

林業用鋼索の疲労に関する研究 第6報

主索(特殊ロープ7種)の疲れ寿命試験

柴田 順一⁽¹⁾・大川畑 修⁽²⁾
 広部 伸二⁽³⁾・富永 貢⁽⁴⁾

Jun-ichi SHIBATA, Osamu OHKAWABATA, Sinji HIROBE and Mitsugu TOMINAGA :
 Study on the Fatigue of Wire Rope for Logging VI
 Fatigue-life tests of 7 kinds of wire rope for skyline

要旨: 架空線集材装置の主索に用いられるワイヤロープのうち、JIS規格に規定されていない“特殊ロープ”と呼ばれる、高抗張力・三角ストランド・異形線など独自の特徴を持った7種類を対象とした、小角度曲げ疲れ試験を行った。試料は24mmおよび26mm径のもの合わせて103本であり、試験方法は前報(林試研報213・324号「林業用鋼索の疲労に関する研究第2報および第5報」)の結果に基づいている。試験条件は24mmロープでは張力12000kgと8000kgで横荷重は1500kg, 26mmロープでは張力14500kgと9500kgで横荷重は1800kgであり、寿命の判定は1より長さの間に4本の断線を生じた時点とし、それまでの走行車輪の往復回数を寿命値とした。ロープ種類ごとの寿命平均値は24mmの場合8657~24456回, 26mmでは6817~22860回などその範囲が広く、種類間に試験条件に共通した有意な差が認められた。この差の中には、ロープ断面積・実際切断荷重など寿命との関係が推定できる要因による部分と、ロープの構造や材質など本質的で総合的な結果としての差が含まれる。寿命に達したロープの残留強さは新品時の75~87%, 同じく残留エネルギーは23~35%であり、これらの間には高い相関関係が認められた。疲れの進行に伴う断線の発生と増加傾向および断線の種類について観察したが、初断線は寿命のおよそ58~76%の時点で生じ、谷断線と心線断線の発生が寿命末期に現れる例がみられた。

はじめに

木材生産の対象となる森林の大部分を山岳地にもつわが国の林業にあって、架空線を使用する集材機による木材搬出技術の重要性は、林道網が整備され車輻系運搬手段が発達した現在でも、従来と変わっていない。林業における機械力の導入が本格的に始められた昭和30年ごろ以降、集材機に関していえば全幹集材・全木集材を実現し、さらに扇形集材・円形集材・曲線集材を可能とするなど、運搬荷重の重量化、運搬距離の長大化、集材面積の拡大により、作業能率向上に大きな役割を務めた架空線集材技術の発展を見ることができる。そして今日の新しい時代の要求に答えて、間伐材の搬出や非皆伐施業に適應できる集材架線の開発改良が進んでおり、架空線集材技術は本来的なその特長を生かし、新たな機能と能力を増しながら、今後とも進展を続けるであろう。

鋼索(ワイヤロープ、以下ロープという)は、架空線集材装置にとって欠くことのできない機械要素であって、ロープの劣化あるいは過荷重によるロープの切断事故は、重大な災害を引きおこす危険性を持っている。ロープの特質について正しい認識をもち、適切な使用法を考えることは、経費の節減とともに災害防止のために必要なことである。ロープを使用する立場からのロープに対する要望も、よりよいものを

求めて変化してきた。

わが国に集材機が導入された大正初期には主索には 6×37 O/O ロープが使われていた。その後 6×24 O/O から 6×19 O/O へと変遷し、現在では 6×7 C/L が広く使われるに至っている⁹⁾¹⁴⁾。この過程は構成素線数の多いものから少ないものへ、普通より構造から ラングより構造への変化である。これはまた、柔軟性に富んだ取扱い容易なものから耐摩耗性と耐疲労性の高いものへの変化であり、ロープ製造技術とその選択使用技術の進歩が集材作業技術の向上を支え続けて来た結果である。そして 6×7 構成ロープよりさらに性能を向上させたロープが、昭和 40 年前後から使用されはじめた。それはロープメーカーが各々独自に開発し製作している“特殊ロープ”または“異形線ロープ”などと呼ばれる種類のロープである。

林業用集材架線の主索に関する疲れ試験として、これまで第 2 報¹²⁾で主索についての試験方法と疲労特性を明らかにし、第 5 報¹¹⁾では JIS 規格にある 6×7 C/L ロープを対象とした疲れ寿命試験の結果を報告した。そこでこの延長として、JIS 規格に定められていない 7 種類の特殊ロープの疲れ寿命試験が行われた。供試ロープの径は実際に架線に使われる 24 mm および 26 mm であり、架線集材現場に納入されたロープから採ったものも含んでいる。試料の総数は 103 本で、疲れ試験の総数は 449 本であった。本報告はこの結果を取りまとめたものである。特殊ロープの各々の耐疲労性を明らかにし、その相互比較さらには JIS 規格品である 6×7 C/L ロープとの比較をすることによって、各々のロープの特徴を理解し、適切な使用・管理・保守の方法を考えるために役立つ資料が得られるだろう。しかし、疲れ寿命試験の条件設定の難かしさと多大の時間と労力を要することなどから、必ずしも万全の試験が実施されたわけではない。したがって当然のことながら、ある特定の試験方法による一つの結果であり、この結果を過大に解釈することには注意しなければならない。

本報告にまとめたデータのほとんどは、林野庁業務課が実施している一連のロープ疲れ試験の結果の一部である。この試験の設計と試験方法の決定にあたっては、林業試験場前機械科長上田実氏および元同機械第 1 研究室主任研究官斎藤敏彦氏が参画し、この試験は林業試験場機械化部機械第 1 研究室との連携のもとに、長野営林局上松運輸営林署ロープ試験室において実施された。試験の担当は、井上 明・大畑敏夫・林 悦男・小沢一夫・平山 実・岩原重雄ほかの諸氏である。試験の実施は昭和 42 年以降長期にわたり、継続的に行われた。試験の結果は当初計画にしたがって、期間ごとに区切って整理分析され、それぞれの段階で目的に沿って活用されたものである。本報告ではこれら数次にわたる試験の結果の全部を一括して取りまとめ、特殊ロープの疲労特性を見い出そうとした。

本報告をまとめるにあたり、長期間にわたって直接これらの試験を担当された方々と、この試験の遂行にご尽力された関係各位の、熱意と努力に敬意を表するとともに、有益なご助言とご指導あるいはご協力いただきました多数の方々に対し深甚の謝意を表する次第である。

1. 供試ワイヤロープ

試験の対象となったロープは、集材架線の主索として使用されるものの中で、日本工業規格 (JIS G 3525 ワイヤロープ) に規定される以外のもの 7 種である。これらの断面構造を Fig. 1 の a～g に示す。この図は比較対照するためカタログ等の図面をもとにして描いたもので、細部については正確でない部分もある。

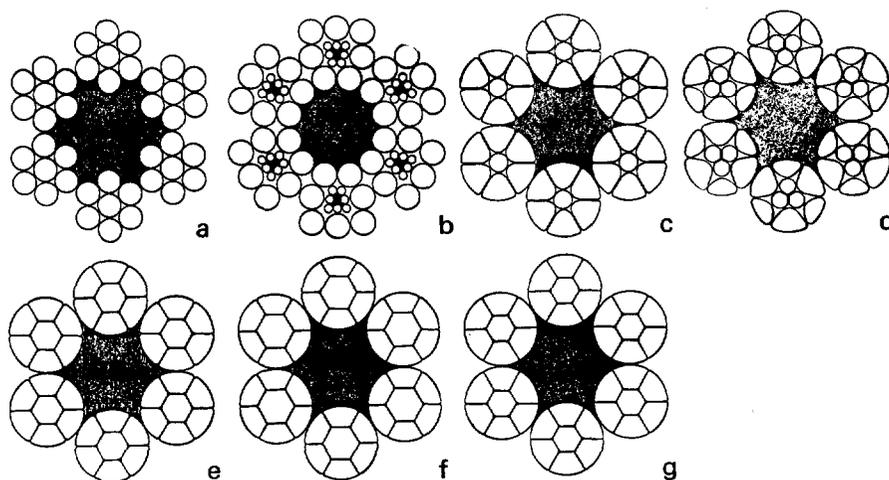


Fig. 1. 供試ワイヤロープの断面（順不同）
Cross sections of seven tested wire ropes.

aは JIS 規格 1号と規定されたものと同じ形状をもっているが、ロープを構成する素線の抗張力を、JIS 規格のA種 165 kg/mm^2 とB種 180 kg/mm^2 に対して、 $195 \sim 210 \text{ kg/mm}^2$ と高くし大きな切断荷重を持たせたものである。bはフラット型ロープあるいは三角ストランドロープと呼ばれるもので、丸素線を用いてロープの表面が平滑となるように、ストランドの断面形を三角形としたものである。このストランドの中心は繊維心の周囲に7本の細い素線を配し、その外層に7本の側線が重ねられている。

cはストランドの外層素線の断面形状をかえて“異形線”とし、ストランド表面を平滑にするとともに、外層素線相互が面接触となるようにしたもので、中心線は丸線のままである。

dは中心線を3本の異形線で形づくり、外層素線を大小2種類として、同一より長さで平行よりストランドとしている。

e, f, g はいずれもストランドの各素線の形状を異形線とすることにより、素線相互は面接触となりストランドの外形は丸形ストランドとなっている。

c～gは異形線ストランドロープあるいは面接触よりロープと呼ばれている。

a～gの特殊ロープはつぎのような特長を持っている¹⁰⁾。まず、素線抗張力を高くすることあるいはロープの断面積が増加することにより、その切断荷重が6×7構成の普通の同径ロープに比べ12～20%大きい。ストランド表面あるいはロープ表面が平滑であるから、ドラム・シーブなどと接する面積が大であり接触圧は小となり、シーブもロープも摩耗が少ない。ストランド内部において素線の接触状態が良くなり、接触圧が小さく引張りや曲げによって発生する応力も小さい。ストランド相互についても同様である。このため耐疲労性において優れている。さらに、ストランドの素線間の空隙が小さく、腐食が少ないとも言われる。このほか柔軟性・自転性が改善され、よりのもどりが少なく型崩れしにくいなどの特長が挙げられている。

供試ロープは昭和42～50年にわたって、国有林野製品生産事業現場からと製造工場から入手された。供試ロープの数は24mm径のもの7種76本、26mm径のもの同じく7種27本、合計103本であった。ロープは種類ごとに便宜上G～Mの記号を付したグループに分けて示した。これらのロープはすべて

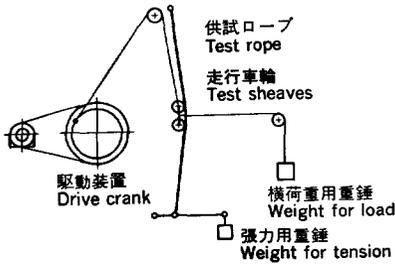


Fig. 2 小角度曲げ疲労試験機
Schematic of the wire rope
fatigue testing machine.

裸線・ラング・Zより・中心天然繊維心であり、製品に表示された素線抗張力に基づく区分すなわちロープ種別は、「A種」・「B種」および旧規格の「3種」が含まれていた。

2. 試験方法

集材架線の主索の使用条件を考慮したロープの疲れ試験の考え方と具体的な方法は第2報¹¹⁾の結果をもとにし、試験の実施方法は第5報¹¹⁾にある6×7 C/Lロープの場合と同様とした。したがって試験装置・試験条件・検査項目等も同じであり、ここでは前報と差異がある点以外について

では概略を記すだけとする。

2.1 試験装置

使用した疲労試験機はワイヤロープ小角度曲げ疲労試験機で、これは第5報¹¹⁾の試験に用いたものと同一である。長さ2.5mの供試ロープは、張力用重錘により試験中一定の張力(T)を負荷されている。溝の谷径150mmのシープ2個からなる走行車輪は、横荷重用重錘の荷重(Q)を受けながら、供試ロープに沿って約120cmの距離を毎分17往復する。

2.2 試験条件と検査項目

①疲れ寿命試験

寿命の判定基準は「ロープの1より長さの間に構成素線数の10%の断線、または同一ストランドに近接して3本の断線、が生じた時点」とし、寿命値は走行車輪の往復回数で表す。特殊ロープのうちFig. 1のa, c, e, f, gは構成素線数が42本であるが、bは84本、dは54本となっている。したがって寿命と判断するときの断線数はそれぞれ変えることも考えられた。しかし、bおよびdの中心線は側線に比べて明らかに細く、疲労断線は側線に早く現れるであろうと考えられたこと、および実際の作業現場で外見上類似したロープの寿命の基準を細かく区分することの困難さを考慮し、今回の試験ではすべて構成素線数は42本とみなし、4本の素線断線をもって10%の断線とした。素線断線の数は試験機の運転を停めて目視により観測した。

試験条件は、ロープ径・ロープ張力・横荷重の組み合わせによる、つぎのP1~P4の4条件である。

	ロープ径(D)	ロープ張力(T)	横荷重(Q)
P1	24 mm	12×10 ³ kg	1.5×10 ³ kg
P2	24 "	8 "	1.5 "
P3	26 "	14.5 "	1.8 "
P4	26 "	9.5 "	1.8 "

②ロープ切断試験

新品ロープ2本と①の疲れ試験を終わったロープの引張試験を行い、実際切断荷重と残留強さおよび切断エネルギーを求めた。

③外觀検査・製品検査・素線検査

ロープ直径、より長さ、型付率、心綱を測定し、ロープのうねり、型崩れ、ストランドの素線のとび出

し、キズ等の外観上の欠点の有無と程度を調べた。ロープを素線に解体し、素線径、表面あらさ、顕微鏡による脱炭検査を行った。特殊ロープのうち異形素線については、素線径、表面あらさなど一部実行できない項目もあった。

3. 試験結果

主な試験項目の試験結果をまとめて Table 1, 2 に示す。この表中の寿命試験の欄は、一つの試料について P1 と P2 または P3 と P4 の2条件でそれぞれ2回の寿命試験を繰り返した結果を示している。2回の寿命値が大きく異なった場合はさらに追加して3回目の試験を行ったものも含まれる。往復回数が寿命を表し、切断荷重および切断エネルギーは寿命試験を終わったロープの引張試験の結果である。新品切断試験の欄は2本の新品ロープの引張試験の平均値を示し、伸び率は試験機のチャック間隔を記録して得た値である。製品検査の項目のうち鋼索直径と1より長さ(ピッチ)は、疲れ試験に供したロープについての測定値の平均である。型付率はこのために新品ロープを解体して測定した。脱炭については1本の試料ロープから1ストランドを任意に選び、素線の横断面の検鏡を行い、素線ごとに脱炭の程度をA(脱炭少ない)~E(脱炭多い)の5段階に区分して数えた。疲れ寿命試験の数はP1が172本、P2が165本、P3が57本さらにP4が55本、総数は449本である。

7種類の特殊ロープG~Mは、それぞれ規格上の切断荷重すなわち保証切断荷重が異なっている。Fig. 3は保証切断荷重と新品ロープの引張試験で得られた実際切断荷重を、種類ごとに種別と試料の数とともに示している。この図からわかるように、実際切断荷重が保証切断荷重を下回るものはない。しかし、同種類同径の中でA種B種の区別がはっきりしないもの、あるいはA種の方がB種の切断荷重よりも明らかに大きい例が、G(26mm)・I(24・26mm)・K(24mm)にみられる。同じものの中でも実際切断荷重が大きく異なるものJ(24mm)もある。一方、Hでは24mmと26mmいずれの場合もA種B種の区別がはっきりしており、通常予想される結果に近い結果を示している。保証切断荷重は製品の引張強さの下限を示すものであるとすれば、実際切断荷重がこれより大きいことは支障はない。しかし、素線抗張力の差に基づくA種B種の種別区分がJIS規格にあり、これに準じて特殊ロープの規格が作られているものとしては、少し混乱が多いように思われる。製造段階で区別がないのか、販売段階で適宜種別が決められるものか、あるいは使用する者が購入した後に種別を間違えているのか、今回の試験からだけでは判断できない。少なくとも使用する側の間違いによることばかりではないであろう。種別の差は引っ張り強さだけでなく、硬度可撓度などに基づく耐疲労性、取扱いやすさ、ロープとともに使う器具に対する影響なども考えられる。適正な表示が望まれる。以下の取りまとめと考察においては、切断荷重は実測値を中心に考え、ABの種別にはこだわらないこととする。

寿命値全体の分布をP1~P4の試験条件別にFig. 4と5に示す。これは寿命値を級間1000回として相対頻度で表したヒストグラムである。P1~P4における平均値はそれぞれ15948, 12040, 13180および10132である。同じロープ径で比較すると、ロープ張力が小さく曲げ応力が大きいP2とP4で寿命が小さいが、いずれもまとまった分布の形とはなっていない。前報¹⁾の6×7ロープの場合とかなり異った形を示している。これはロープの種類によって寿命に差があるためと考えられる。

Table 1. 試 験 結 果
Result showing fatigue life and other

試料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test					
	[P1] T=12000 kg Q=1500 kg			[P2] T=8000 kg Q=1500 kg		
	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)
G-1	4000	33.7	0.465	4000	34.8	0.485
	4000	35.3	0.545	4000	34.1	0.445
2	6000	34.5	0.515	6900	36.0	0.565
	5000	38.1	0.720	5500	35.1	0.560
3	4000	36.1	0.535	4900	34.1	0.425
	4500	34.2	0.490	4000	34.6	0.440
4	5000	36.5	0.555	6000	32.8	0.420
	5000	35.1	0.540	4500	36.8	0.560
5	11000	31.4	0.409	8500	31.0	0.411
	9000	33.4	0.466	7500	33.3	0.447
6	10000	33.9	0.516	8000	32.2	0.406
	11000	31.1	0.366	9500	28.4	0.249
7	8000	34.4	0.533	10850	32.0	0.348
	10000	34.9	0.534	10000	33.2	0.411
8	16000	32.3	0.468	10500	30.5	0.422
	16500	34.7	0.583	9500	31.4	0.384
9	7300	34.4	0.490	5960	33.2	0.500
	9770	34.8	0.535	5740	36.2	0.610
10	9460	33.1	0.485	5480	35.9	0.640
	8420	31.9	0.440	6470	35.7	0.665
11	11330	35.3	0.521	6500	36.0	0.621
	12840	31.7	0.362	8000	36.0	0.595
12	9050	34.8	0.550	4990	36.4	0.586
	8810	37.0	0.670	5410	34.8	0.515
13	11930	37.0	0.593	7790	38.7	0.720
	15900	34.3	0.449	8320	38.0	0.621
14	13480	34.4	0.462			
	13870	37.8	0.670	10220	36.2	0.601
15	15630	35.6	0.639	13220	34.5	0.552
	5900	35.5	0.552	5240	32.8	0.387
16	6860	35.3	0.594	4430	36.7	0.619
	5770	31.7	0.377	3880	35.5	0.605
17	5340	33.7	0.466	3850	35.4	0.548
	4580	35.7	0.498	4040	34.2	0.545
18	5290	35.5	0.588	3720	34.2	0.451
	4700	38.3	0.899	4020	33.5	0.496
	5080	34.9	0.505	4470	32.0	0.389

(24 mm ロープ)

measured values (24 mm rope).

新品切断試験 New wire rope tensile test			製品検査 Wire rope inspection							
切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)	伸び率 Elongation (%)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピッチ Wire rope pitch (mm)	型付率 Preforming percentage (%)	脱炭 Decarburization				
						A	B	C	D	E
41.7	5.47	1.65	26.35	206.9	93.6	2		4	1	
45.5	5.63	1.78	25.79	204.4	93.3	1	5	5	2	1
45.5	6.00	1.97	25.80	205.9	92.3	1	5	6	2	
45.6	5.53	1.79	25.93	203.9	90.5	4	3	4	2	1
41.0	5.64	1.67	25.87	204.3	94.4			14		
40.2	5.99	1.79	25.77	202.7	94.1		6	4	4	
40.6	5.37	1.60	26.22	191.1	96.2		7	5	2	
40.1	5.94	1.70	25.75	197.0	100.2		8	3	1	2
39.9	5.16	1.51	25.31	196.8	91.4		13	1		
39.9	5.12	1.49	25.55	196.4	94.1		7	5	1	1
41.1	5.30	1.55	24.96	207.5	98.1		4	6	3	1
41.1	5.54	1.71	25.02	206.6	92.8		4	7	3	
42.6	5.01	1.57	24.44	●193.5	95.3		4	4	5	1
42.7	5.40	1.79	24.41	192.5	96.0		5	7	1	1
42.0	5.81	1.83	25.26	204.1	91.8	6	5	3		
41.7	5.83	1.81	25.35	205.3	91.4	7	3	4		
41.0	5.77	1.78	25.31	211.1	93.4	10	1	3		
41.5	5.65	1.78	25.27	208.9	93.7	5	5	2	2	

Table 1. (つづき) Continued)

試料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test					
	[P1] T=12000 kg Q=1500 kg			[P2] T=8000 kg Q=1500 kg		
	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)
H- 1	11900	33.0	0.390	10800	36.6	0.559
	16500	32.7	0.435	7650	30.7	0.290
2	14000	37.2	0.545	11800	33.7	0.405
	14000	34.6	0.430	9000	33.4	0.365
3	14000	40.6	0.623	6500	37.2	0.435
	17500	30.1	0.250	9000	41.3	0.695
4	9000	33.8	0.424	9000	26.5	0.245
	8260	29.7	0.268	6800	34.4	0.375
5	8500	32.4	0.416	8000	26.6	0.226
	9600	29.5	0.319	6300	29.8	0.263
6	12160	38.5	0.645	9130	34.0	0.365
	12750	29.8	0.257	8000	38.8	0.565
7	13120	30.6	0.261	9280	34.9	0.380
	9560	38.8	0.690	12360	33.6	0.355
8	10160	34.6	0.400	9920	35.9	0.480
	12010	34.0	0.390	9460	34.0	0.455
9	13380	35.1	0.405	12420	32.5	0.300
				8670	36.3	0.387
10	11210	37.0	0.462	9390	35.2	0.376
	13450	41.3	0.757	9510	39.4	0.645
11	13430	36.2	0.542	11210	33.3	0.445
	16990	35.0	0.516	13120	37.4	0.566
12	16440	35.0	0.461			
	13000	36.2	0.393	10460	36.1	0.463
13	12160	38.4	0.635	12010	35.0	0.441
	16940	37.3	0.508	12600	31.9	0.384
I - 1	18180	35.5	0.497	12540	32.5	0.364
	15060	36.1	0.459	10870	30.9	0.283
2	13990	36.4	0.445	11250	33.9	0.416
	24000	30.0	0.315	10830	35.0	0.490
3	15000	37.7	0.570	9500	39.2	0.485
	23850	25.9	0.210	22000	35.1	0.350
4	10500	41.9	0.600	14000	39.1	0.475
	14000	42.2	0.710	14500	34.1	0.285
4	28500	36.6	0.370	17500	31.5	0.250
	11000	36.7	0.457	11500	23.7	0.136
	12000	34.8	0.348	12000	24.5	0.132

新品切断試験 New wire rope tensile test			製品検査 Wire rope inspection							
切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)	伸び率 Elongation (%)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピッチ Wire rope pitch (mm)	型付率 Preforming percentage (%)	脱炭 Decarburization				
						A	B	C	D	E
45.4	5.75	1.82	26.11	194.5	89.4	5	2			
44.3	4.93	1.49	26.03	192.5	91.9	1	4	2		
48.2	5.82	1.97	25.90	193.1	94.0	4	2	1		
47.3	5.57	1.83	25.89	187.7	91.4	2	3	2		
44.2	5.73	1.78	26.24	193.8	89.6	2	4	1		
45.3	5.00	1.62	25.11	192.1	97.9		3	1	1	2
45.2	4.84	1.56	25.24	192.1	96.4		2	3	2	
45.2	5.15	1.71	25.01	194.9	89.5	2	2	3		
45.2	5.24	1.73	24.99	193.6	89.3	2	2	3		
43.6	6.34	2.16	25.03	191.7	89.3	6	1			
43.8	5.11	1.64	24.95	193.8	90.8	7				
43.6	5.63	1.87	25.03	191.6	92.0	4	2	1		
44.0	5.45	1.81	24.92	192.5	91.8	4	2	1		
45.8	4.05	1.27	24.72	199.8	93.4	7				
46.3	4.31	1.35	24.83	195.9	84.4	6	1			
46.1	4.30	1.37	24.81	197.4	91.2	7				
47.9	4.19	1.31	25.09	189.8	90.4	5	2			

Table 1. (つづき) (Continued)

試料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test					
	[P1] T=12000 kg Q=1500 kg			[P2] T=8000 kg Q=1500 kg		
	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)
I - 5	19000	41.9	0.701	17000	36.3	0.412
	26500	36.1	0.341	14500	35.7	0.339
6	24000	38.1	0.443	12000	38.9	0.431
	24000	34.0	0.287	13500	35.0	0.335
7	19480	37.1	0.485	15130	34.3	0.357
	16100	40.8	0.606	12310	40.3	0.660
8	15110	40.4	0.581	11850	32.3	0.343
	24000	41.9	0.750	14210	42.2	0.880
9	22460	41.6	0.580	15940	40.7	0.695
	18500	37.8	0.445	12040	40.6	0.603
10	19470	36.0	0.344	9500	38.3	0.477
	15550	35.0	0.320	12000	35.2	0.332
11	15900	37.9	0.429	11490	36.4	0.378
	15680	34.5	0.409	10030	33.8	0.339
12	16540	38.8	0.517	12550	26.0	0.183
				13480	31.6	0.303
13	24760	30.3	0.290	12380	30.4	0.285
	19570	34.4	0.347	12000	26.6	0.207
14	15300	35.0	0.387			
	11890	34.7	0.426	9520	35.2	0.467
J - 1	12390	31.3	0.296	12720	32.2	0.360
				11840	25.3	0.195
2	14190	32.3	0.276	10810	35.9	0.460
	22620	34.2	0.318	12290	35.5	0.395
3	13780	31.0	0.227			
	17000	36.9	0.516	21500	33.3	0.390
4	19500	35.0	0.550	17000	34.8	0.390
	19360	38.0	0.442	13690	34.4	0.360
5	18600	34.4	0.370	13570	31.2	0.225
	15310	37.1	0.420	12420	30.7	0.275
6	14910	37.0	0.500	11330	28.7	0.210
	22640	39.7	0.529	19500	31.0	0.298
7	17770	40.0	0.617	16150	31.0	0.257
	24530	38.5	0.504	17950	35.0	0.352
8	23250	38.5	0.467	16720	32.6	0.274
	21070	40.0	0.643	18720	30.7	0.256
9	11880	37.9	0.590	12640	20.2	0.114
	11230	38.4	0.557	13000	27.5	0.252

新品切断試験 New wire rope tensile test			製品検査 Wire rope inspection							
切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)	伸び率 Elongation (%)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピッチ Wire rope pitch (mm)	型付率 Preforming percentage (%)	脱炭 Decarburization				
						A	B	C	D	E
46.2	4.13	1.31	24.94	189.9	87.1	2	5			
46.9	3.90	1.15	24.95	195.5	90.3	4	3			
48.0	4.08	1.33	25.48	186.3	87.6	7				
47.0	4.28	1.36	25.50	180.7	89.3	6	1			
46.3	4.59	1.51	24.86	186.8	93.3	2	1	3	1	
46.3	4.56	1.51	24.86	187.1	93.6	3	2	2		
47.4	4.38	1.33	24.61	183.0	94.0	7				
47.7	4.24	1.31	24.81	184.5	95.6	7				
47.7	4.78	1.54	24.65	183.0	96.2	7				
47.7	4.10	1.24	24.80	186.6	96.5	7				
44.5	5.22	1.56	26.17	189.8	92.2		3	3	1	
48.4	5.12	1.75	25.62	192.0	95.0	6	1			
48.4	5.14	1.75	25.71	192.5	93.1	6	1			
45.4	5.23	1.73	24.77	189.2	94.5	7				
45.2	5.37	1.74	24.81	189.1	91.9	7				
44.3	5.17	1.69	24.59	192.4	94.0	7				

Table 1. (つづき) (Continued)

試料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test					
	[P1] T=12000 kg Q=1500 kg			[P2] T=8000 kg Q=1500 kg		
	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)
J- 7	13090	36.4	0.449	14080	34.1	0.395
	16650	36.7	0.428	11570	30.7	0.254
	13050	38.4	0.554	14350	21.0	0.150
K- 1	35500	34.7	0.395	31750	33.9	0.315
	29500	31.0	0.275	25500	37.4	0.515
2	17000	38.5	0.655	18150	38.8	0.575
	18500	36.4	0.485	24000	25.3	0.225
3	17520	37.8	0.475	14330	37.9	0.570
	24020	38.2	0.520	14870	34.3	0.349
4	18390	37.0	0.475			
	19130	35.9	0.440	13450	36.4	0.525
5	18930	36.1	0.461	15070	33.4	0.430
	17750	39.9	0.711	10300	37.3	0.562
6	17680	39.5	0.715	11370	38.1	0.593
	10790	38.2	0.600	9950	40.0	0.808
7	14070	38.7	0.559	11170	35.0	0.441
	15970	39.8	0.649			
8	28150	42.2	0.677	19570	37.9	0.443
	26500	39.8	0.501	14520	40.5	0.563
L- 1				16490	40.5	0.535
	22420	43.4	0.730	19680	39.3	0.461
	27190	41.5	0.548	22130	37.5	0.456
2	27990	38.3	0.492	15920	36.3	0.424
	16000	29.2	0.254	9000	37.2	0.465
3	15000	28.3	0.270	10500	36.9	0.424
	16500	31.1	0.277	11500	34.3	0.370
4	16300	31.0	0.300	13000	31.0	0.305
	19400	26.9	0.230	12000	37.0	0.421
5	18000	26.8	0.220	14500	35.5	0.490
	12290	31.7	0.360	7320	33.6	0.445
6	11140	36.5	0.578	9630	37.3	0.630
	9990	33.6	0.380	8020	37.8	0.610
6	10440	35.3	0.520	11500	35.1	0.418
				7610	31.3	0.485
	13450	37.2	0.542	11520	29.4	0.305
	12660	30.7	0.388	13330	30.5	0.407

新品切断試験 New wire rope tensile test			製品検査 Wire rope inspection							
切断荷重 Breaking force ($\times 10^8$ kg)	伸び率 Elongation (%)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^8$ kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピッチ Wire rope pitch (mm)	型付率 Preforming percentage (%)	脱炭 Decarburization				
						A	B	C	D	E
44.3	5.57	1.83	24.57	192.2	94.6	7				
49.7	4.98	1.65	25.65	200.0	93.7		6			
46.6	5.38	1.76	25.18	196.7	89.9		3	2	2	
46.0	5.24	1.68	25.76	193.6	91.0	6	1			
46.1	5.36	1.71	25.61	193.8	92.9	2	3	1	1	
45.6	5.32	1.76	24.83	191.2	91.1		3	3	1	
45.5	4.19	1.34	24.76	192.0	92.5		1	6		
47.4	4.65	1.56	25.25	192.9	88.4	4	2	1		
47.4	4.64	1.54	25.13	192.7	90.2	4	2	1		
45.1	4.35	1.30	24.98	192.7	91.3	3	2	2		
45.6	4.70	1.47	25.33	198.5	87.2		6	1		
45.7	5.05	1.61	25.21	198.7	88.6		3	4		
43.3	4.52	1.35	24.84	192.2	94.0	1	5	1		
42.9	4.34	1.23	24.94	191.4	95.3	1			2	4
44.6	5.20	1.70	24.63	192.1	93.1	2	5			

Table 1. (つづき) (Continued)

試料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test					
	[P1] T=12000 kg Q=1500 kg			[P2] T=8000 kg Q=1500 kg		
	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)
L- 7	16140	30.3	0.388	11190	31.0	0.348
	12720	34.3	0.544	12870	29.3	0.325
	12880	30.3	0.313			
8	12200	36.4	0.592	10500	30.4	0.284
	14690	35.5	0.474	12230	36.4	0.577
9	13170	36.5	0.610	12560	29.3	0.305
	11990	33.4	0.402	12050	26.4	0.188
M- 1	36000	32.0	0.310	23500	37.6	0.595
	17500	38.2	0.628	20400	33.1	0.369
	26600	35.6	0.439			
	18500	40.4	1.000			
2	23000	38.6	0.789			
	28050	40.7	0.645	16850	38.2	0.590
	29000	41.7	0.820	20900	40.5	0.730
3				14980	39.7	0.615
	25950	41.4	0.665	16500	38.6	0.635
	33120	40.0	0.605	17600	37.8	0.515
4	23890	42.1	0.735			
	21610	39.8	0.568	15920	38.0	0.495
	28180	37.7	0.459	20170	36.5	0.446
5	22770	39.5	0.700	18070	41.7	0.616
	29340	38.5	0.518	23980	38.5	0.498
	20530	40.1	0.690	19250	41.0	0.732
6	24460	40.2	0.698	25730	39.5	0.633
	22770	38.8	0.529	12910	39.5	0.568
	17940	40.2	0.581	12660	41.5	0.642
7	26930	34.9	0.387			
	19660	39.0	0.523			
	21480	40.4	0.686	14640	40.3	0.560
	20760	33.6	0.311	15530	39.3	0.509

新品切断試験 New wire rope tensile test			製品検査 Wire rope inspection							
切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)	伸び率 Elongation (%)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピッチ Wire rope pitch (mm)	型付率 Preforming percentage (%)	脱炭 Decarburization				
						A	B	C	D	E
44.4	5.10	1.63	24.69	193.5	94.1	3	3	1		
45.0	5.08	1.59	24.67	190.0	95.9	6		1		
44.5	4.62	1.37	24.64	189.6	96.9	6	1			
43.0	5.75	1.77	25.21	185.3	93.0	5	4			
45.8	5.64	1.76	26.10	187.2	97.8	5	4			
45.8	5.45	1.75	26.17	187.5	96.9	5	3	1		
44.9	4.89	1.56	24.57	193.6	88.8	9				
44.8	4.50	1.46	24.63	193.6	89.0	8	1			
45.0	4.88	1.58	24.53	190.8	92.8	9				
44.9	4.96	1.53	24.52	191.6	92.3	9				

Table 2. 試 験 結 果
Result showing fatigue life and other

試料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test					
	[P3] T=14500 kg Q=1800 kg			[P4] T=9500 kg Q=1800 kg		
	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)
G- 1	7440	38.8	0.496	5870	37.1	0.387
	6340	37.6	0.391	5790	36.8	0.335
2	5900	48.1	0.980	5630	41.9	0.545
	6510	42.8	0.615	5450	43.6	0.610
3	8820	38.5	0.400	3040	44.0	0.870
	5940	38.2	0.420	4370	40.9	0.555
4	6280	43.1	0.895	3880	41.6	0.570
	7990	41.4	0.680	6960	43.0	0.650
	4920	44.5	0.660	5530	44.0	0.560
	8580	40.2	0.495			
H- 1	8160	34.6	0.290	5160	33.0	0.372
	7720	31.8	0.281	5700	40.2	0.538
	6680	37.3	0.395			
	7670	43.5	0.770	6540	35.0	0.280
2	9760	37.8	0.450	5850	35.7	0.430
	9980	40.0	0.440	5830	32.0	0.230
3	6950	43.4	0.535	5100	45.3	0.660
	9410	36.8	0.325	7170	40.0	0.380
4	8240	47.0	0.695	6390	34.8	0.285
	12800	47.0	0.625	7690	40.5	0.339
I- 1	12320	47.5	0.709	15690	32.0	0.231
	10310	46.7	0.595	9000	35.6	0.281
2	12690	50.0	0.448	10000	35.6	0.217
	13240	49.5	0.708	11068	43.0	0.523
3	13760	42.8	0.401	9000	40.5	0.394
	13040	41.8	0.420	10720	36.5	0.440
4	14020	41.1	0.465	11250	36.7	0.430
	9590	43.0	0.515	8860	35.4	0.380
5	10910	38.7	0.395	9440	41.7	0.505
	16920	46.9	0.650	11830	38.1	0.330
6	15730	42.8	0.615	11880	31.0	0.235
	21540	43.2	0.775	12400	38.2	0.565
J- 1	24210	42.4	0.750	12740	38.6	0.620
	19170	46.4	0.805	17460	33.6	0.315
2	14900	46.1	0.835	13400	41.8	0.515
	20810	44.7	0.680	14140	36.5	0.280
3	14960	45.1	0.650	14950	38.4	0.360

(26 mm ロープ)

measured values (26 mm rope).

新品切断試験 New wire rope tensile test			製品検査 Wire rope inspection							
切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)	伸び率 Elongation (%)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピッチ Wire rope pitch (mm)	型付率 Preforming percentage (%)	脱炭 Decarburization				
						A	B	C	D	E
50.3	4.88	1.74	28.44	220.5	94.0	2	2	7	3	
52.8	4.34	1.64	26.93	210.2	90.6	1	6	7		
46.6	4.74	1.57	26.35	213.7	90.2	2	5	4	3	
50.9	5.02	1.90	27.44	213.8	92.5	9	2	2	1	
49.0	5.32	1.47	27.69	207.5	89.7	5	1	1		
56.3	5.75	2.14	27.64	207.2	98.7	4	3			
58.6	5.27	2.12	27.39	203.9	93.8	2	3	2		
56.2	5.47	2.23	27.36	201.8	95.5	5	2			
56.3	4.63	1.40	26.94	206.5	94.8	7				
57.5	4.76	1.56	27.13	206.5	93.7	6	1			
55.8	5.17	1.61	26.97	206.3	93.7	7				
56.7	4.21	1.47	27.07	196.9	93.9	4	2	1		
56.0	4.78	1.78	27.09	200.9	91.3	7				
55.4	4.39	1.73	27.11	202.1	94.0	6	1			
51.0	5.31	1.85	28.89	206.4	96.9	3	4			
53.5	5.20	1.99	28.28	213.2	94.6	7				
53.9	5.51	2.11	28.34	212.1	94.0	6	1			

Table 2. (つづき) (Continued)

試料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test					
	[P3] T=14500 kg Q=1800 kg			[P4] T=9500 kg Q=1800 kg		
	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)	往復回数 Cycles to life (回)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg· m/m)
K- 1	17890	42.0	0.575	13050	34.7	0.350
	19050	39.7	0.505	11820	41.6	0.545
2	16350	47.4	0.640	10170	42.9	0.450
	16390	45.8	0.570	10050	46.7	0.670
3	12980	48.5	0.790	10460	47.7	0.635
	14480	47.3	0.655	12390	37.9	0.680
L- 1	14660	36.1	0.347	10940	38.0	0.418
	14000	36.2	0.362	11120	39.0	0.459
2	9860	42.4	0.600	7440	38.1	0.480
	13190	34.2	0.280	10030	26.8	0.190
3	12500	39.2	0.410	11260	39.5	0.530
	12950	41.1	0.645	9490	38.5	0.475
4	13580	39.8	0.540	10790	30.6	0.250
	11560	40.0	0.440	10340	32.0	0.280
M- 1	22150	47.2	0.720	15690	44.8	0.565
	24080	46.6	0.755	16090	46.7	0.755
2	21220	50.5	0.860	20900	46.4	0.705
	24700	40.5	0.365	16190	46.2	0.620
3	20900	50.5	0.820	17360	46.4	0.655
	24090	49.8	0.815	15880	46.5	0.550

4. 考 察

4.1 寿命値の分布と平均値の差

G~Mを含む全体の寿命値の頻度分布図と平均値および標準偏差は Fig. 4,5 に示したが、24, 26 mm 径ロープの各2条件いずれの場合も、標準偏差と平均値の比すなわち変動係数 s/N が 37~41% と大きく、分布の形としてもまとまりがよくない。6×7 ロープの場合には変動係数が 16~19% であった。特殊ロープの種類ごとに分割して平均値などの数値を求めると Table 3 が得られる。この変動係数は 24 mm ロープの中でG, Kの値が大きいほかは、20% 前後またはそれ以下となっており、そのばらつきは小さくなっている。寿命の平均値はロープの種類による差が大きい。寿命値の分散と平均値の差の統計的検定を行った結果はつぎのとおり。

分散の違いの検定は、2組のサンプルから求めた分散の比をF分布の限界値と比較する方法により、ロープの種類相互について行った。24 mm ロープではKの分散が他より大、Lは小、26 mm ロープの条件 P3 ではJの分散が小、とそれぞれ有意と判定された。これ以外には大きな差はない。

新品切断試験 New wire rope tensile test			製品検査 Wire rope inspection							
切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)	伸び率 Elongation (%)	切断エネルギー Breaking energy ($\times 10^3$ kg·m/m)	鋼索直径 Wire diameter (mm)	ピッチ Wire rope pitch (mm)	型付率 Preforming percentage (%)	脱炭 Decarburization				
						A	B	C	D	E
50.0	4.69	1.63	27.15	213.3	88.3	4	1	2		
57.5	5.40	2.25	27.48	212.7	86.6		1	2		4
57.5	5.58	2.35	27.41	218.0	87.2			1	2	4
51.0	5.45	1.56	27.26	209.8	96.7		5	2		
52.0	5.05	1.78	27.27	207.7	85.2	2	3	2		
49.7	4.98	1.69	27.72	204.0	99.4	2	3	2		
51.3	5.02	1.77	27.41	210.4	91.5	2	4	1		
54.0	4.98	1.82	28.16	211.7	97.1	6	2	1		
56.2	6.24	2.58	28.14	207.2	89.6	9				
56.5	5.78	2.36	28.28	205.2	92.0	9				

平均値の差の検定は、分散の差も考慮した Welch の方法⁷⁾ による *t* 検定を行った。この有意差の検定の結果を Fig. 6 に図示する。この各図は中央上から時計回りに平均値を大から小へと並べ、有意差が認められるものを線で結んで示している。実線は 1%，点線は 5% の危険率を示す。M はどの条件においても平均値が大きく、ほとんどの他種ロープとの間に有意差がある。K はこれについて大きい。一方、G、H はすべての条件で他のロープに比べて寿命が小さく、L、I、J は中間にある。ロープ径と張力が異なる四つの条件における寿命の相関については 4.2 で述べるが、ロープ種類ごとの平均値と分散をもとに、寿命確率密度曲線を計算した例を Fig. 7 に示す。

上述の平均値分散の検定および分布曲線については、いずれも寿命値が正規分布するものと想定しているが、試験結果から得られるロープ種類ごとの頻度分布図はなめらかな分布を示すとは限らない。最頻値が左または右に偏っているもの、正規分布に近いもの、あるいは異質なものが混じていると思われる凹凸があるものなど様々である。Fig. 8 にその例を示す。試料数が多い 24 mm ロープについて、仮りに寿命値がワイブル分布すると見なして、各パラメータの概数を求めた結果を Table 4 に示す。表中の形状を表すパラメータ *m* の多くは 2 前後であり、正規分布に比べ最頻値が少し小さい方に偏っていること、

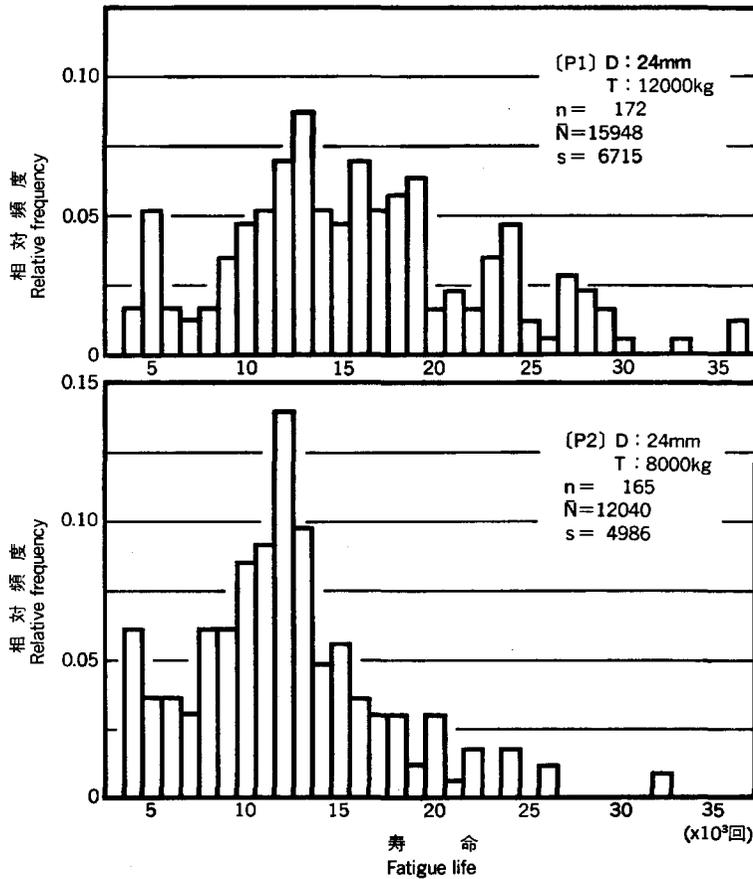


Fig. 4. 寿命値の分布 (24 mm ロープ, G~M)
 Distributions of fatigue life.

瞬間故障率は単調増加であり摩耗型を示していることがわかる。

4.2 寿命値の相関

G~Mの7種類のロープの寿命の現れ方を、ロープ径と張力が異なる P1~P4 の四つの条件について比較し、ロープの特徴を明らかにすることができる。各条件ごとの寿命の有意差については 4.1 で述べたが、ここでは各ロープの寿命の相対的な関係が、P1~P4 の中でどのように現れているかを調べる。

P1 と P2 ではロープ径は同じであり曲げ応力が異っている。この差がある特定のロープの耐疲労性に対して特別の変化をもたらすか、あるいは P1 と P3, P2 と P4 のようにロープ径が異なる場合にも、ロープの寿命の大小関係は同じように現れているかが問題となる。

Fig. 9 は横軸に P1 における寿命、縦軸に P2 における寿命をとり、G~Mのロープ種類ごとの寿命平均値をプロットした相関図である。相関係数は 0.974 と高く、ロープ径が同じで曲げ応力が異なるこれら2条件における寿命平均値の現れ方は、相対的にはほぼ同じ関係にあるといえよう。どちらか一方の条件において特に高い耐疲労性を示すロープはみられない。同様に Fig. 10 は P2 と P3 すなわちロープ径も異なる場合の相関図である。この場合も高い相関関係が認められる。四つの条件の中から2条件

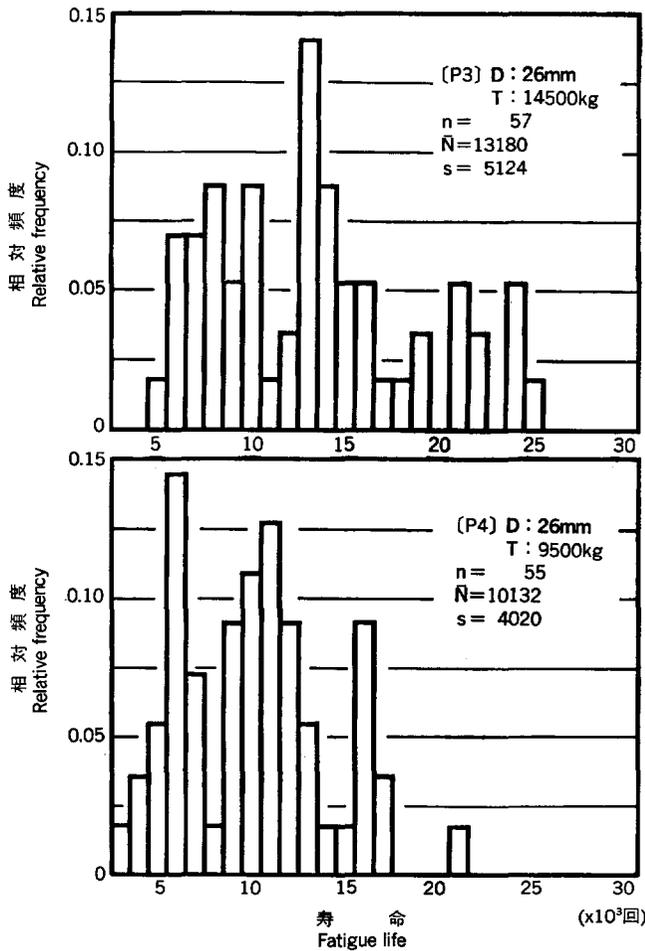


Fig. 5. 寿命値の分布 (26 mm ロープ, G~M)
Distributions of fatigue life.

をとった場合の相関係数を Table 5 に示す。いずれの場合も高い相関関係にあることを示しており、ロープ径と張力が異った場合でも、ロープの種類ごとの平均値の相対的な現れ方に大きな差は見られない。

以上のことから、ロープの特徴がある程度再現性のあるものとして確かめられたと言える。そして少なくともある一定の範囲の中ではひとつの試験結果から他の条件における結果を推定できそうである。

4.3 索線断線の発生経過

疲れ試験における寿命判定の基準は、ロープ1より長さの間に生じる断線数によったが、断線は供試ロープがその上を走行する車輪と接する約 120 cm の間に生じる。ロープの1より長さは、24 mm ロープではおよそ 181~211 mm, 26 mm ロープでは 197~221 mm であったから、供試ロープ上で断線の発生する範囲は 24 mm ロープでおよそ 6.2 より長さ、26 mm ロープでは 5.8 より長さである。最初の断線すなわち初断線が生じたのち、往復回数の増加とともに断線数は増し、ある時点で寿命と判定されるに至る。この間断線が発生する位置は集中しているとは限らない。また、初断線を含む1より長さの間に

4本の断線が起こって寿命となるとは限らず、他の位置で寿命と判定される断線を観測することも多い。供試ロープに生じた総断線数とその増加する状態は、ロープの疲れ経過を示している。

疲れ試験結果にみられる寿命時点での総断線数は、全試料・全試験条件を通して4~16本であり、ほかに3本の断線が同一ストランドに集中して寿命となりそれ以外に断線がない例が一つあった。総断線数のロープ種類ごとの平均値は6.0~9.1本で、26mmロープの種類間に少し差があるが、24mmロープではP1とP2のいずれにおいても差はない。また総断線数と寿命の関係、たとえば総断線数が多いものは寿命値も大きいというような傾向、は認められない。Fig. 11に24mmロープのP1における寿命に達したロープの総断線数の頻度分布図を示す。

初断線以後の総断線数の増加経過を、走行車輪の往復回数との関係でFig. 12に示す。これは24mmロープについて条件ごとに、ロープ種類ごとにそれぞれの平均値で表している。図中の「6×7」は前報¹⁾にあるJIS規格6×7ロープの結果を示している。初断線に続いて断線は継続的に発生し、寿命近くになると、M・Kは初断線の発生時点がおそく、それ以後の断線の増加割合もゆるやかで、その結果として寿命

Table 3. ロープ種別、条件ごとの寿命平均値
Mean fatigue lives for each wire rope.

24 mm ロープ

	[P1] T=12000 kg				[P2] T=8000 kg			
	データ数 n	寿命平均値 N	標準偏差 s	変動係数 s/N	データ数 n	寿命平均値 N	標準偏差 s	変動係数 s/N
G	37	8657	3864	44.6 %	36	6553	2475	37.8 %
H	28	13116	2776	21.2	28	9895	1950	19.7
I	31	18247	5030	27.6	31	12933	2623	20.3
J	16	17490	4107	23.5	16	15262	3041	19.9
K	19	21421	6267	29.3	18	17123	5820	34.0
L	19	13945	2577	18.5	19	11096	2002	18.0
M	22	24456	4860	19.9	17	18211	3828	21.0
Total	172	15948	6715	42.9	165	12040	4986	41.4

26 mm ロープ

	[P3] T=14500 kg				[P4] T=9500 kg			
	データ数 n	寿命平均値 N	標準偏差 s	変動係数 s/N	データ数 n	寿命平均値 N	標準偏差 s	変動係数 s/N
G	10	6817	419	6.1 %	9	5345	1096	20.5 %
H	9	8385	596	7.1	8	5967	648	10.9
I	12	12945	2078	16.1	12	10535	1142	10.8
J	6	19270	3155	16.4	6	14183	1464	10.3
K	6	16190	2375	14.7	6	11326	1168	10.3
L	8	12790	1156	9.0	8	10180	998	9.8
M	6	22860	321	1.4	6	17020	1374	8.1
Total	57	13180	5124	38.9	55	10132	4020	39.7

Table 4. ワイブル分布をあてはめた場合のパラメータ
Parameters fitting Weibull distribution.

試験条件 係数	[P1]			[P2]		
	<i>m</i>	γ	t_0	<i>m</i>	γ	t_0
ロープの種類						
G	1.47	2500	42.26×10^4	2.02	1000	39.22×10^6
H	2.20	7000	270.8×10^6	2.79	5000	26560×10^6
I	2.00	8500	228.8×10^6	1.37	9500	8.44×10^4
J	2.30	8000	1514.8×10^6	2.02	9500	49.81×10^6
K	2.29	9000	3652.0×10^6	1.70	7500	6.67×10^6
L	2.25	8500	322.8×10^6	3.71	7000	544.2×10^{11}
M	2.02	15000	127.6×10^6	2.19	10500	433.8×10^6

確率密度関数 $f(t) = \frac{m(t-\gamma)^{m-1}}{t_0^m} e^{-\frac{(t-\gamma)^m}{t_0^m}}$

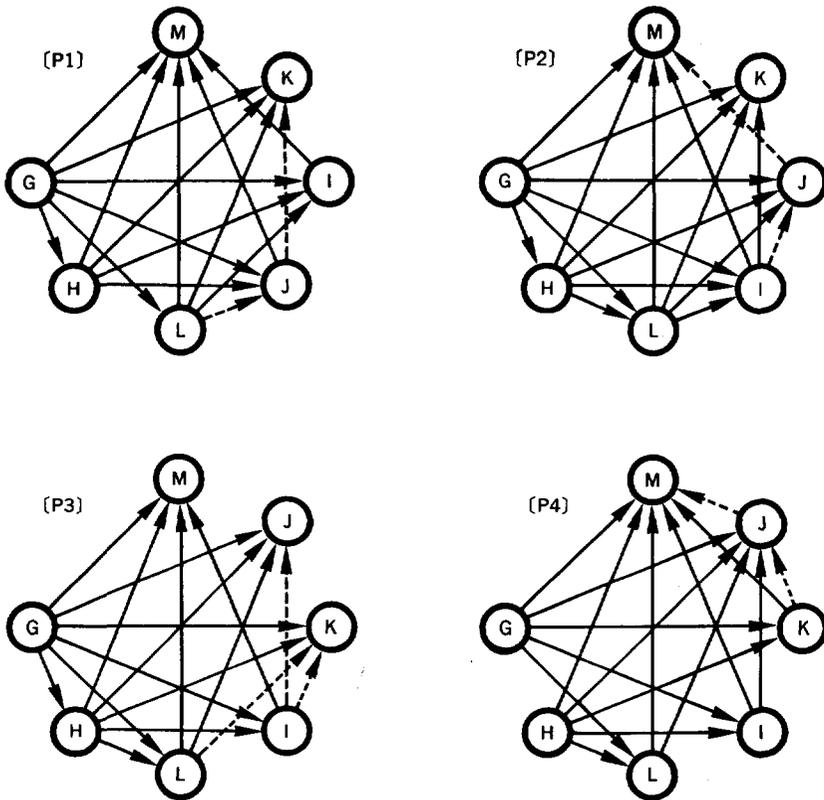


Fig. 6. 寿命平均値の差の検定結果

Results of t test of differences between means of fatigue life.

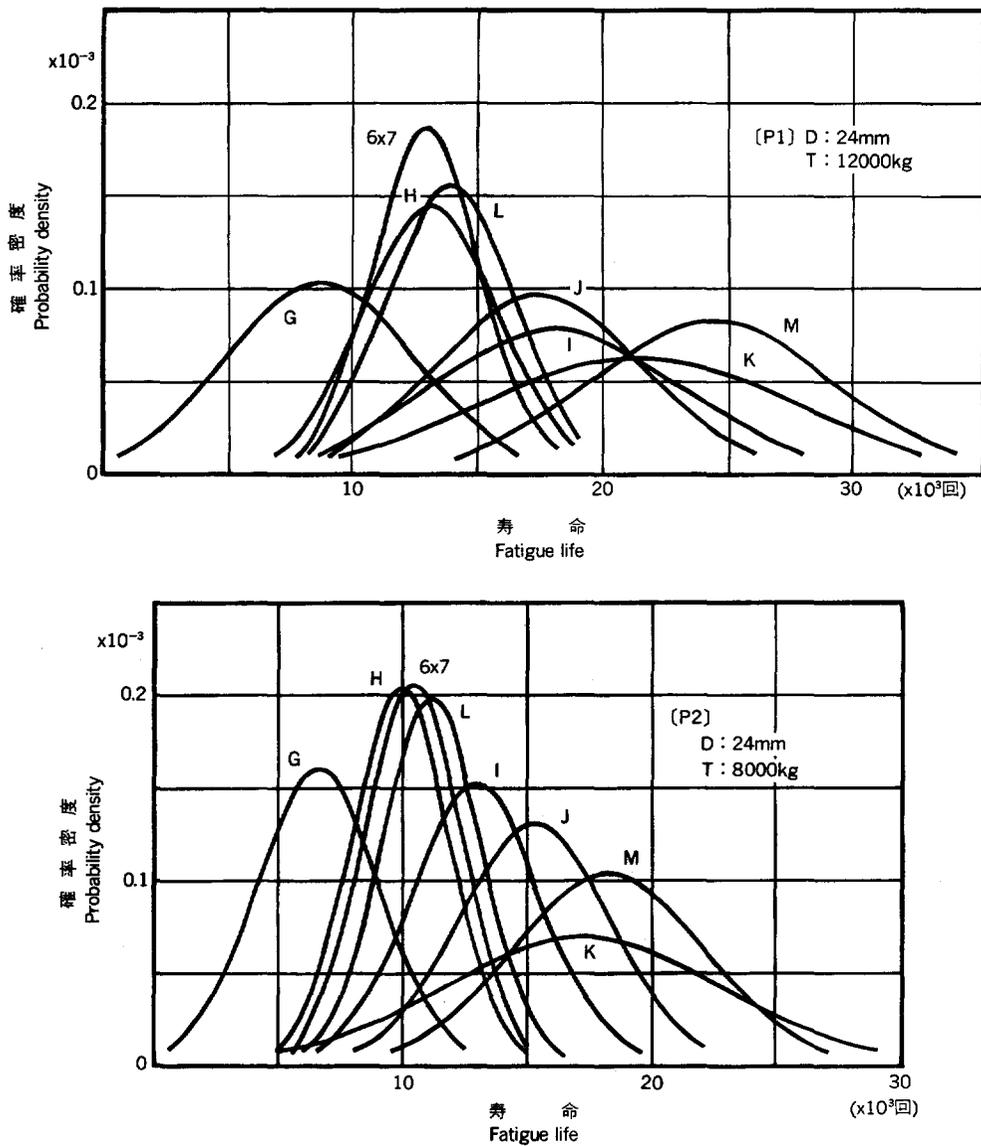


Fig. 7. 寿命の確率密度曲線
Probability density curves of fatigue life.

値も大きい。これに対してGは初断線が早く、その後の断線の増加が急で寿命値は小さい。このような断線発生傾向とロープ種類の相対的な関係は、P1とP2に共通してみられる。試験条件を比較すると、ロープ張力が大きく曲げ応力が小さいP1の場合の方が、P2に比べて断線の発生がゆるやかに進行している。

総断線数の増加を往復回数の寿命値に対する割合で表すと Fig. 13 となる。寿命はロープ種類による差が大きい、断線の発生時期をそのロープの寿命に対する比で示すと、ロープの種類に関係なくよく似た一つの傾向が得られ、6×7ロープとの関係も明らかとなる。P1における初断線の発生は、特殊ロー

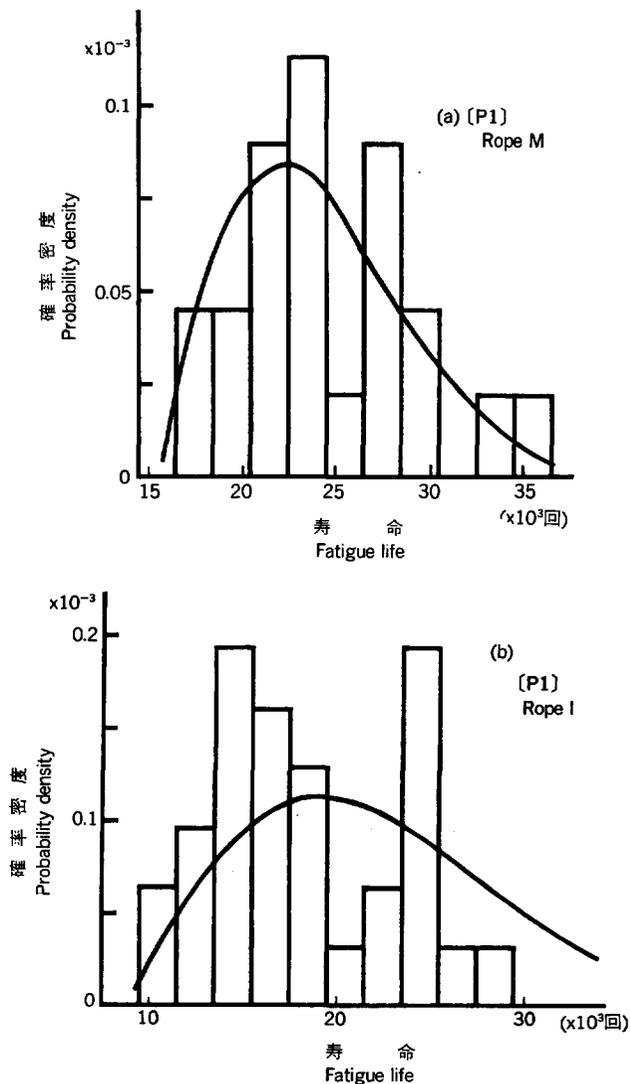


Fig. 8. 寿命の分布型の例
Examples of distribution types of fatigue life.

プでは 0.58~0.70 の範囲にあり、6×7 ロープの 0.74 より早く、断線増加は 6×7 に比べてゆるやかである。P2 では初断線の発生時期は寿命の 0.67~0.73 であり、断線の増加傾向は 6×7 ロープとほとんど差がない。

26 mm ロープに関しては試料の数が十分でなく、比較する 6×7 ロープのデータもないが、断線の増加経過については 24 mm ロープの場合とほぼ同様の傾向であるとみられる。初断線の発生はその寿命に対して、P3 では 0.60~0.74、P4 では 0.63~0.76 であった。

4.4 断線の種類

索線断線の種類はそれが発生する位置によって「山断線」と「谷断線」に分けられる。山断線はロープ

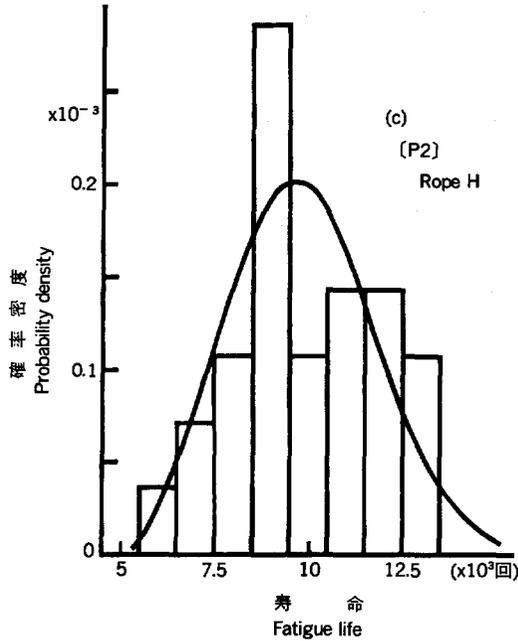


Table 5. 寿命値の相関係数
Correlation coefficients of fatigue lives.

	P 1	P 2	P 3	P 4
P 1		0.974	0.888	0.874
P 2			0.931	0.903
P 3				0.992
P 4				

表面の外周部に、谷断線はストランド相互が接触する箇所に発生するものを指す。また内部断線と呼ばれる内層線の断線もあり、本試験の供試ロープではストランド心線または内層線の断線がこれに相当する。本試験において観測された断線はそのほとんどが山断線であって、走行車輪と接する面あるいはそれに近い位置に生じている。山断線以外の断線すなわち谷断線と心線断線が発生したロープの数は Table 6 のとおりである。谷断線は 26 mm ロープの H に集中的に起こっている以外は少ない。心線断線は 24, 26 mm いずれのロープの場合も P 2 と P 4 の、曲げが強い条件で多く生じている。これらの断線はロープの種類によって発生割合が明らかに異なっている。H は 24 mm ロープで心線断線が、26 mm ロープで谷断線が多く、I は 24 mm で心線断線が多い。また L は P 2, P 3, P 4 で心線断線が明らかに多い。

ロープの構造からみると、H・I・J・K は断面構造が類似した異形素線を持ったもので、G・L・M はともに丸素線で構成されているが、この構造上の共通点も、谷断線と心線断線の現れる傾向との関連はみられない。また、疲れ寿命についてはこの試験結果でみるかぎり、寿命値の大小とこれら断線の発生との間に関連は認められない。

この種の断線を起こしたロープの個々について調べると、谷断線を生じた試料はもう一方の条件でも、

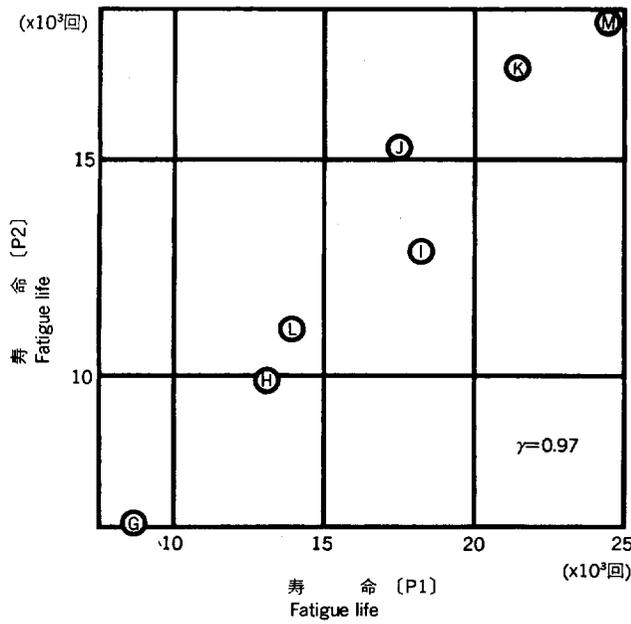


Fig. 9. 張力が異なる条件における寿命の相関図
Relation between fatigue lives under defferent tensions.

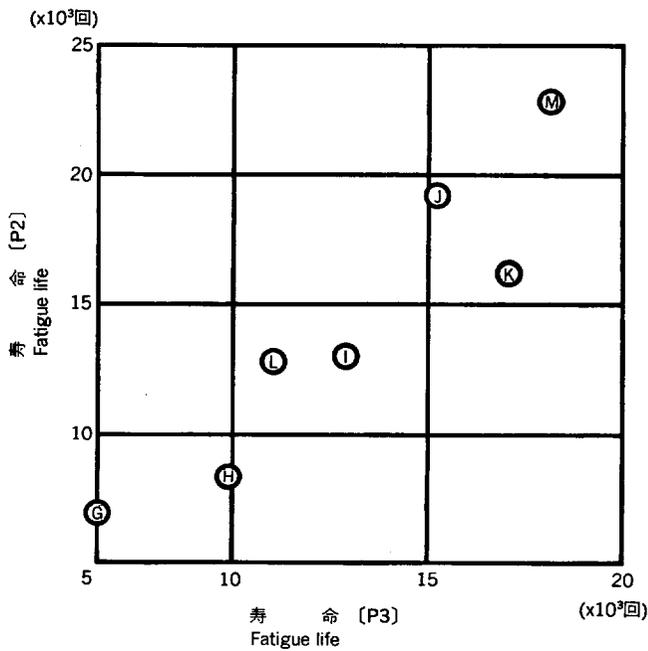


Fig. 10. ロープ径が異なる条件における寿命の相関図
Relation between fatigue lives under different rope diameter.

あるいは同一条件での2本の繰り返し試験のどちらにも生じた例が多い。26 mm ロープのHは P3 では9本の疲れ試験のうち8本に谷断線が生じ、その中の7本の供試ロープは製造年月と製造番号からみて一連の製品かと察せられる。また24 mm ロープのHについても、P2 で心線断線が起こった5例は4本の試料からのもので、この5例中の3本はP1でも心線断線を起こしている。この点からこの4本の試料は他と異っているとみられ、製造番号の類似もみられる。24 mm ロープのIについても同様のことが認められる。以上のような事実から、谷断線あるいは心線断線については試験条件およびロープの構造に基づく性質によることもあるが、これとともにワイヤあるいはロープを製造する過程で生じた製品の個々が持つ性質による部分も少なくないと推定される。

谷断線と心線断線についてもう一つの特徴的なことは、これらの断線が生じた場合のほとんどが、寿命判定に関係していることである。寿命判定は前述のように1より長さの間に4本の断線または同一ストランドの近接した3本の断線によっている。本試験の中で谷断線または心線断線が生じたものは、24 mm ロープで42例、26 mm ロープで31例であり、このうち24 mm では36例が、26 mm では29例が、これらの断線が寿命の判定となった断線の中に含まれていた。さらに、近接した3本の断線で寿命と判定された場合についてみると、24 mm ロープの19例中に谷断線が含まれるもの4例、心線断線が含まれるもの12例であり、山断線だけというものは3例だけである。同様に26 mm ロープでは、16例中に谷断線を含むもの8例、心線断線を含むもの10例で、両方の断線を含むものが2例あり、山断線だけという例はない。

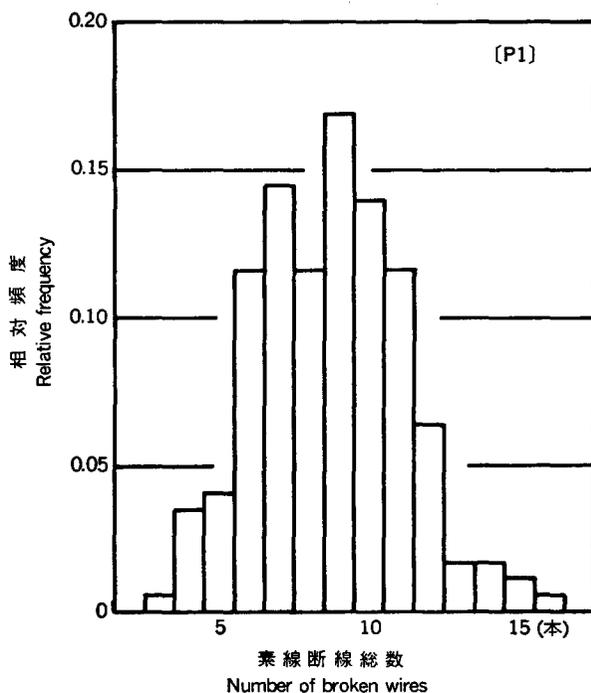


Fig. 11. 素線断線総数の頻度分布
Frequency of number of broken wires.

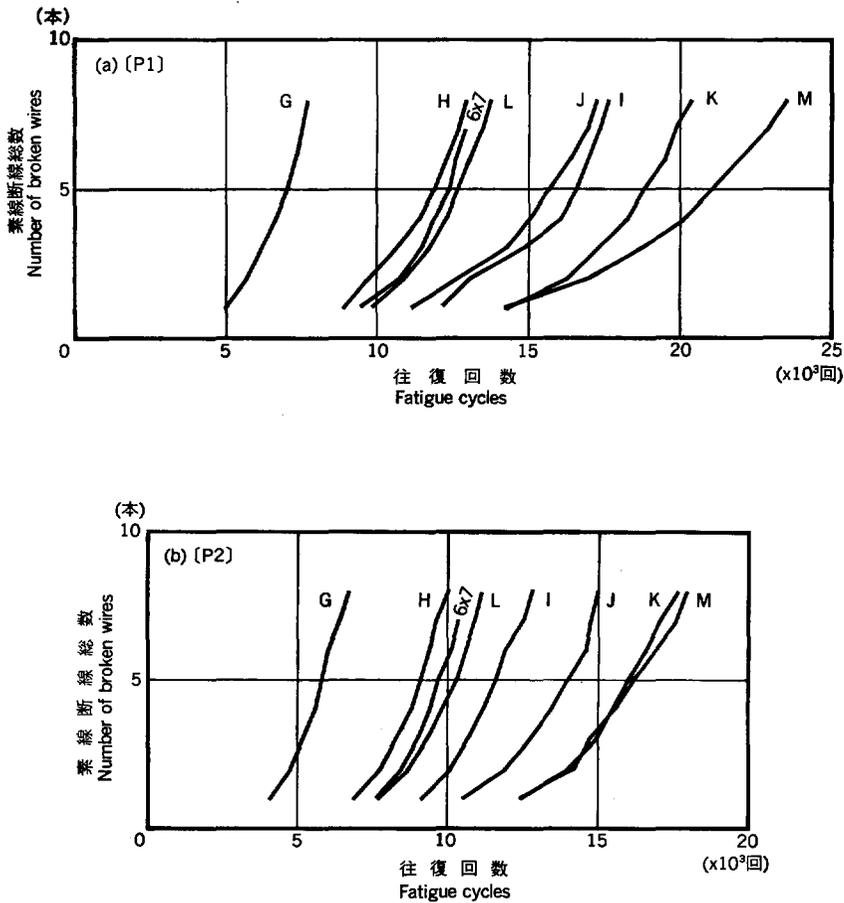


Fig. 12. 素線断線総数の増加
Increase of broken wires (total).

特殊ロープの断線として谷断線または心線断線が生じる可能性が高く、このような断線が生じたときはその近くで他の断線も生じやすく、寿命と判定されるに至る可能性が高いといえるかも知れない。谷断線と心線断線は疲れ試験の終わり近くに発生することが多く、ロープとしてあるいはストランドとして、引張りや曲げに対して内部の力のバランスがくずれて起こるものであろう。6×7 ロープ 24 mm の同様の疲れ試験では 101 例の中、谷断線を生じたものが 1 例、同一ストランドに 3 本の近接した断線を生じたものが 6 例であった。これと比較すると特殊ロープの断線の現れ方の特徴がうかがえる。

その他の特異な断線としては、24 mm ロープの I 中の特定の試料 1 本において、P1 で 2 回とも 3 本の近接した山断線を生じ、P2 では 1 ストランドが突然に切れるという例があった。

4.5 残留強さと残留エネルギー

寿命試験における寿命判定を素線断線数で行ったため、寿命に達したロープはまだ大きな引張り強さを残している。寿命試験を終わったすべてのロープの引張試験を行って残留強さを測定し、このとき得ら

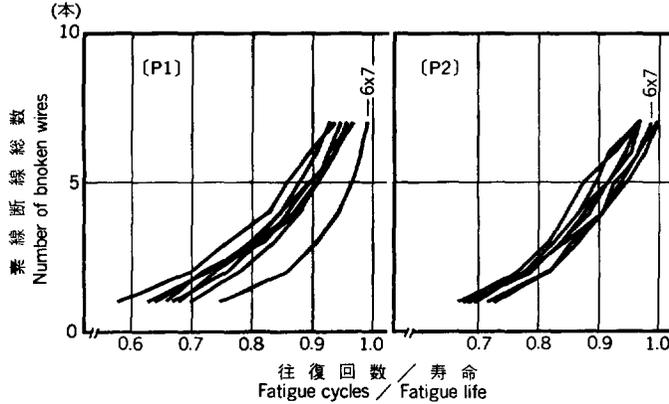


Fig. 13. 素線断線の増加
Increase of broken wires.

れる荷重-伸び曲線から残留切断エネルギーを求めた。これらの結果は Table 1, 2 に示すとおりである。G~Mの7種のロープは構成と断面積が異なり、抗張力も同一でないで、新品時代のロープの切断荷重は一樣でない。残留強さをそのロープの新品時の実際切断荷重に対する百分率で表した残留強さ率とし、寿命試験の条件 P1~P4 ごとに頻度分布を示すと Fig. 14 となる。図から明らかのように、P4 の結果の中で 62.5% に高い頻度を示す個所があるが、これを除けばいずれの場合もほとんど同じ分布傾向を示し、残留強さ率 75~82.5% 附近で頻度が高い。条件 P1~P4 ごとの平均値はそれぞれ 80.0, 76.9, 80.0, および 73.2% で、平均値の間に有意な差はない。

ロープの種類ごとの残留強さ率の平均値は 66~87% であり、差は明確でない。M・G は残留強さ率が高く、H・I・L はやや低くなっている。

残留エネルギーは残留強さと高い相関関係にある。Fig. 15 はこの P2 における例で、相関係数 $r=0.79$ であるが、他の条件でも $r=0.75\sim 0.87$ と大きな値となっている。残留エネルギーを新品時の切断エネルギーに対する百分率で表し、条件ごとに頻度分布をみると Fig. 16 となる。残留エネルギー率 22.5~35% に高い頻度がみられる。P1~P4 の平均値はそれぞれ 31.0, 27.8, 31.6 および 25.3% である。残留エネルギー率についても残留強さ率の場合と同様、条件間にもロープ種類の間にも大きな差はなく、M・G がやや高く、H・J・L がやや低い。

寿命に達したロープ残留強さ率の全平均 77.5% に対して、残留エネルギー率は全平均で 28.9% とエネルギーの低下が著しい。残留エネルギーの低下は、切断荷重の低下と引張弾性係数の上昇、および弾性限度附近以降の伸びの減少の結果である。エネルギーの減少は集材架線の主索にとっては、衝撃的な荷重を受けた場合にロープの伸びとして吸収できるエネルギーが小さくなっていることを意味している。

4.6 曲げ応力と疲れ寿命

疲れ試験で得られる寿命とその試験条件の関係を、適切な変数とパラメータを用いて実験式を求める、あるいはグラフ上に表現することは、疲労特性を把握する上で重要なことである。一般の疲れ理論によれば、材料が受ける平均応力をパラメータとして、寿命と応力振幅の関係が S-N 曲線で表現される。ロープの疲れ試験においては、滑車径とロープまたは素線径の比と寿命の関係を、ロープ張力をパラメータと

Table 6. 谷断線と心線断線の数
Numbers of wire breakage occurred in internal wires and wires excepting surface.

試験条件 断線の種類 ロープ	24 mm ロープ				26 mm ロープ			
	[P 1] T=12000 kg		[P 2] T=8000 kg		[P 3] T=14500 kg		[P 4] T=9500 kg	
	谷	心	谷	心	谷	心	谷	心
G	2 (37)	—	1 (36)	—	— (10)	—	— (9)	—
H	— (28)	3	1 (28)	5	8 (9)	—	2 (8)	—
I	— (31)	7	— (31)	7	— (12)	—	— (12)	1
J	— (16)	1	2 (16)	2	1 (6)	—	1 (6)	3
K	— (19)	—	— (18)	2	— (6)	—	1 (6)	2
L	1 (19)	1	— (19)	7	1 (8)	4	— (8)	5
M	— (22)	—	— (17)	—	1 (6)	—	1 (6)	—
計	3 (172)	12	4 (165)	23	11 (57)	4	5 (55)	11

注 「谷」は谷断線, 「心」は心断線の発生件数を示す。
() 内の数字は疲れ試験の実施本数。

して示されることが多い。これはロープの応力解析が困難で十分な計算式が得られていないためと考えられる。しかし、ロープについても試験条件を応力の形で表して、寿命との関係を実験的に確かめ、S-N 曲線を求めた報告もある^{12,13)}。

本試験では前報¹²⁾の結果から、寿命が最大曲げ応力の関数として表現できるものとして、曲げ応力レベルを定めて試験条件が設定されている。小角度曲げ試験機における供試ロープと走行車輪の接触状態は、索張力と輪荷重の関係で、車輪の半径よりもロープの曲率半径が大きい主索領域である。この場合ロープが受ける最大曲げ応力 (σ_b) は、つぎの J. ISSACHEN の式で表される³⁾¹⁰⁾。

$$\sigma_b = \frac{V}{A} \sqrt{\frac{E}{\sigma_t}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_t = \frac{T}{A}$$

ここに、 $A = B \cdot S / \sigma_B$ 、ロープの有効断面積

σ_B : 素線抗張力

B. S: ロープの切断荷重

σ_t : 引張応力

T: ロープの張力

E: ロープの曲げ弾性係数

V: 輪荷重 (= Q/2)

試験条件 P1~P4 について σ_b を, JIS 規格 6×7 ロープで計算するとつぎの値となる。ここでは E = 21,000 kg/mm² とし, 規格表の B. S と σ_B の値を用いた。この計算結果から P1 と P3, P2 と

	P1	P2	P3	P4
有効断面積 A (mm ²)	212		248	
σ_t (kg/mm ²)	56.7	37.8	58.5	38.3
σ_b (kg/mm ²)	68.2	83.6	68.8	85.0

P4 における σ_b はそれぞれほぼ等しいことがわかる。 σ_b を与える式はその誘導過程でいくつかの仮定があり, 断面形状等が異なる特殊ロープにそのまま適用できない点もあるが, 一応の比較のためこの式を用いて特殊ロープそれぞれについて応力を求めてみることはできよう。特殊ロープの A は種類によって異なり, 6×7 ロープに対して 1.00~1.21 倍であり, σ_b は 1.00~0.907 倍となる。この場合も同種類のロープでは P1 と P3, P2 と P4 における σ_b の値がそれぞれ近い値であることは変わらない。ロープ種類ごとに σ_b と寿命平均値をプロットすると Fig. 17 となる。この図から, すべてのロープについて σ_b が大きい条件では寿命が短くなること, M・J・L ではロープ径が異なる場合も含めて σ_b と寿命が一つのまとまった傾向線を示していること, そして他のロープではロープ径による寿命の差が大きいこと

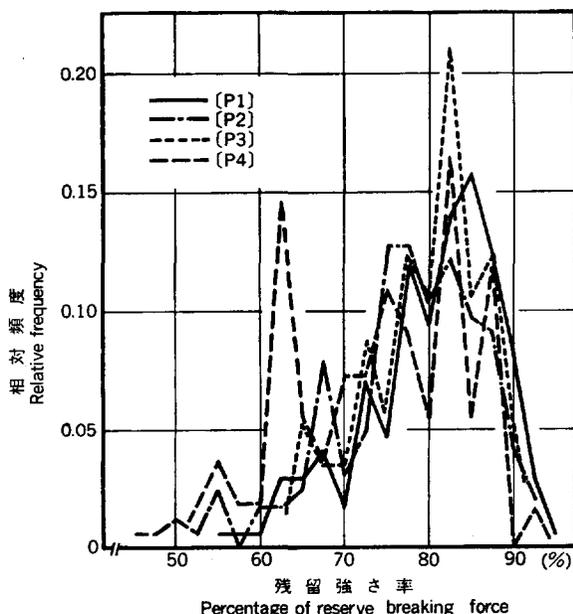


Fig. 14. 寿命時の残留強さ率
Frequency of percentage of reserve breaking force.

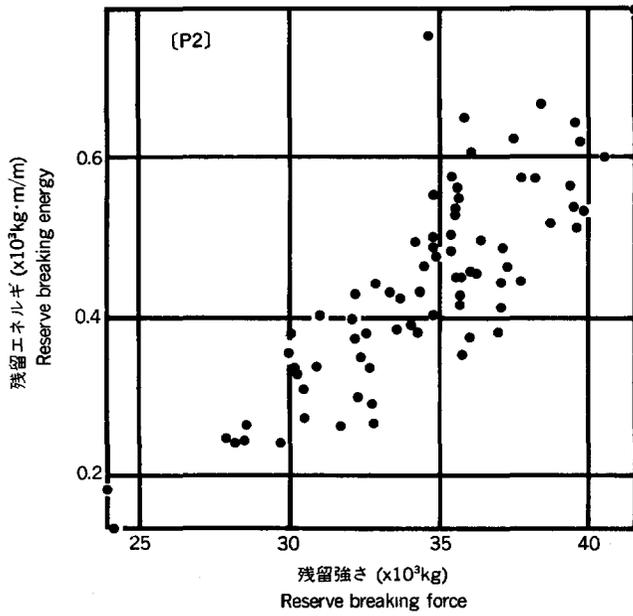


Fig. 15. 残留強さと 残留 エネ
ルギー- (P2)
Relation between
reserve breaking
force and reserve
breaking energy.

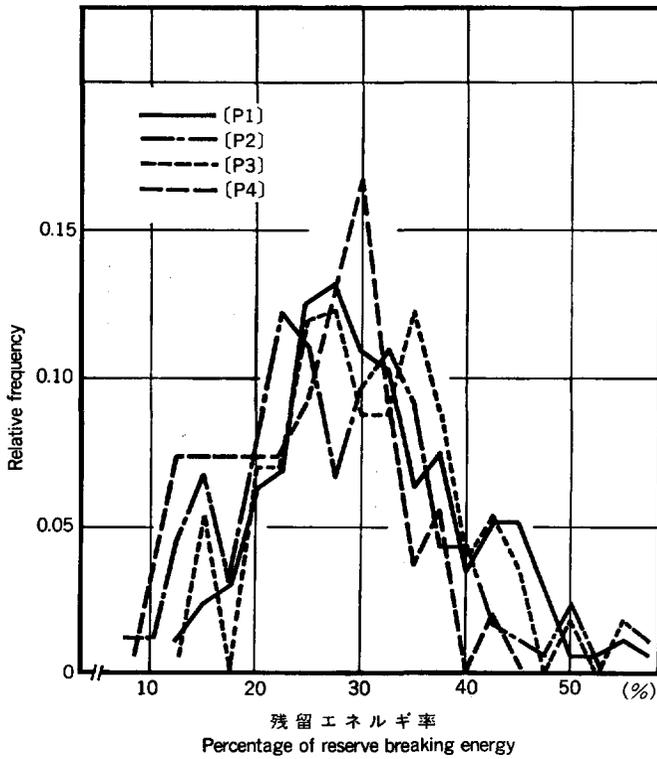


Fig. 16. 寿命時の 残留エネルギー率
Frequency of percentage of reserve breaking energy.

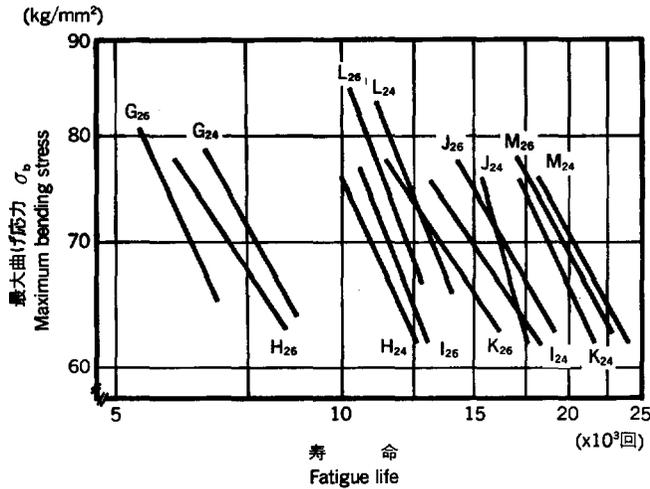


Fig. 17. 最大曲げ応力と寿命
Maximum bending stress and fatigue life.

がわかる。M・J・Lの結果は σ_b が試験条件の表現として有効であり、当初に予想された傾向を確かめたこととなる。これ以外のロープの種類についての結果は、ロープ径が異なる場合に σ_b による表現の不十分さ、あるいはロープの疲労特性のロープ径による差の存在が考えられる。

一方、ロープの種類ごとに σ_b と寿命の関係が得られたとしても、ロープ全体として考えると σ_b が同一レベルであっても寿命に大きな差がある。ほぼ同様の断面形状をもったロープを比較した場合も、寿命の差が著しい。ロープの材質と構造が寿命に影響を及ぼしていることは当然であるが、 σ_b に加味されていない要因すなわちロープの実際切断荷重との関連についても調べる必要があるだろう。

4.7 実際切断荷重と疲れ寿命

ロープの疲れ寿命試験に影響を及ぼす要因を表現するための変数として“耐圧比 (*Drucker's dimensionless bearing ratio*)”が知られており、ロープの構成・抗張力・径・ロープ張力・シーブ径などを広範囲に変えた試験結果の処理に有効に用いられている¹⁾²⁾。耐圧比はつぎの式で表される。

$$B = \frac{2T}{UDd} \quad \dots\dots\dots (2)$$

- ここに、 B : 耐圧比
- T : ロープに加わる荷重
- U : 素線の引張強度
- d : ロープ径
- D : シーブのピッチ円直径

この式はまたつぎのように変形される。

$$B = K_1 \cdot \frac{2T}{B.S \cdot D/d} = K_2 \cdot \frac{d}{D} \cdot L_{tbs} \quad \dots\dots\dots (3)$$

- ここに、 $B.S$: ロープの実際切断荷重
- L_{tbs} : 荷重 (実際切断荷重に対する試験張力の比)

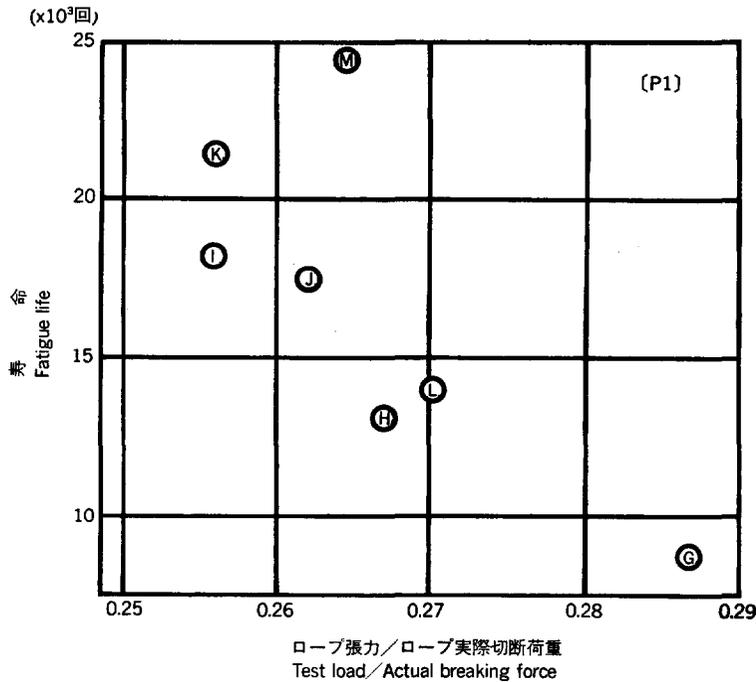


Fig. 18. ロープの実際切断荷重と寿命
Actual breaking force and fatigue life.

K_1, K_2 : 定数

そして、この式に L_{tbs} を用いること、すなわちロープの実際切断荷重を考慮することが効果を発揮している²⁾。

B値はその項として d/D を含み、ロープがシーブに巻きついた状態での寿命試験に用いられており、そのまま小角度曲げ試験にあてはめることはできない。耐圧比Bはロープの寿命に反比例することが実験的に確かめられているから、ロープの寿命は $B \cdot S$ と D/d に比例し、試験張力Tに反比例することとなる。小角度曲げ試験においては、試験張力Tが小さいときは σ_b が大となり、寿命は小さくなる。しかし、小角度曲げの形状が同一であるとか、曲げ応力がある範囲内にある場合に、ロープの実際切断荷重を考慮することの重要性を示しているといえるだろう。

試験結果から実際切断荷重と寿命の関係をみると、ロープの種類によって異なっている。正または負の高い相関を示すものも、全く関係がみられないものもある。ロープの種類ごとではその中に含まれる供試ロープの実際切断荷重の変動幅が小さく、偏っていること、あるいは試料数が少ないことなどの影響であろう。そこで、G~Mの平均値を用いてプロットすると Fig. 18 が得られる。この図は P1 の例であるが他の場合にもほぼ同様であり、 L_{tbs} とNの間に傾向がみられ、 L_{tbs} が寿命に影響を及ぼしていることがわかる。ロープ自身の強さに対して試験張力が小さいことは、試験条件としてゆるやかな条件であり、寿命値が大きくなることは当然の傾向であろう。ロープの種類ごとにみると、Gは実際切断荷重が他より小さく、同一の試験条件では他のロープより厳しい条件にさらされていたことになる。I・Kの L_{tbs} はほとんど同じ値であるが寿命には差がある。Mは L_{tbs} を考慮しても他とは明らかに異なって大きな寿命を

示している。

以上のように実際切断荷重を考慮して L_{tbs} を用いることによって、ある程度寿命の差を説明することができる。しかし、これは σ_b が同程度にある場合についてであって、これのみで試験条件をすべて表せるものではない。

4.8 試験条件と疲れ寿命

今回の特殊ロープを対象とした小角度曲げ疲労試験は、疲れ試験の型式からいえば車輪往復式平面片曲げ方式による実物試験である。この場合概略的にはロープ張力が平均荷重として、横荷重による曲げ応力が変動応力として作用していると考えられる。しかし、一般にロープと滑車の接触圧力あるいはロープ内部に生じる二次曲げ三次曲げ現象による応力が存在し、これが疲れ寿命に及ぼす影響が大きく、ロープの疲れ試験を複雑なものとしているといわれている。したがって、実物試験の条件設定にあつては、実際の使用状態を正確に表現できれば問題はないが、実行するための時間や費用の点から、試験機にはおのずと限度がある。多くの場合は結果を早く得るため試験条件を厳しく設定した加速試験を行って、相対的に比較するなど定性的な答を導き出そうとされる。今回の試験条件と集材架線の主索の使用条件について、張力と安全率、輪圧張力比等の点から検討する。

試験条件としてのロープ張力は、P1—12000 kg, P2—8000 kg, P3—14500 kg, P4—9500 kg である。ロープの切断荷重はロープ径とロープの種類によって異なるが、(実際切断荷重/ロープ張力)を張力安全率として表せば、P1 と P3 では約 3.5~3.9, P2 と P4 では約 5.2~5.9 となる。集材架線の主索の安全率は 2.7 以上と定められており、実際にも安全率はこの値に近いところで使われることが多い。このことと比較すると試験条件はいずれの場合も、安全率がやや大きい方にある。今回の試験結果では安全率が小さい条件で寿命が大きくなっており、ある範囲においては安全率がさらに小さい場合には、寿命がさらに延長されるだろうという推測も可能である⁹⁾。

ロープ張力とそのロープが支える車輪にかかる荷重の関係は輪圧張力比で考えられるが、試験条件の Q と T の関係がこれに相当する。輪荷重は車輪 1 輪当たりの荷重であるから本試験では $V = Q/2$ が輪荷重であり、輪圧張力比は V/T である。輪圧張力比は張力安全率とともに、引張応力 σ_t と曲げ応力 σ_b の合計である総応力に対する安全率をも考えて、ロープが早期に疲労、損耗することがないように σ_t と σ_b の関係を正しく保つ基準とされている。そして具体的な数値としては、一般の索道では 1/80~1/100, 林業用索道では経済的な考慮と実績をもとに 1/30~1/50 が適切であり、1/20 以上では主索の損耗が特に著しいとされている⁹⁾。試験条件から輪圧張力比を計算すると、P1 と P3 では約 1/16, P2 と P4 では約 1/10.5 となる。上述の索道の基準値と比べるとこの値は著しく大きい。集材架線の実態からみれば試験条件としての T および V (Q) の値は実状に合わせた妥当なものといえよう。集材架線の主索が、索道の主索に比べて大きな輪圧張力比のもとで使われていることがわかる。本試験における条件は、輪圧張力比については、集材架線の特別に苛酷な使用条件をそのまま導入しているといえる。

試験条件の相互、P1 と P2 あるいは P3 と P4 の関連についてみると、Q の値はロープ径とともに 2 条件に共通であり、T が 2 段階に変化している。これは一定荷重の主索に沿った移動に伴う、主索張力の変化の中で二つの場合を表していると考えられる。すなわち、P1 と P2 における T をそれぞれ T_1 , T_2 とし、一つの主索を想定すると、Q がスパン中央にあるときの主索張力が T_1 であり、同じ Q が移動して支点近くにきたときの張力が T_2 となる、というような状況である。主索の設計計算に

より概数を求めてみると、P1 と P2 の関係は、スパン 500 m の支点間に主索が垂下比 0.037~0.039 で張られ、この上に 1500 kg の搬器荷重がある場合に相当し、搬器がスパン中央にあるとき張力が約 12000 kg、搬器が移動してスパンの 1/10 にきたとき張力が約 8000 kg となる。同様に P3 と P4 については、スパン 500 m、垂下比 0.037~0.038 で、搬器荷重 1800 kg がスパン中央にあるとき主索張力 14500 kg、スパンの 1/10 の点にあるとき 9500 kg 程度となる。これらの数値をみると、いずれも集材架線としてごく普通の状態と考えられる。搬器がさらに支点に近づいた場合には主索張力はさらに小さくなる。寿命試験の結果は張力 T が小さい条件で寿命が小さい。この結果から言えば、主索の曲げ疲労による劣化は、スパン中央よりも支点に近い方ほど起こりやすいこととなる。

小角度曲げ疲労試験機と実際の主索の使用状態の差として、ロープとこの上を走行する車輪との接触状態がある。実際の架線における主索は搬器の移動に伴って自転運動をし、ロープと車輪の接触位置は一定でなく、ロープはその全周にわたって車輪と接する。試験機の供試ロープにおいては走行車輪と接する面はロープの全周ではなく、一方向だけに限られている。これは供試ロープの長さが短く、試験機への取り付けが軸を中心としたロープの回転を止めていることによる。固定方法についてはさらに、端末が合金ソケット止めされており、走行車輪が約 65 cm の近さまで接近することも実際と異なる点であろう。このような差がロープの疲れ寿命にどれだけの影響を及ぼしているかはいまだ不明であるが、ロープの疲れ現象の進行にとって、実際より厳しい条件になっているものと考えられる。

む す び

集材架線の主索として用いられる、7 種類の“特殊ロープ”の寿命試験の結果から、これらのロープに関していくつかの知識が得られた。

ロープの引っ張り強さについては、新品ロープの実際切断荷重は保証切断荷重を下回ることはなく、保証切断荷重は信頼できる。その反面、実際切断荷重が保証切断荷重より格段に大きく、ロープの種類が区分できない例がみられた。疲れ寿命試験の結果は、ロープの種類によって寿命に差があること、6×7 ロープより寿命が短いものもあること、さらに 6×7 ロープに比べて寿命のパラつきが大きいことなどを示している。そして、24 mm と 26 mm とロープ径が異なった場合でも、同様の結果が得られており、今後この種の試験においては一つの径のロープの結果から、ある程度の推定も可能であると考えられた。今回の試験では試験条件であるロープ張力と横荷重が一定となっているが、各々のロープが受ける曲げ応力あるいは張力安全率等を一定とするような条件のもとで比較試験が行われると、ロープ種類間の寿命の差は今回の場合より小さくなるものと思われる。疲れ経過を示す素線断線の増加傾向は、6×7 ロープの場合と大差ないが、断線の種類としては谷断線と心線断線の発生が多く観測された。寿命に達した時点での残留引っ張り強さと残留エネルギーは、新品時の値に対してそれぞれ 75~82% および 20~25% で、6×7 ロープの場合とはほぼ同様であった。

特殊ロープは、構成・断面構造・切断荷重など種々の点で異なっており、使用にあたっては設計・架設・保守・点検の各段階で、そのロープに対する正しい認識が必要であろう。ロープに問題が起ると作り方が悪いか使い方が悪いか、選択が間違っているかの三つのうちの一つに原因を求めたがるものであるが、実際問題としてはこの三つが切り離せない関係にある場合が多い、といわれる⁶⁾。ここに取りまとめた結果がロープの使用に関して、安全性の確保のために役立てば幸いである。またこの結果を一つの基礎

資料として、実際に使用された実績との比較対照や、今後の使用経過のより正しい、より詳しい記録が蓄積され、ロープの合理的な使用方法が見い出されることを期待したい。

引用文献

- 1) GAMBRELL, JR, S. C. and R. O. CASE, : New machine for accelerated fatigue tests of wire rope, *Wire and Wire Products*, 48, 6, 46~46, (1963)
- 2) GIBSON, P. T., al. : Final report on a study of parameters that influence wire-rope fatigue life, 神鋼鋼線工業株式会社技術資料 (訳文), 102 pp., (1981)
- 3) 加藤誠平 : 林業用索道設計法, 金原出版, 223 pp., (1963)
- 4) 日科技連編 : 信頼性データの解析, 日本科学技術連盟, 107 pp., (1969)
- 5) 日本材料学会編 : 金属材料疲れ試験便覧, 養賢堂, 134 pp., (1968)
- 6) 西岡多三郎 : ワイヤロープ応力の OPQRS 的考え方, 鋼線鋼索技術懇談会 30 周年史, 9~14, (1980)
- 7) 農林水産技術会議事務局監修 : 数理統計学的手法の理論と応用, 農林統計協会, 255 pp., (1966)
- 8) WETTSTEIN, R. : Construction and life time of wire ropes, Paper prepared at symposium on forest operations in mountainous regions, ECE/FAO/ILO, LOG/SYMP. 5/79, 8 pp., (1971)
- 9) 林業試験場経営部 : 鋼索の損耗に関する一調査, 部内資料, 17 pp., (1954)
- 10) SCHNEIGERT, Z. : Aerial ropeways and funicular railways, Pergamon Press, 554 pp., (1966)
- 11) 柴田順一 : 林試研報, 324, 37~53, (1983)
- 12) ——— : 94 回日林論, 685~686, (1983)
- 13) 上田 実・斉藤敏彦・柴田順一 : 林試研報, 231, 1~71, (1968)
- 14) 上野 勲 : ワイヤロープの高応力 (主として曲げの疲労と諸現象), 鉱業関係学協会合同秋季大会資料, 49~55, (1965)
- 15) ワイヤロープ便覧編集委員会編 : ワイヤロープ便覧, 白亜書房, 1026 pp., (1967)

Study on the Fatigue of Wire Rope for Logging (VI) Fatigue life tests of 7 kinds of wire rope for skyline

Jun-ichi SHIBATA⁽¹⁾, Osamu OHKAWABATA⁽²⁾, Shinji HIROBE⁽³⁾ and Mitsugu TOMINAGA⁽⁴⁾

Summary

Several types of wire rope that were developed with improved durability and which have different constructions from standard 6×7 wire rope are used for standing skylines in cable logging systems. They have particular constructions, cross sections, or higher

Received August 28, 1984

(1) (2) (3) (4) Forest Mechanization

tensile strengths. According to these distinctive characteristics, they are not standardized in the Japanese Industrial Standard. Seven kinds of wire rope were put to the fatigue life test for the purpose of examining and comparing them under bend fatigue conditions similar to those encountered in logging skyline. Five kinds of rope out of the seven had plane contact lay round strands with shaped wires. One had the same cross section as standard 6×7 wire rope, but had higher wire tensile strength, and another one had triangular flattened strands with round wires and fiber strand cores. They all were 6 strand, right hand lay, Lang's lay construction and black steel wire rope with fiber main core, and 24 mm or 26 mm in diameter. Samples of wire ropes for the fatigue tests were collected by the Operation Div. of the Forest Agency, from its logging sites and also obtained from wire rope makers. The number of samples reached 103.

The experiments were planned on the basis of the results of the previous report (II), and the testing machine and the procedure for the fatigue tests were almost the same as those applied in the experiment on the wire rope 6×7 (JIS No. 1) shown in the previous report (V). The comparative fatigue tests in the laboratory were carried out under four different fatigue conditions on wire rope. Tensions in test wire rope were 12000 kg (P1) and 8000 kg (P2) for 24 mm wire ropes, and 14500 kg (P3) and 9500 kg (P4) for 26 mm wire ropes. Loads upon the pair of sheaves running up and down along test wire rope were 1500 kg for 24 mm wire ropes (P1 and P2), and 1800 kg for 26 mm wire ropes (P3 and P4). The pitch diameter of the sheaves was 150 mm. Maximum bending stress to which the test wire rope on the testing machine was subjected was 68.2 to 85.0 kg/mm² estimated by Issachsen's formula according to the test conditions. The wire rope fatigue life was expressed by the number of running sheave cycles before the time when four broken wires occurred within one length of lay for each testing wire rope. In all 449 fatigue life tests were carried out.

The following properties became evident after examining the experimental results.

1. The mean fatigue life of wire rope varied widely from 8657 to 24456 for 24 mm wire ropes, and from 6817 to 22860 for 26 mm wire ropes. The coefficients of life variation for each rope in each test condition were less than about 20 percent with some exceptions. Significant differences in fatigue life among the various kinds of rope were confirmed commonly in each result of all test conditions.

2. The ratio of reserve to initial breaking force of wire ropes that had reached to the end of its life were about 75—80 percent. The ratio of reserve to initial breaking energy estimated from stress-strain curves were about 23—35 percent. The contributors to the decrease in breaking energy of wire rope were reduced elasticity and lowered tensile force. The correlation between reserve breaking force and reserve breaking energy was clearly noticed. No significant differences among test conditions and kinds of wire rope were recognized.

3. The growth of the number of broken wires was observed. On the average the first broken wire occurred at the point of 58—76 percent of the fatigue life. Wire breakages usually appeared on the rope surface. In some cases wire breakages were observed in center wires and in the outlayers at strand contacting parts.