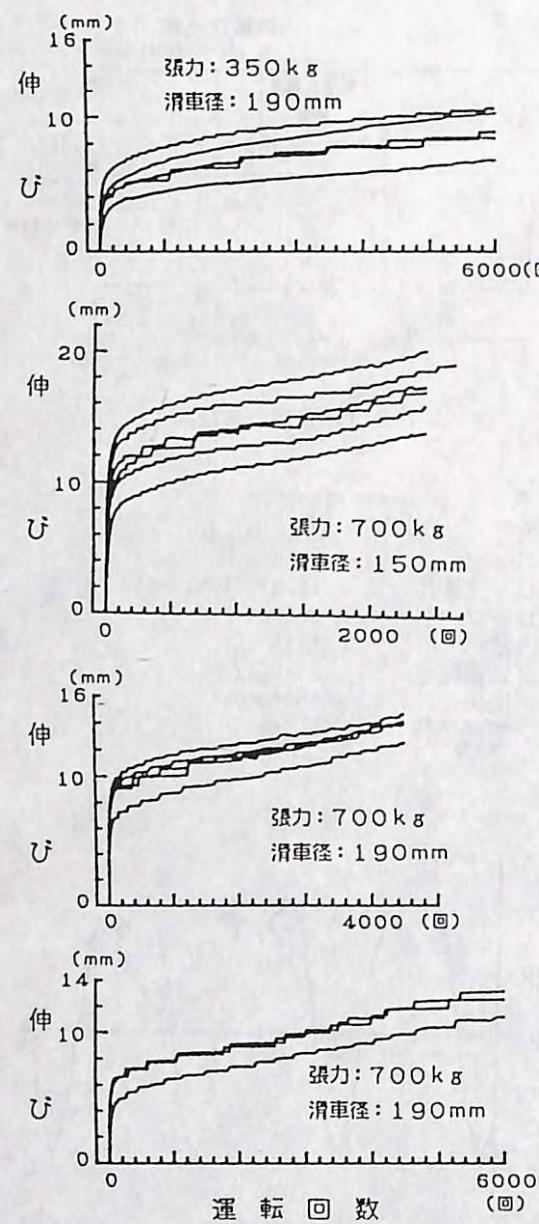


図28. S曲げ疲労試験中の試料の伸び

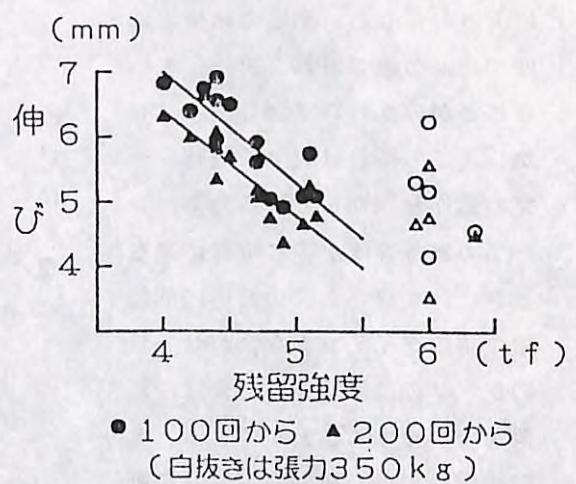


図29. 定回数からの伸びと残留強度との相関

表10. 疲労試験の結果

試料番号	伸び量 (mm)	残留強度 (t f)	強度低下率 (%)
No. 1	10.760	5.9	73.75
No. 2	8.508	6.35	79.375
No. 3	6.844	6.0	75.0
No. 4	8.986	6.0	75.0
No. 5	10.408	6.0	75.0
No. 6	19.516	4.4	55.0
No. 7	20.320	4.5	56.25
No. 8	13.968	4.7	58.75
No. 9	17.462	4.4	55.0
No. 10	17.050	4.7	58.75
No. 11	15.954	4.4	55.0
No. 12	13.814	5.15	64.375
No. 13	12.480	5.1	63.75
No. 14	14.600	5.05	63.125
No. 15	13.932	4.9	61.25
No. 16	14.028	4.8	60.0
No. 17	12.610	4.2	52.5
No. 18	13.238	4.3	53.75
No. 19	11.270	4.0	50.0

転時間全体の伸び量は供試ロープによってばらつきが大きく、そのままでは残留強度との関係は表せない。ばらつきは試験機各部での締まり等の機械誤差が原因とみられる。そこで、供試ロープ以外の伸びが最も表れやすい、運転開始からある運転回数までのデータを捨て、そこから運転終了時までの伸びの差を用いて評価することにした。まず、残留強度を目的変数とし、運転開始後の100回、200回、300回からの伸び、試験シーブ径、張力、試験機の運転回数を説明変数とした重回帰分析を行った。その結果、張力と運転回数の影響が大きく、各運転開始後一定回数（以後、定回数）からの伸びはどれも有為ではなかった。しかし、それらを単回帰で分析した場合に相関が認められた。また、データのばらつきの多い、張力が350kgfの場合のデータを除くとさらに高い相関が認められ、これらはt検定、F検定ともに1%で有意であった。50, 100, 150, 200, 250, 300, 及び400回から運転終了までの伸びのなかで、最も残留強度と相関の高い100回からと、2番目に高い200回からの伸びのデータを図29に示す。相関係数 r の2乗の値と、伸びを(y)、残留強度を(x)とした係数の値は次のとおりである。

$$100\text{回から } r^2 = 0.71150, y = -1.70297x + 13.79 \quad (1)$$

$$200\text{回から } r^2 = 0.70791, y = -1.61093x + 12.83 \quad (2)$$

以上のように、機械誤差の多く表れる運転初期のデータを捨てて評価することは、伸びから残留強度や寿命を推定する方法として有効である。しかし、試験時の張力が低い場合には、機械誤差が運転初期のみではなく全体を通じて表れ、その影響を取り除くことはできなかった。

次に伸び量と運転回数を直線で近似することを試みた。一般に疲労試験時のロープの伸びは、最初に初期伸びが大きく表れた後に漸増し、切断が近くなると再び大きく伸びることが知られている。このように伸びの進行は、全体でみれば逆Sカーブを描くが、漸増している部分が長く、その部分はほとんど直線的に増加している。しかも、今回の結果からみて、残留強度が新品の80~50%に低下するまでの伸びは、漸増している部分に当たる。このようのことから、伸びの進行から寿命を予測するためには、直線で近似すること

表11. 伸びの直線近似の結果

試料番号	a	b	r^2 乗
No. 1	0.0006974	7.0020	0.9085
No. 2	0.0006612	5.0160	0.9247
No. 3	0.0005178	3.8306	0.9446
No. 4	0.0007172	4.9156	0.9311
No. 5	0.0008554	5.7252	0.9422
平均	0.0006898	• • • (係数1)	
No. 6	0.0020900	13.6828	0.9666
No. 7	0.0024332	14.5022	0.9786
No. 8	0.0022398	8.7234	0.9730
No. 9	0.0027080	11.1720	0.9787
No. 10	0.0020680	11.8842	0.9627
No. 11	0.0021804	10.4484	0.9747
平均	0.0022866	• • • (係数2)	
No. 12	0.0010186	9.2184	0.9693
No. 13	0.0009146	9.8290	0.9721
No. 14	0.0011402	7.3960	0.9814
No. 15	0.0009016	10.4446	0.9606
No. 16	0.0010456	9.2580	0.9843
No. 17	0.0010794	6.7286	0.9810
No. 18	0.0011152	6.7846	0.9855
No. 19	0.0010316	5.2862	0.9889
平均	0.0010308	• • • (係数3)	

が適当であると判断した。

直線近似のためのデータは、運転開始から100回目を最初のデータとし、以後運転回数で100回ごとにサンプルを抽出した。表1-1に、あてはめた直線（伸び量をy、運転回数をx）の係数と r^2 乗の値を示す。

表のように、 r^2 乗の値は試験時の張力が350kgの場合にはやや低いが、全体的には直線に良く近似できている。また、aの値もロープ径と張力が同じであれば近い値となった。表1-2に、ある残留強度に達する試験機の運転回数を式(1) (2)と表1-1の係数から

逆算したものを見た。表1-0からすると、係数3を求めた試験条件では、4500回の運転で残留強度はほぼ5tf、6000回で4tfとなり、係数2の試験条件では2400回で4.5tfとなっている。表1-2の予測と比較すると式(2)で計算した場合がよく適合している。伸び量と残留強度の相関での r^2 乗値では式(1)がより高い相関を示しているが、運転回数と残留強度の予測値からすれば式(2)の方が適合性が高い結果となった。

2) ロープの素線断線と残留強度

6×19 A種、6×Fi(25) A種、及びIWRC 6×Fi(25) B種の3種類の12mmロープについて、新品時の製品検査とS曲げ疲労試験を行った。

製品検査の項目は次のとおりである。

ロープ：破断荷重、破断荷重測定時の伸び、ロープ径、ロープピッチ、型付け率

ワイヤ：引張強度、ワイヤ径、捻回数、巻解、炭素含有量、マンガン含有量

非金属介在物含有量、ワイヤ硬さ

心綱：径、ピッチ、より、ヤーン数、材料

ロープ油：ロープ含油率、ストラント含油率、心綱含油率、滴点、稠度、粘度

S曲げ疲労試験機は前項と同じ(図2-6)で、その細部の構成仕様は表1-3のとおりである。この試験では、残留強度が30%~80%程度にばらつくように数段階の往復運転回数をロープごとに適宜設定し、それぞれの運転後のロープの表面断線全数測定と残留強度測定を行った。

製品検査の結果を表1-4~1-6に示す。ロープの構成ごとの特徴について、まず6×19では、ロ

表1-2. 運転回数の予測

残留強度 (tf)	定回数からの伸び予測値		運転回数の予測値	
	(1)式より (mm)	(2)式より (mm)	(1)式より (回)	(2)式より (回)
4	6.982	6.383	6674	5992
4.5	6.131	5.578	2581†	2239†
5	5.279	4.773	5022	4430
8	0.170	-0.060	-	-

† 表4の係数2で計算、他は係数3で計算

ープの破断荷重はすべてのロープで規格値以上である。CとEのロープは、ワイヤ引張強度からみればB種相当とみてよい。より減り率に関係するロープのピッチはBが最も短く、ロープの破断荷重も5つの中で最も低くなっている。また、Bでは型付け率が高く、ロープ径や心綱径も大きい。ロープ径では、公称径の7%増(JIS上限)の12.84に近い値となっている。心綱については、Dのみがジュート麻を使用している。ジュート麻はサイザル麻に比べ細手もの向きで、柔らかい、切れやすい、油が入りやすいという特徴を持つ。その他、ワイヤ捻回数でDがやや低めの値で、Bのワイヤ硬さが高めである。含油率等でばらつきがある。

表1-4. 製品検査 6×19 O/O

製造メーカー	A	B	C	D	E
ロープ					
種別	A	A	A	A	A
破断荷重 (tf)	8.70	8.23	8.58	8.52	8.68
伸び (%)	4.1	4.5	4.3	3.8	4.1
径 (mm)	12.78	12.82	12.38	12.45	12.53
ピッチ (mm)	79.6	74.4	75.8	78.2	77.6
型付け率 (%)	89.8	94.3	92.1	91.9	89.2
ワイヤ					
引張強度 δ2 (kgf/mm ²) δ1	184.48 174.73	177.09 175.06	191.5 188.34	189.71 179.49	188.91 188.41
径 (mm) δ2	0.78	0.78	0.76	0.76	0.78
δ1	0.8	0.78	0.8	0.77	0.78
捻回数 δ2 (回)	41	44	39	37	43
δ1	43	44	37	32	42
巻解 δ2	良	良	良	良	良
δ1	良	良	良	良	良
硬さ δ2	467	467	435	452	436
δ1	461	496	493	480	464
δ0	457	506	482	487	454
成分 C (%)	0.64	0.6	0.61	0.62	0.62
Mn (%)	0.48	0.42	0.58	0.45	0.42
非金属介在物 (%)	0.03	0.04	0.02	0.05	0.03
心綱					
径 (mm)	5.86	6.13	5.28	5.88	5.4
ピッチ (mm)	20.2	18.4	18.4	18.0	20.0
燃り S 3つ打ち					
ヤーン数	5	4	4	6	5
材料	サイザル麻	サイザル麻	サイザル麻	ジュート麻	サイザル麻
ロープ油					
心綱含油率 (%)	20.41	15.56	21.34	21.94	21.33
ストラント含油率 (%)	3.01	3.18	1.7	2.44	2.77
ロープ含油率 (%)	23.42	18.74	23.04	24.38	24.1
滴点 (°C)	69	64	74	57	71
稠度	93	106	96	180	102
粘度	33.3	17.2	28.3	14.0	80.7

表1-3. 疲労試験機の仕様

曲げ方	ダブルS曲げ
ストローク	1250mm
ストローク速度	1524サイクル/hr
供試ロープの長さ	3600mm
張力	700kgf
加重方法	重錘
シープ直径*	190mm
シープ表面硬度	Hv800以上
シープ間隔	160mm
シープ溝底半径	6.6mm

* ピッチダイヤ

6×Fi(25)では、Aのロープを除きB種相当の強さを持ったワイヤを使用している（Cロープは公称B種）。そのためロープの破断荷重はAが最も低い。特にEは、ワイヤの引張強度が205kgf/mm²を超えており、一般の線材料とすれば限界に近い値である。6×19と同様Bのロープはロープピッチが短く、心綱径とロープ径が太いが、型付け率は他社と変わりない。また、Dのロープは心綱にジュート麻を使用している。IWRC 6×Fi(25)では、ワイヤ（δ1）の引張強度でAだけがA種相当である。Bでは、ロープ破断強度とワイヤ引張強度が最も高い。BとCのワイヤδ3では、一般線材料の限界に近い引張強度の値である。Bのロープは他の2つの構成のものと同様、ロープピッチが短く心綱径、ロープ径が他のものより大きい。

表15. 製品検査 6×Fi(25) O/O

製造メーカー	A	B	C	D	E
ロープ					
種別	A	A	B	A	A
破断荷重 (tf)	8.75	9.22	9.35	8.85	9.35
伸び (%)	4.1	4.1	3.1	3.1	4.1
径 (mm)	12.55	12.73	12.2	12.33	12.68
ピッチ (mm)	73.6	70.4	77.2	72.6	75.4
型付け率 (%)	90.4	90.6	89.5	89.0	91.3
ワイヤ					
引張強度 δ3 (kgf/mm ²)	187.08	187.15	199.64	195.38	205.29
径 (mm)	0.74	0.75	0.75	0.74	0.73
δ1	0.83	0.81	0.82	0.81	0.81
捻回数 (回)	47	43	44	40	43
卷解	δ3	49	46	43	42
δ1	49	46	43	42	43
成分 C (%)	0.62	0.6	0.7	0.61	0.63
Mn (%)	0.44	0.41	0.48	0.41	0.43
非金属介在物 (%)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01
硬さ	δ3	443	489	465	486
δ2	460	528	563	567	509
δ1	467	482	478	481	485
δ0	467	487	519	476	482
心綱					
径 (mm)	5.6	5.85	5.4	5.73	5.75
ピッチ (mm)	18.0	20.6	19.4	19.2	20.8
撚り	S 3つ打ち	S 3つ打ち	Z 3つ打ち	S 3つ打ち	S 3つ打ち
ヤーン数	4	4	4	6	5
材料	サイザル麻	サイザル麻	サイザル麻	ジュート麻	サイザル麻
ロープ油					
心綱含油率 (%)	18.4	13.99	20.26	20.23	19.27
ストラント含油率 (%)	2.6	2.37	1.3	1.18	2.58
ロープ含油率 (%)	21.09	16.36	21.56	21.41	21.85
滴点 (℃)	69	92	74	72	69
稠度	93	77	94	75	71
粘度	36.6	18.1	27.1	54.5	38.1

表16. 製品検査 IWRC 6×Fi(25) O/O

製造メーカー	A	B	C	D	E
ロープ					
種別	B	B	B	B	B
破断荷重 (tf)	10.33	11.10	11.02	10.08	10.45
伸び (%)	4.5	4.0	4.0	3.8	4.2
径 (mm)	12.38	12.38	12.3	12.27	12.35
ピッチ (mm)	73.4	71.2	77.2	72.0	76.0
型付け率 (%)	88.2	88.1	88.5	88.0	89.0
ワイヤ					
引張強度 δ3 (kgf/mm ²)	197.12	206.75	204.7	190.61	199.91
径 (mm)	0.74	0.75	0.74	0.74	0.74
δ1	0.83	0.81	0.82	0.81	0.81
捻回数 (回)	49	43	44	40	43
卷解	δ3	良	良	良	良
δ1	良	良	良	良	良
成分 C (%)	0.61	0.62	0.7	0.61	0.62
Mn (%)	0.41	0.41	0.43	0.42	0.43
非金属介在物 (%)	0.02	0.08	0.03	0.02	0.01
硬さ	δ3	469	488	482	465
δ2	462	556	575	565	520
δ1	451	505	478	475	505
δ0	470	461	487	469	512
心綱					
径 (mm)	4.65	4.82	4.67	4.72	4.75
ピッチ (mm)	33.2	30.8	30.4	32.2	37.4
ストラント径 (mm)側	1.6	1.58	1.59	1.55	1.58
心	1.74	1.69	1.7	1.74	1.76
ストラントピッチ (mm)側	12.8	13.0	17.7	13.6	13.7
心	12.6	12.8	16.0	13.4	14.9
ワイヤ引張強度 δ1-1 (kgf/mm ²)	180.78	184.72	192.21	185.07	170.61
δ0-1	176.09	179.02	176.91	185.96	178.72
ワイヤ径 (mm)	0.51	0.52	0.52	0.49	0.5
δ0-1	0.56	0.54	0.55	0.55	0.56
捻回数 (回)	76	85	88	83	79
卷解	δ0-1	77	83	75	81
δ1-1	良	良	良	良	良
δ0-1	良	良	良	良	良
ロープ油					
心綱含油率 (%)	3.29	3.56	1.94	1.65	2.23
ストラント含油率 (%)	2.93	3.85	2.01	1.3	2.06
ロープ含油率 (%)	6.22	7.41	3.95	2.95	4.29
滴点 (℃)	70	71	68	83	80
稠度	87	69	83	65	63
粘度	34.9	24.8	28.9	90.4	54.1

S曲げ疲労試験については、まず、試験機運転回数と残留強度率（疲労試験後の破断荷重の新品の破断荷重に対する割合）を図30～32に示す。6×19は各ロープとも同様の残留強度率の低下傾向を示している。運転回数4500～5500回で残留強度率が60%に低下するというのが平均的な値である。製品検査の結果との関係をみると、ロープ径、心綱径、ロープピッチ、型付け率に特徴のあるBと、ワイヤ引張強度が高めのCで、残留強度が低い結果となった。ただし、Bで、5000回運転後の値は異常値であると考えた方がよい。その他では、心綱の材質に特徴のあるDの強度低下がやや緩やかなようである。次に6×Fi(25)については、AとBで6000回程度から急激に強度が低下している。また、CとEでは8000回付近より急激な強度低下がみられる。しかし、Dは9000回を超えても急激な強度低下はみられなかった。残留強度が60%になる運転回数は、AとBで6000回強、CとEで約8000回、Dで9000回程度である。Cのロープのみが公称もB種であるが、製品検査によればA以外はすべてB種相当であり同等の製品であるといえる。疲労試験後の強度をみると唯一A種と認められるAのロープの強度が低いほか、ロープ径、ロープピッチ、心綱径に特徴のあるBの強度が低い。一方、心綱の材質の違うDのロープは、疲労試験後の強度も高く、強度低下も緩やかであった。最後にIWRC 6×Fi(25)については、Dを除いて各社とも同様の残留強度率の低下傾向を示した。残留強度が60%になる運転回数は、Cで4000回程度、Bで4500回程度、AとEで5000回程度となった。Dは、今回の試験では8000回の運転後も60%以上の残留強度率があった。ワイヤ引張強度の高いBとCで残留強度が低い傾向がある。Dは製品検査の結果、特に目立った特徴は見受けられないが、残留強度も高く、その低下も緩やかであった。

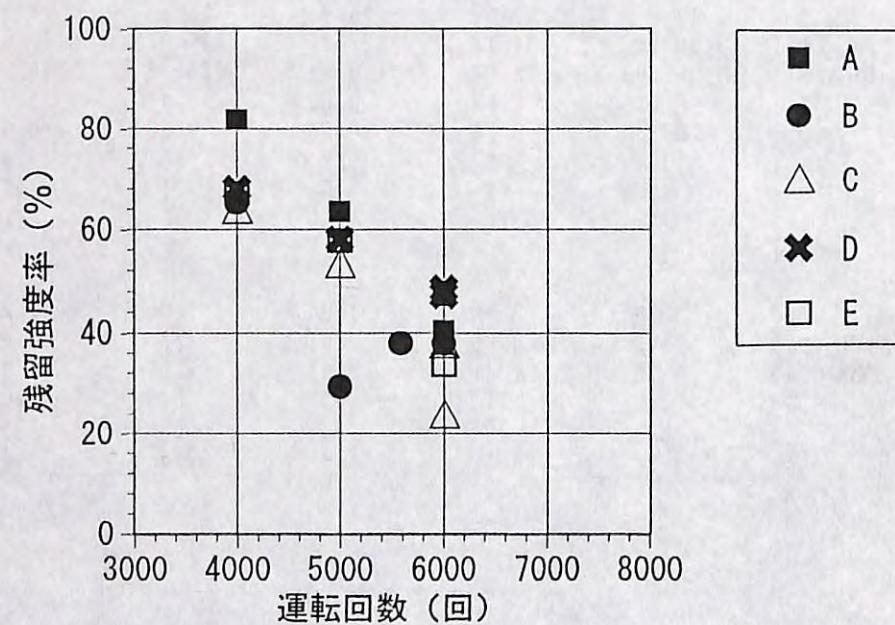


図30. 6×19の試験機運転回数と残留強度率の関係

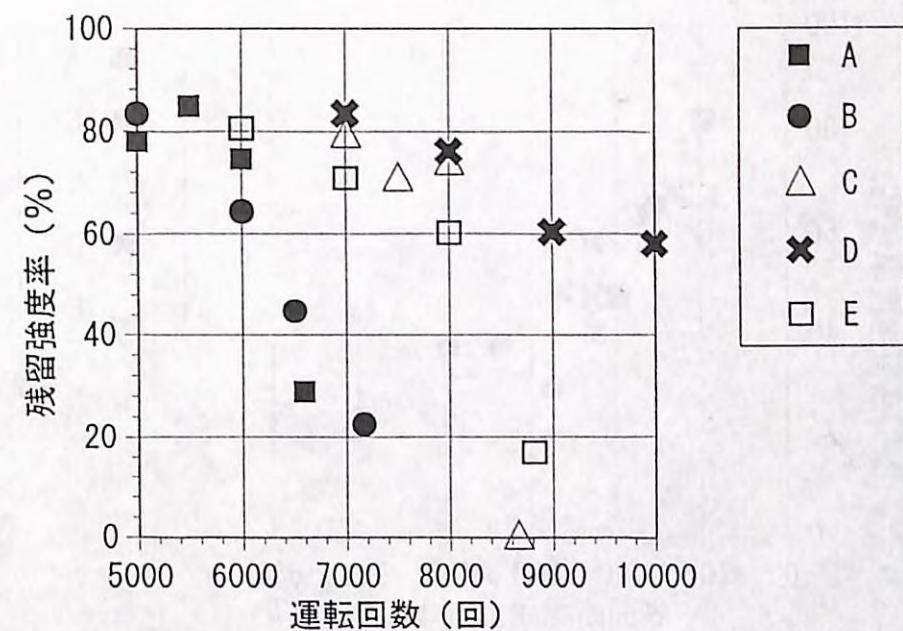


図31. 6×Fi(25)の試験機運転回数と残留強度の関係

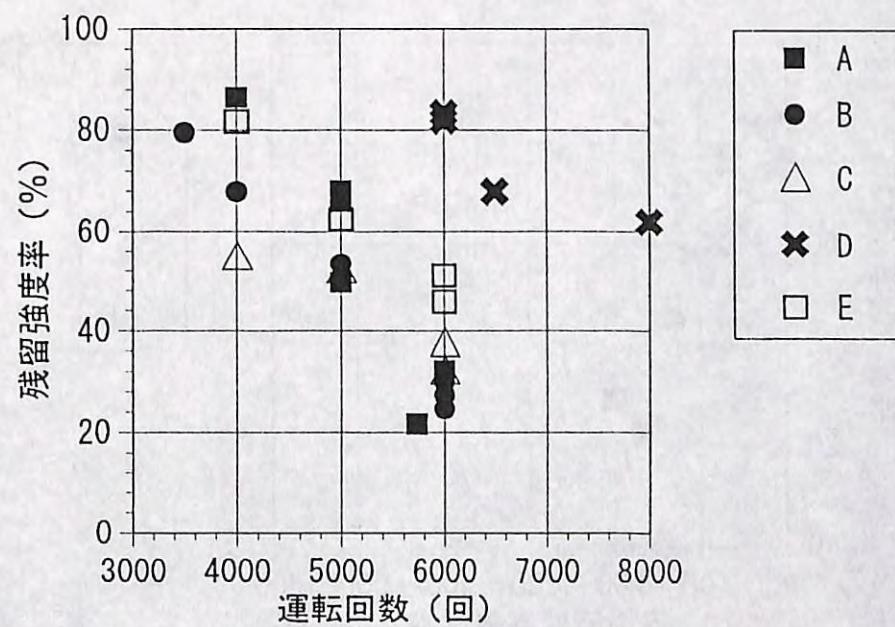


図32. IWRC 6×Fi(25)の試験機運転回数と残留強度の関係

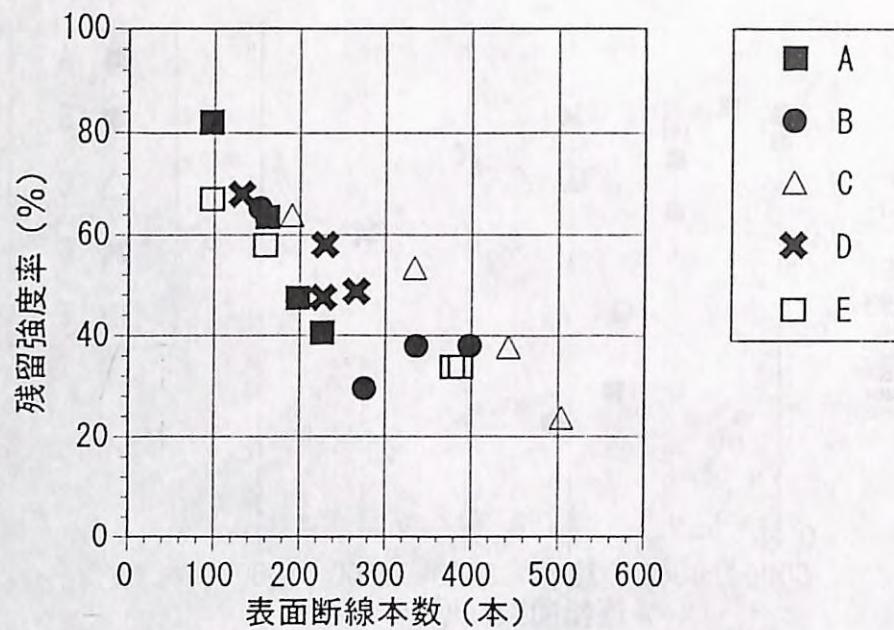


図3.3. 6×19 ロープの断線本数と残留強度率の関係

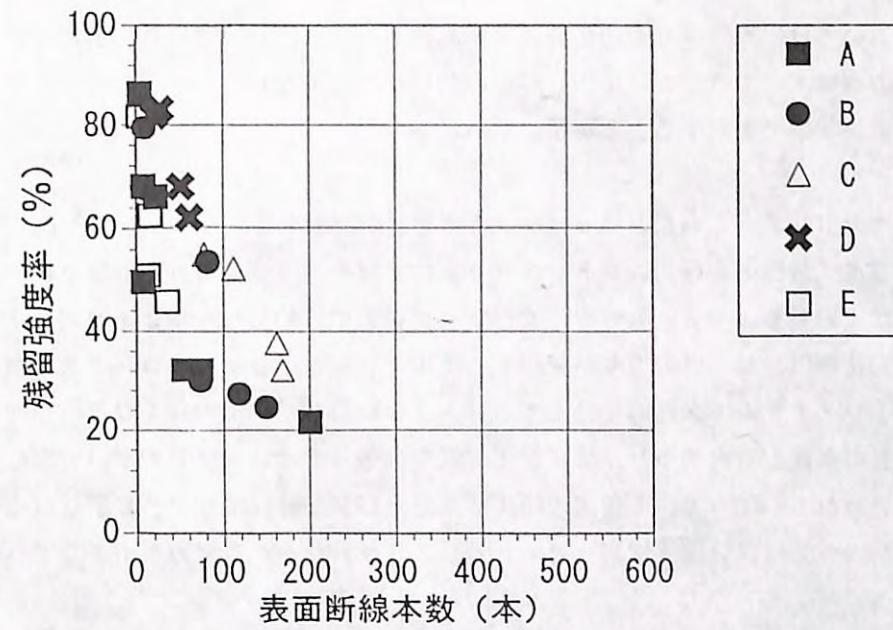


図3.5. IWRC $6 \times \text{Fi}(25)$ の断線本数と残留強度の関係

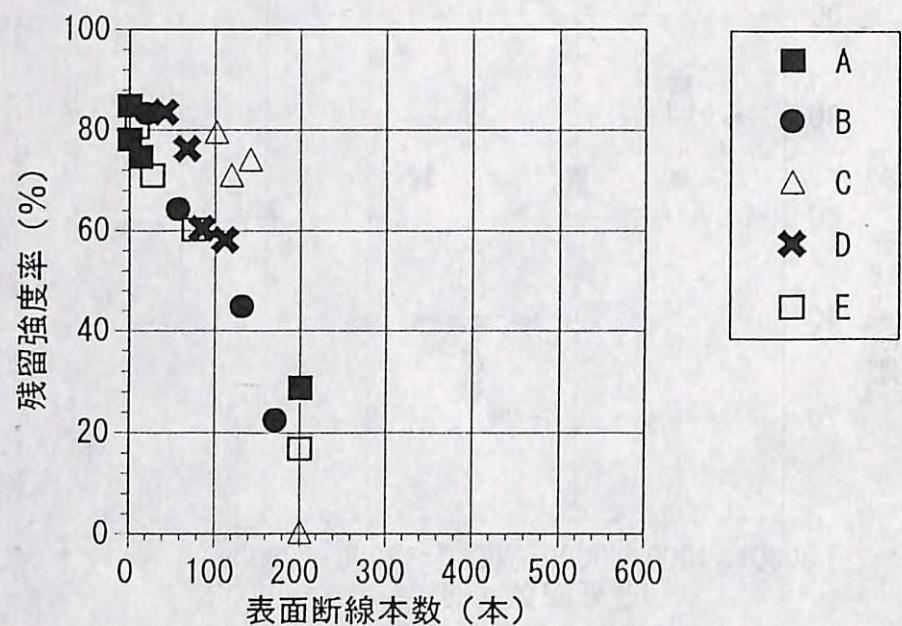


図3.4. $6 \times \text{Fi}(25)$ の断線本数と残留強度率の関係

表面断線本数と残留強度率との関係を図3.3～3.5に示す。表面断線本数は供試ロープの表面に生じた、山断線、谷断線すべてを加えたものである。断線数の計測では、谷断線の確認のため、供試ロープを試験機からはずした状態で手で曲げながら行った。 6×19 は供試ロープがシープに接触する部分全体に多数の表面断線が発生する。一方、 $6 \times \text{Fi}(25)$ とIWRC $6 \times \text{Fi}(25)$ は残留強度が低下している割には、表面に現れる断線本数が少ない。特にIWRC $6 \times \text{Fi}(25)$ は残留強度率が60～50%に低下するまでの表面断線が少なかった。

V まとめ

1. ナイロンシープとワイヤロープの寿命

ナイロンシープでは、ロープの負荷応力レベルが低い場合に外層素線の断線発生が遅く、「1割断線」に達するまでの曲げ疲労試験機運転回数の比較では、鋼製シープに比べ6～7倍にもなる。ただし、その「1割断線」に達した時には、残留強度が新品時の30～55%にも低下していることが明らかになった。外層素線の断線発生時期が遅いことはナイロン素材の効果であることに間違はないが、外観上の断線本数割合を寿命判定とする限り、ナイロンシープを使用する場合はその割合を見直す必要がある。また、ロープの負荷応力レベルが高い場合には、確実にナイロンシープ溝面の磨耗が発生する。従って、ナイロンシ

ーブにおいては、ロープ寿命の延伸効果を高めることと、シープ自身の磨耗を抑えることの両方の意味で、できるだけ応力レベルの低い状態、すなわち大きな径のシープをロープ張力が低い状態で使用することが望ましい。

2. エンドレスドラムにおけるロープの滑り

小形自走式搬器の走行用エンドレスドラムにおけるロープの滑り量測定では、巻き付け回数では1回巻きより2回巻きで、またロープ張力では約1tfを境にそれ以下よりそれ以上の張力状態で、ロープの滑りが減少する結果となった。しかし、ロープ張力が高い場合はエンドレスドラムで必然的に発生するロープの横滑りが円滑でなくなる。吊荷重量や支間長などの条件を考慮すると、簡便な1線式の索張りではロープ張力が1tfを超す場合が多いと思われる。従って、1線式の使用は、短支間長で軽荷重の場合に限られるべきであり、それ以外では、2線式索張りでエンドレスドラムにかかる張力を小さくすることが必要である。

3. 非自転性ロープの自転性

非自転性ロープの自転特性に関しては、一般的な架線集材作業索用ロープとの違いが明らかになった。すなわち、自転トルク・角度ともにその値が小さく、しかも自転トルクが必ずしもロープ張力と直線比例関係にならないことである。自転トルク・角度の値は、ロープ常用荷重の張力レベルでの比較では、作業索用ロープに比べておよそ1/3から1/7の値である。実際の使用にあたっては、柔軟性や耐久性も含めた総合的な比較が必要であろうが、低捻転性という点に限っては、特殊なストランド構成やより方の工夫で実現したものとして十分な結果であると考えられる。

4. ガイドブロックの性能

ガイドブロックの強度や寸法は、使用するロープ径やロープの負荷をもとに決めるのが合理的である。しかし、今回調査した供試品についてみると、それらの値はメーカーあるいは製品によってばらつきが大きい。また、ロープの疲労に直接影響のあるシープの各寸法においても、使用ロープ径との関係がメーカや製品間で不統一な状況であった。ブロックを選択する際の便宜を図る意味でも、これらの値に関して何らかの規格が必要であると考えられる。特に、使用ロープ径の範囲、ロープ径とシープ径、あるいはロープ径とシープ溝底径については、単にガイドブロックが破損しないことを保証するためだけでなく、ロープの疲労損傷を抑制するためにも是非必要である。

5. ワイヤロープの腐食とその破断荷重の低下

ワイヤロープの片側腐食によるロープ強度低下について、索線断面積の減少の影響が確

認できた。今回の測定では、外層索線の最大断面積減少率は14%であり、すべての外層索線がこの値で腐食を受けているとすると、ロープとしての断面積減少率は12.8%となる。一方、ロープの強度低下率は10~13%で、ロープの断面積減少率とほぼ同じ値である。この結果は、「ロープの1断面においては、一部のストランドの最外層線のみが腐食により断面積を減じ、他のストランドまたは他の部分に位置する最外層線は腐食していないようにも見えるものの、実際にはこれらの索線はよられているため、すべての最外層索線がロープの長手方向のいずれかの場所で腐食側に現れ、断面積を減じている」(6)という解釈を確認するものであり、ロープ廃棄基準での「腐食」の重要性を物語るものである。

6. 合成繊維スリングの引張強度

今回の実験では合成繊維スリングの破断特性が明らかになった。特に、引張試験での降伏点以後の挙動がワイヤロープの場合と最も異なる点である。この点については、カバー内部の損傷確認の方法の検討が必要であろう。促進暴露の影響は処理時間が短かったためか、顕著な傾向が認められなかった。カバーの傷は著しい強度の低下には直接つながらない結果となったが、今回の実験では内部の繊維を傷つけないよう、注意してカバーを切り取った特殊な例である。メーカー側が、カバーに傷が入った場合を廃棄の目安としているように、実際の使用では、カバーの損傷は内部繊維の損傷を伴い、強度が低下していると考えられるため、十分な注意と確認が必要である。

7. ワイヤロープのS曲げ疲労

ワイヤロープの寿命予測のための因子としてロープの伸長量に注目し、その伸びと残留強度との関係を求めた。その結果、ばらつきの大きい初期伸びを除いた、一定運転回数からの伸長量で評価した場合に、残留強度と有為な相関を得ることができた。また、試験機往復回数とロープ伸長量も直線近似できることが分かり、運転回数からロープ残留強度を推定することも可能となった。ロープ伸長量による残留強度の予測は直ちに現場に戻せる技術ではないが、曲げ疲労試験において、構成の異なるロープ間での特性の違いを評価する重要な要因となり得る。

ロープの製品検査では、同構成種のロープであっても製品によってデータのばらつきが大きいことが明らかになった。特に破断強度と種別については、JIS規格では下限値のみが設定されているため、A種のものでも実際はB種相当の強度を持つロープが存在し、ばらつきが大きい原因となっている。また、ロープ径についても規格の上限値以内であるものの、12.5mm相当のものも見受けられた。

S曲げ疲労試験による運転回数と残留強度の関係では、6×19は製品の違いによる差が最も少なく、耐疲労性について各ロープとも同様の性能を持っている。6×Fi(25)は残留強度の低下傾向でロープごとの差が最も大きい。特に残留強度率60%の時の運転回数でみ

た場合、その差が最大で2倍にもなる。また、ある運転回数を過ぎると急激に残留強度が小さくなるロープがみられた。IWRC 6×Fi(25)は強度の低下傾向が各製品で似かよっているが、6×19の場合よりもばらつきが大きい。全体的にみると、6×Fi(25)が他の2つの構成ロープよりも耐疲労性が高い。逆に、6×19とIWRC 6×Fi(25)の疲労特性はあまり差がないようである。一般にストランドが平行よりのロープは交差よりのものよりも耐疲労性がよいといわれている。しかし、今回の結果ではIWRC 6×Fi(25)については、6×19よりも必ずしも耐疲労性がよいとはいえない結果となった。

表面断線素線の発生では、6×19に比べて6×Fi(25)とIWRC 6×Fi(25)では断線発生が遅いということが確認された。残留強度が60%のときの断線数は、6×Fi(25)では6×19の約1/2で、IWRC 6×Fi(25)ではさらにその1/2程度である。外観上の断線数を推定因子とする現在のワイヤロープ廃棄規準では、6×19の寿命は推定が行いやすいが、6×Fi(25)とIWRC 6×Fi(25)については推定が難しく、1割断線時の残留強度が低くなる傾向にある。これまでロープの構成によって寿命判定のための断線数率を変えることはなかったが、今後はロープ構成ごとの断線発生傾向に即した判断基準を作る必要があろう。

引用文献

- (1) 井上公基・梅田三樹男：架空線集材に使用するナイロンロープの劣化現象について
(I) 主として促進暴露及び天然暴露試験, 92回日林論, 509~510, 1981
- (2) 土井 明：ワイヤロープ便覧, 305~313, 1967
- (3) 日本規格協会：サンシャインカーボンアーク燈式耐候性試験機 JIS B 7753-1977
- (4) 日本規格協会：プラスチック建築材料の促進暴露試験方法 JIS A 1415-1977
- (5) 日本ポリベンコ：技術資料, 1~70, 1985
- (6) 堀田英輔・山本和久ほか：腐食ロープの断面積の非破壊検査と残存強度について,
資源・素材'91(秋季大会), 24~27, 1991
- (7) 富永 貢・大川畑 修：ナイロン滑車とワイヤロープの寿命 (I), 97回日林論,
685~686, 1986
- (8) 富永 貢・大川畑 修：ナイロン滑車とワイヤロープの寿命 (II), 98回日林論,
671~672, 1987
- (9) 上村 巧・広部伸二・富永 貢・柴田順一：エンドレスドラムにおけるロープの滑
り, 40回日林関東支論, 259~260, 1988
- (10) 柴田順一・富永 貢・上村 巧・広部伸二：非自転ロープの自転性, 40回日林関東
支論, 257~258, 1988
- (11) 上村 巧・柴田順一：ガイドブロックの性能試験, 41回日林関東支論, 213~214,
1989
- (12) 上村 巧・朝日一司・陣川雅樹・富永 貢：ワイヤロープの腐食とその破断荷重の
低下, 43回日林関東支論, 213~214, 1992
- (13) 上村 巧・並木勝義：合成繊維スリングの引張強度について, 104回日林論, 835~
836, 1993
- (14) 上村 巧・広部伸二・毛綱昌弘・辻井辰雄：12mmワイヤロープのS曲げ疲労試験
(I), 104回日林論, 833~834, 1993
- (15) 上村 巧・広部伸二・陣川雅樹・辻井辰雄：曲げ疲労試験時のワイヤロープの伸び
について, 資源素材学会, ワイヤロープ分科研究会資料, 33~35, 1993