

林業用鋼索の疲労に関する研究 第3報

作業索 (6×19, JIS 3号) の疲れ寿命試験

機械第1研究室⁽¹⁾・上松運輸営林署ロープ試験室⁽²⁾

Forest Machinery 1st Research Unit and Wire Rope Testing Team,

Agematsu Transportation District Forest Office :

Study on the Fatigue of Wire Rope for Logging (III)

Fatigue life of operating rope (6×19, JIS No. 3)

要 旨 : この試験は、繰返し曲げ応力を受けるワイヤロープの疲れ寿命を知るために、疲れ試験機により同一条件のもとで、S 曲げ疲れ試験を実施した。試験の計画と方法は林試研報 164 号「林業用鋼索の疲労に関する研究 (第1報)」で得た結果にもとづいている。試験したワイヤロープの構成は 6×19 (JIS 3号) で、直径 12 mm、試験条件は張力 350 kg、滑車直径 190 mm、試料の総数 248 本であり、概略つぎのような結果を得た。

上記試験条件における寿命の平均値は、データ (I) では 5,211 回、データ (II) では 6,117 回であり、この差は素線断線の検査方法の差によるもので、いずれの場合も変動係数は 17% 程度であった。寿命値の確率密度関数としては、対数正規分布またはワイブル分布があてはめられる。また真数正規分布としても大きな誤りではない。一定回数 (4,000 回) の曲げを与えた後の残留強さを求める試験では、かなり精度のよい結果が得られ、製造会社間の耐疲労性の比較を試みることができた。

また、疲れの進行にともなう素線断線の発生経過と断線の種類について、観測記録を得た。ワイヤロープの耐疲労性に影響を及ぼす要因について分析を試みたが、明確な関係を見いだすことはできなかった。

目 次

はじめに	2
1. 試験の計画	3
1.1 前報で得られた結果	3
1.1.1 ワイヤロープの S-N 曲線	3
1.1.2 ワイヤロープ破断までの往復回数	4
1.1.3 ワイヤロープの性能比較試験	5
1.2 前報の結果についての若干の検討	5
1.2.1 S-N 曲線の形状	5
1.2.2 S-N 曲線について 2, 3 の注釈	6
1.2.3 寿命と残留強さ	7
1.2.4 疲れ試験機による結果と実際の使用状態における寿命の関係	7
1.2.5 性能比較試験の結果について	8
1.2.6 P-N 線図による寿命データの検討	8
1.3 今回の試験を進めるための基本的な考え方	9
2. 試験方法	10
2.1 試験装置	10

2.2 試験の方法	10
2.2.1 試験・検査項目とその方法	10
2.2.2 供試ワイヤロープ	11
2.2.3 試験の実施	24
3. 試験結果	24
4. 考察	24
4.1 寿命試験結果の整理	24
4.2 寿命値の分布	25
4.3 前報の結果から推定される寿命との比較	27
4.4 寿命に達したワイヤロープの残留強さ	28
4.5 4,000 回往復試験後の残留強さ	30
4.6 素線断線の発生経過	31
4.7 ワイヤロープ寿命と 4,000 回往復試験後の残留強さの製造会社間の比較	33
4.8 ワイヤロープの耐疲労性に影響を及ぼす要因	35
4.9 供試ワイヤロープの中に見られた外観的な欠陥	36
むすび	36
引用文献	37
Summary	38

はじめに

わが国の林業において、架空線集材装置として木材搬出に使用されるワイヤロープについて、その特殊な使用条件に注目し、ワイヤロープの疲れ試験を行った結果は、林試研報 164 号および 213 号で公表したところである⁹⁾¹⁰⁾。これらの報告では、ワイヤロープの疲れ特性を、S-N 曲線の形で表現することを提示し、これをもとにワイヤロープ製造会社間の性能（寿命）比較を試み、さらにワイヤロープの疲れ寿命に影響を及ぼすと思われる、いくつかの要因について検討を行った。

林野庁業務課においては、この成果をさらに充実させるために、上松運輸営林署にロープ試験室を設け、国有林野製品生産事業において使われる各種ワイヤロープについて、疲れ試験を行ってきた。本報告はこの試験結果のうち、6×19 裸 o/o 12 mm ワイヤロープについてとりまとめたものである。

まず 1 章では、前報（林試研報 164 号）で得られた結果の概略を要約し、今回の試験を計画する立場から、いくつかの点について検討した。これらは試験の計画と実行の見通しを得るとともに、試験条件の設定と試験方法を定める根拠となった。

2 章では、試験の具体的な方法を、試験装置、試験・検査項目、供試ワイヤロープ、および実施の経過について述べた。

3 章では、疲れ試験結果および測定・検査の結果を一括して表示した。

4 章では、試験結果から寿命と残留強度について、統計的な分析を試み、寿命値の確率分布の型、バラツキの程度を考え、前報の結果とも対比し考察した。さらに製造会社ごとの差に注目して比較するとともに、寿命に影響を及ぼすとみられる要因について、その関連性を調べた。

今回の試験に関して、試験の設計と方法については林業試験場機械第 1 研究室が参画し、それにもとづく疲れ試験と検査は長野営林局上松運輸営林署ロープ試験室が実行した。本報告をとりまとめるにあたって、長期間にわたって試験の遂行にご尽力された関係各位に対し敬意を表するとともに、データの公表を

お許しいただいたことに感謝いたします。また、有益な助言とご指導あるいはご協力いただいた多くの方々に対し、深く感謝します。

試験計画 林業試験場機械化部

機械科長 上田 実

機械第一研究室 富永 貢

試験実施 長野営林局上松運輸営林署

ロープ試験室 井上 明

原 博 久

大畑 敏 夫

平山 実

岩原 重 雄

林 悦 男

とりまとめ 林業試験場機械化部

機械第1研究室 柴田 順 一

1. 試験の計画

本試験は1962年から1963年にかけて、林業試験場において行った林業用ワイヤロープの疲れ試験の結果をもとにして計画したものである。今回の試験の計画にあたっての基本的な考え方を示すために、前回の試験の結果の概要を、林業試験場研究報告第164号「林業用鋼索の疲労に関する研究（第1報）作業索の繰返し引張り曲げ試験」上田 実・富永 貢（以下前報と略記）から要約し、若干の検討を加える。

1.1 前報で得られた結果

1.1.1 ワイヤロープの S-N 曲線

供試ワイヤロープとして、6×19 裸 o/o 2種、10 mm 径を用いて、林業における使用状態に近似させた条件、すなわち、滑車の直径およびワイヤロープの張力安全率が比較的小さく、S 曲げと L 曲げ、引

Table 1. 1 割断線までの往復回数 (単位 10³)

Cycles to fatigue life in previous report (×10³)

張力 (kg) Rope ten- sion	種別 Kind of bending 滑車間隔 (mm) Sheave spacing 滑車直径 (mm) Sheave diameter	S 曲 げ S bending						L 曲 げ L bending				
		60			180			240				
		110 (126)	150 (92)	190 (73)	110 (126)	150 (92)	190 (73)	70 (198)	110 (126)	150 (92)	190 (73)	270 (51)
350	(11)	1.4	2.8	12.0	1.6	4.0	12.0	1.0	6.0	14.0	32.0	91.0
700	(21)	1.1	2.5	5.6	1.2	2.4	6.5	0.85	3.5	9.0	15.0	33.0
1,050	(32)	0.9	2.0	4.0	1.0	1.95	4.0	0.80	2.6	5.0	7.5	24.0
1,400	(42)	0.8	1.6	2.5	0.8	1.6	3.2	0.55	2.0	3.25	6.0	11.5

林試研報 164 号 p. 85 より転載

() 内は引張り応力と曲げ応力 (kg/mm²)

Bracketed figures indicate tensile and bending stress (kg/mm²).

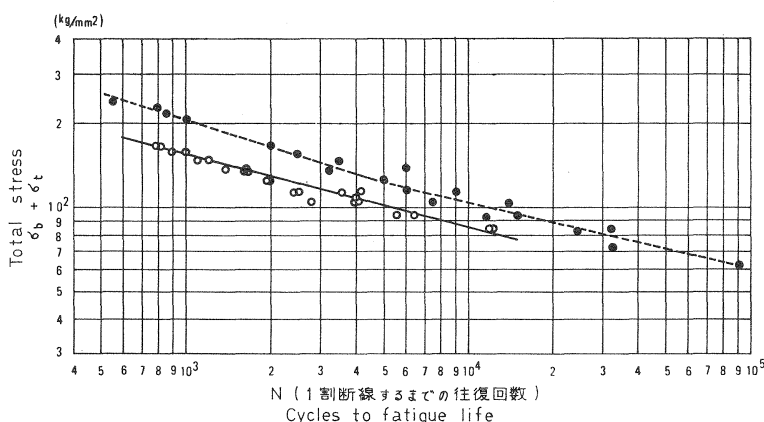


Fig. 1 前報の試験による S-N 曲線
S-N curve obtained by the previous experiment
(Bull. of Gov. For. Expt. Sta. No. 164).
林試研報 164 号 p. 93 より、一部割愛
白丸と実線：S 曲げ，黒丸と点線：L 曲げ

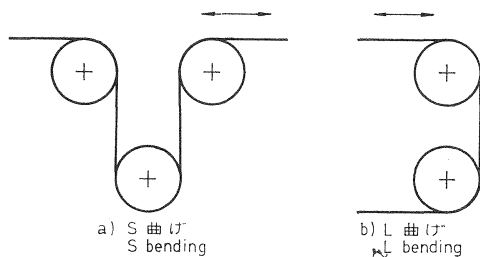


Fig. 2 曲げの種類
Shapes of bending.

張り曲げ回数 10^4 程度までの範囲，における疲れ試験を行っている。ワイヤロープを構成する素線総本数の 1 割 (12 本) が断線するまでの，繰返し引張り曲げの往復回数をもって寿命を表わし，滑車直径・ワイヤロープ張力・滑車間隔を変えて設定した条件のもとで疲れ試験を行って，それぞれの場合の寿命を求めている (Table 1)。

この結果から，ワイヤロープの寿命を一般の鋼材などに用いられる表示方法に似せて，S-N 曲線として表わすことを試みている。これによれば Table 1 にあるデータは，S 曲げと L 曲げそれぞれについて，“直線上に乗る” ことを見いだしている (Fig. 1)。さらに，過去の 3 つの文献にみられる実験データについてあてはめてみて，“ほとんど直線上に乗る”，“一つの曲線に乗る”，“ゆるい曲線を描く” ことを確かめている。また，ワイヤロープの曲げ方の差，S 曲げと L 曲げについては，S-N 曲線上では別の直線として表わされ，同一の総応力のもとでの寿命は，L 曲げの場合は S 曲げの場合の 2.5~4 倍であるとしている。

1.1.2 ワイヤロープ破断までの往復回数

ワイヤロープが引張りと曲げ応力を受けながら滑車上を往復し，その回数が増加するとそれを構成する素線の疲れれが進行し，ワイヤロープの強さが低下する。前報ではこの経過を追って，往復回数とその時の強さの関係について試験を行っている。その結果から結論としてつぎのことを得ている。

“1 割断線” に達したワイヤロープの残留強さ率は 50~80%。

試験条件との関連では，張力の増加にしたがい残留強さ率はわずかに増加の傾向，滑車直径の影響ははっきりしない。

素線の断線経過については，初期断線はワイヤロープ破断までの往復回数の 50% で起こる。1 割断線は 80% のところでおこりその時の残留強さは新品時の 60~70% である。

断線の発生状況は、滑車径が小さく引張り力が大きくなるにつれて谷断線（ストランド相互が接する部分における素線の断線）の割合が増加する。

伸び率は疲労破断時に1.5～2%に達し、滑車径が大きくなるほど、張力が高いほど伸び率は高くなる傾向がある。

1.1.3 ワイヤロープの性能比較試験

10の異なった製造会社の製品から、14本の供試ロープ（6×19 裸 o/o 2種 10 mm）について疲れ試験を行い、それぞれの寿命を求め、会社ごとの比較を試みている。結果としてつぎのように述べている。

各社ロープの寿命にはかなり相違がある。

滑車直径 110 mm、張力 1,400 kg の条件での寿命は 500～825 回、同じく 190 mm と 350 kg では 7,000～14,300 回であった。

寿命に影響を及ぼすと考えられる要因として、素線表面のあらさ・素線の金属組織の均質性とフェライトの分布状態・心綱の太さ・型付率の4つがあげられる。

素線断線は、滑車直径 110 mm、張力 1,400 kg の条件では谷部に、190 mm—350 kg の条件では山部に集中する。

心綱の太いものが、滑車直径の小さい場合に有利と考えられる。

型付率は 92～93% のものがよい。

1.2 前報の結果についての若干の検討

1.2.1 S-N 曲線の形状

前報の疲れ試験結果から得られた S-N 曲線の形状について、その文中では“……データをプロットした各点が線上に乗ることがわかった”，“線が得られた”，“ほぼ直線状の S-N 曲線が得られる”としか述べられていない。さきに引用した Fig. 1 からみるかぎりでは、S 曲げの場合については直線が、L 曲げについては折れた直線が、それぞれあてはめられている。また過去の文献データを S-N 曲線として示しているが、試験条件・ワイヤロープの構成・試験機の構造・寿命の判定基準などの相違点があり、直接比較することはできない。

そこで、S 曲げのデータにかぎって、滑車間隔 60 mm と 180 mm の場合を含めて、S-N 曲線を直線と仮定し、回帰方程式と相関係数を求めると、

$$\log N = 11.0189 - 3.6723 \log (\sigma_t + \sigma_b) \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\text{相関係数 } \gamma_1 = -0.980 \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに N : 往復回数, σ_t, σ_b : 引張り応力, 曲げ応力

となる。この結果は高い直線性を示している。

また、前報の各社比較試験の寿命データのすべて（前報の付表 3-1～14）を S-N 曲線とし、直線式をあてはめてみると、

$$\log N = 10.9851 - 3.6708 \log (\sigma_t + \sigma_b) \quad \cdots \cdots (3)$$

$$\text{相関係数 } \gamma_2 = -0.978 \quad \cdots \cdots (4)$$

となる。これも高い相関係数を示している。

同一のワイヤロープを試料として試験した結果から得られた回帰式 (1) と、製造会社の異なる 14 本の試料ワイヤロープから得られた式 (3) を比較すると、その係数が非常に近似しており、ともにその相関

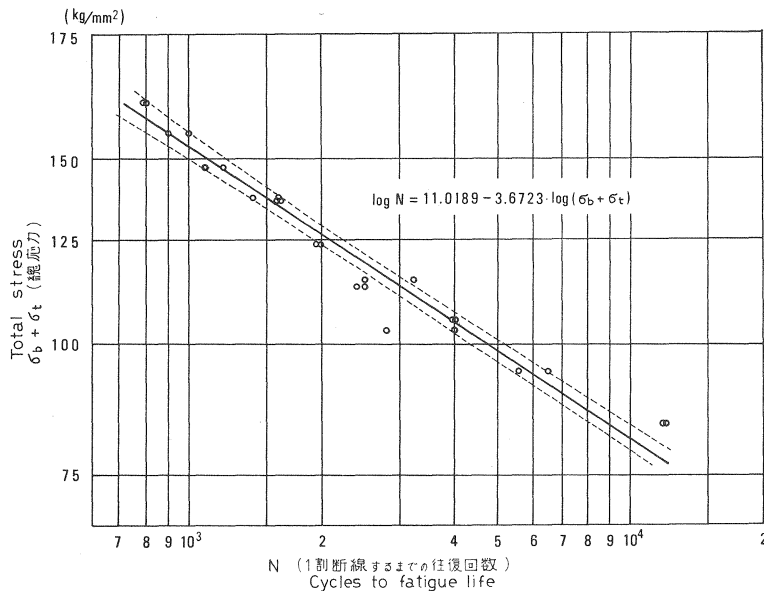


Fig. 3 S-N 曲線の直線回帰
Linear regression of S-N curve.

係数が大きい。製造会社間の差はあっても、同一規格のワイヤロープとして、その寿命は全体として一定の範囲にまとまっていることを示しているといえるだろう。

1.2.2 S-N 曲線について 2, 3 の注釈

ワイヤロープの疲れ特性を示す方法として、S-N 曲線は有効な手段の一つと考えられる。しかし、いくつかの点については疑問の余地を残している。

(1) S 曲げと L 曲げ

曲げ応力と引張り応力という具体的な計算値を用いながら、S 曲げと L 曲げはそれぞれ別個の S-N 曲線となっている。両者の関係も一定ではない。すなわち、S 曲げと L 曲げまたは一方向曲げと反対方向曲げなど、曲げの種類の関係については、S-N 曲線は示していない。

(2) ワイヤロープの曲げ応力計算式

ワイヤロープの曲げ疲れ実験の結果は、一般には滑車直径 (D) とワイヤロープあるいは最大素線の直径 (d , δ) との比, D/d , D/δ と、曲げ繰返し数 (N) との関係を、張力をパラメータとして示すことが多い。これはワイヤロープの構造が複雑で、曲げ応力や引張り応力などの解析が困難であり、十分な応力計算式が与えられていないためであり、また応力の形では接触圧力の影響を示すことが難しい、という理由によると考えられている⁴⁾。

前報では応力計算式として、

$$\text{引張応力 } \sigma_t = T/A \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{曲げ応力 } \sigma_b = E_b \cdot \delta / D \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに T : ワイヤロープにかかる張力

A : ワイヤロープ断面積 (ロープ切断荷重/素線抗張力)

E_b : ワイヤロープの曲げ応力弾性係数, $2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$

δ : 素線直径

D : 滑車直径 (Pitch Dia.)

を用いている。

しかし、この式による曲げ応力の値は δ/D の値がある値をこえると過大となる。たとえば前報の試験条件の一つである $D=70 \text{ mm}$ の場合、曲げ応力 δ_b は 198 kg/mm^2 となり、素線の抗張力 165 kg/mm^2 をはるかにこえてしまうが、素線の断線が生じることはない。この辺の事情を究明するため過去にいくつかの式が提案されている¹⁴⁾。それらの多くはワイヤロープの曲げ応力弾性係数 (E_b) と鋼材の縦弾性係数 (E) との関係を調べ、 E_b の値として E より小さな値を提示している。

前報における曲げ応力および総応力の計算方法とその値は、ワイヤロープの疲れ特性を S-N 曲線として表現するための、一つの尺度を与えるものであって、真の応力を表わすものではない。

(3) ワイヤロープの断面積

ワイヤロープの引張り応力の計算は式 (5) で示されるように、ワイヤロープの切断荷重を素線抗張力で除して求めた断面積を用いている。この断面積は、ワイヤロープ JIS 解説による計算値より小さい。同解説に示されている計算方式は、(ロープの断面積) = (断面積係数) $\times$ (ロープ径)²、構成が 6 $\times$ 19 の場合の断面積係数は 0.397 であり、ロープ径 10 mm の場合の断面積は 39.7 mm^2 となる。(5) 式による断面積は 33.3 mm^2 で、引張り応力に換算して約 20% 高くなることがわかる。

1.2.3 寿命と残留強さ

寿命の判定基準は労働安全衛生規則に定められた、不適格なワイヤロープの使用禁止事項のうち、「ワイヤロープ 1 よりの間において素線数の 10 分の 1 以上の素線が切断したもの」を根拠としている。この寿命に達した時のワイヤロープの残留強さ率は、前報の結果では 18~80% と幅が広い。

ワイヤロープを一つの材料とみなして、その疲れ試験を行うとき、寿命の判定基準としてまず破断が考えられる。破断まで試験を継続することが不可能なときには、一定の強度低下に至った時を基準とすべきであろう。ワイヤロープの素線の断線数を、外観から数えて寿命を判定するという実際的なやり方は、ワイヤロープの強さが一定の値まで低下したと推定するための手段である。すなわち、残留強さを示す代用特性値として素線の断線数を採用している。したがって寿命に達したワイヤロープの残留強さが大きくばらついている場合には、断線した素線の数にワイヤロープの強さの代用特性値として、適当であるかという疑問が生じる。

1.2.4 疲れ試験機による結果と実際の使用状態における寿命の関係

前報では S 曲げ装置の滑車間隔を、60 mm と 180 mm の 2 段階に変えて試験条件を設定しているが、その結果については何も述べていない。滑車間隔が 60 mm と 180 mm の場合についてその寿命データをみると、ほとんど差はみられない。滑車間隔をさらに大きくした場合にも同じ結果となるだろうか。実際の使用状態との対応を考える時に問題となる可能性がある。

S 曲げを受けるワイヤロープの形状は、集材架線の中ではタイラー式系統の索張り法に特徴的に用いられる、リフティングラインの形に相当するものである。この部分においてワイヤロープの損耗が著しいことは一般に知られた事実である。しかしさらに細かくみると、疲れ試験機における S 曲げのように 3 個の滑車がごく接近し、それぞれの滑車へのワイヤロープの巻きつけ角が 90°, 180°, 90° となる状態は、実

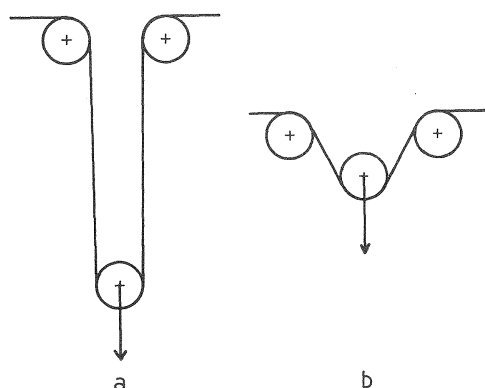


Fig. 4 リフティングライン
The shape of lifting line in Tyler yarding system.

際の集材架線の中ではいつも起こっているわけではない。搬器とその近くにおけるリフティングラインの形状は、作業中に変化があるにしても、滑車の間隔は十分に大きくワイヤロープの巻きつけ角はおよそ 90° , 180° , 90° となる場合 (Fig. 4-a), あるいは滑車の間隔は小さく巻きつけ角は小さい場合 (Fig. 4-b) が多く見られる。

このような実際の使用状態におけるワイヤロープの寿命と、前報の結果との関係はまだ明らかにされていない。作業現地における使用条件を把握しその寿命を知することは容易でない。しかし、試験条件が実際の使用条件と多少異なっているにもかかわらず、

試験で得られたワイヤロープの寿命の相対的な比較は、実際の使用についても成り立つとみても大きな誤りではないであろう。このような概略的な考え方に立って、ワイヤロープの寿命に影響を及ぼす要因の検討、あるいはワイヤロープ製造会社間の寿命比較は実行できるだろう。

1.2.5 性能比較試験の結果について

製造会社の間における寿命の差について、前報では“各社ロープの寿命にはかなりの相違がある”と述べたにとどまり、それ以上具体的なことは示していない。寿命の比較をさらにくわしくするためには、データの統計的な処理と分析が必要である。このためにはワイヤロープ疲れ試験で得られる寿命データの確率密度関数の検討をはじめ、いろいろの統計量についての情報の把握がまず要求されるだろう。

1.2.6 P-N 線図による寿命データの検討

寿命のばらつきの程度をみるために、前報の各社比較試験データを、各試験条件ごとに一括して P-N

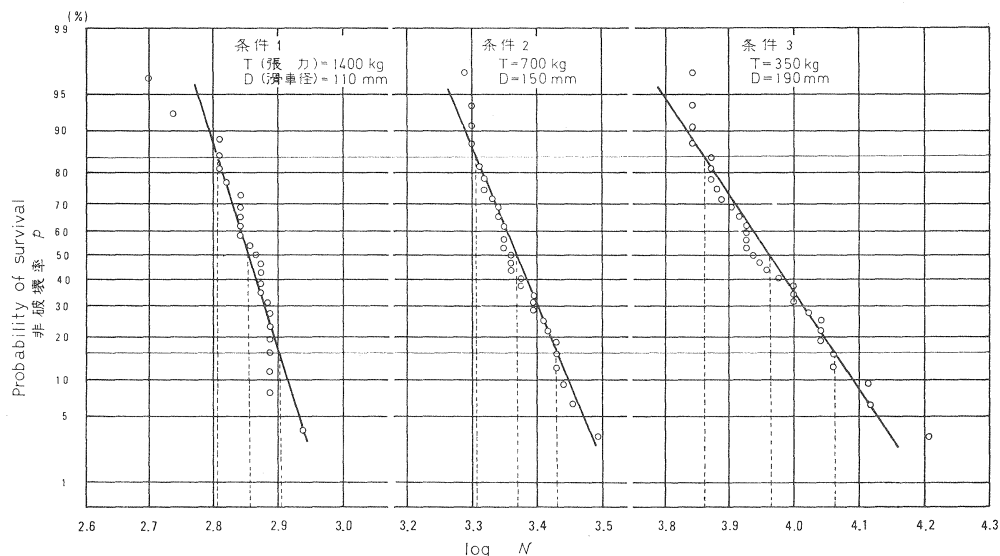


Fig. 5 前報のデータの P-N 曲線
P-N curve obtained by the previous experiment.

線図としたものが Fig. 5 である。ここでは寿命値の密度分布が対数正規分布であると仮定して、寿命値の対数を小さい方から並べて順序統計量とし、寿命の対数 $\log N$ における非破壊期待値である $p=1-m/(n+1)$ を求め、 $\log N$ と p の関係を正規確率紙にプロットしたものである。 m は順序、 n はサンプルの数を表わす。

Table 2. 寿命の推定値
 Estimated values of fatigue life

		$\log N$	(N)	s
条 件	1	2.857	(719)	80
Condition				
"	2	3.369	(2,339)	340
"	3	3.964	(9,141)	2,260

P-N 線図は、これが直線と見なされる場合は、寿命値の対数が正規分布することを示しており、その直線上から寿命中央値と標準偏差が推定できる。Fig. 5 から各条件ごとにその概略を読みとると Table 2 のとおりである。

1.3 今回の試験を進めるための基本的な考え方

前報における試験の結果とこれに対する検討を前節までに述べた。これらをもとにして今回の試験を進めるにあたっての基本的な考え方を決めた。すなわち疲れ試験の方法は前報に準じ、寿命の判定基準として1割断線を踏襲するが、残留強さの不ぞろいが生じることを予想し、一定回数 of の繰返し曲げを与えて残留強さを求める試験を追加した。供試ワイヤロープは広く使われている 6×19 裸 o/o 12 mm (JIS 3号) の実物試験とする。また製造会社ごとの性能比較試験を考慮して、サンプルを集めることとした。以下に項目ごとにまとめる。

(1) 対象とするワイヤロープ

実物試験とするために、国有林製品生産事業の集材架線に最も広く使われているワイヤロープの中から、6×19 12 mm を対象とした。これは前報の疲れ試験に用いたものと構成は同じであり、直径が異なる。今回の結果は直径が異なるワイヤロープのデータとして、前報の結果と比較することができると考えた。

(2) 試験するワイヤロープのサンプリング

製造会社ごとにそのワイヤロープの耐疲労性を比較し、さらに同一規格のワイヤロープとしてその寿命のばらつきの程度を知ることにも意図した。このため供試ワイヤロープは製造会社を考慮しながら、広く全国の集材作業現地に納入された新品ロープの中から集めることとした (2.2.2 参照)。

(3) 試験条件

疲れ試験における曲げの種類は、S 曲げとする。S-N 曲線の考え方にしたがって、ワイヤロープが受ける応力を考慮して、試験条件としてのワイヤロープ張力と滑車の径は1水準ずつ選び一つの試験条件とし、疲れ試験はすべてこの条件のもとで実行する。

(4) 寿命の判定基準

寿命に達したと判断する基準として、ワイヤロープの外観検査による素線の断線数をとることは、前述のように寿命に達した時の残留強さの不ぞろいが生じ、必ずしも最善の方法ではない。しかしここで相当数の疲れ試験を実行するにあたり、寿命を判定する適当な他の方法がなく、実際の使用にあたって目安とされている、「1よりの間において素線数の10分の1以上の切断」を根拠とした。6×19 構成のワイヤロープでは12本の素線断線が寿命の判定基準となる。

(5) 残留強さ

疲れ試験のうち寿命に達するまでの往復回数を求める寿命試験では、残留強さにばらつきが生じることは避けられない。これを補うために寿命試験と同一条件のもとで一定回数の繰返し曲げを与えて、この時点における残留強さを求める試験を寿命試験と別に並行して実施する。この一定回数は 10 mm ワイヤロープの試験結果から推定し、12 mm ワイヤロープの寿命値の 2/3 に近い点として 4,000 回とする。

(6) 製品検査など

寿命に影響を及ぼす要因を探索するために、供試ワイヤロープについて前報と同様の測定・計測を実施し、疲れ試験の結果と対照しながら関連を検討することとする。

2. 試験方法

2.1 試験装置

疲れ試験機は前報で用いた S 曲げ疲れ試験機と同一型式のものを新たに製作してこれを使用した。おもな諸元はつぎのとおりである。

駆動装置 往復回数 35 回/分, 平均速度 1.2 m/sec

張力負荷装置 緊張滑車を 3 車 3 車の 1 組の引締滑車で引き締め、供試ロープに張力を与える。負荷は重錘による。

S 曲げ装置 今回の試験には ピッチダイア 190 mm (溝底半径 89 mm, 溝底曲率半径 6.6 mm) の滑車を 3 個用いて、滑車間隔 180 mm の S 曲げを構成した。

2.2 試験の方法

2.2.1 試験・検査項目とその方法

① 疲れ試験 ワイヤロープ張力 350 kg, 滑車径 190 mm の S 曲げ試験を行う。繰返し曲げ回数 (往復回数で表わす), ワイヤロープ直径の変化, 伸び率, 素線断線の発生経過を測定する。

①-1 寿命試験 1 割断線 すなわち 12 本の素線断線が生じるまでの往復回数を求める。2,000 回までは連続運転し以後 500 回ごとに計測。寿命に近づいた時にはさらに小さな間隔で試験機の運転を停止し計測する。

①-2 4,000 回往復試験 4,000 回往復の曲げを与える。2,000 回までは連続運転し, 以後は 500 回ごとに計測する。4,000 回往復した後に残留強さを測定する。

② ワイヤロープ破断試験 新品のワイヤロープと上記 ①-1, ①-2 の疲れ試験を終了したワイヤロープの破断強さを測定する。試料の長さは 120 ± 3 cm とする。新品の場合には 2 本の試料について測定する。破断試験の記録は引張試験機 (森試験機製 62-B 油圧

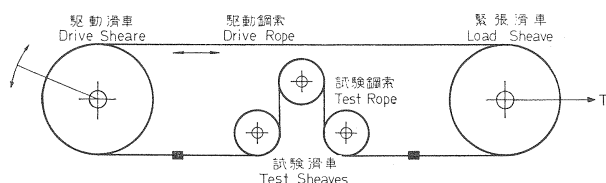


Fig. 6 疲れ試験機

Schematic of the wire rope fatigue testing machine.

③ 外観検査 試料として集めたワイヤロープのすべてについて、平

型引張試験機, 最大容量 50 ton) の荷重一伸び曲線の記録装置による。

平坦な床に伸ばした状態で、つぎのような欠点の有無とその程度を調べる。

③-4 ねり ねり、ストランド・素線の飛び出しと落ち込み、形崩れ、よりきず、錆。

④ 製品検査

④-1 ワイヤロープ直径 無負荷および 350 kg の負荷を与えた状態で直径を測定する。

④-2 よりの長さ 試料の任意の位置で 10 より長さを測定し、平均値としてよりの長さを求める。

④-3 型付率 ワイヤロープからストランドをはずし、定盤の上でストランドのうねり高さを測定し、(うねり高さ)/(ロープ直径)の値を求める。

④-4 心綱 直径の測定、心綱を構成する繊維の種類の確認、番手総数の推定、心綱に入っている紙テープの確認をする。

⑤ 素線検査 試料のワイヤロープから任意の 1 ストランドを取って、その素線の全数についてつぎの検査をする。

⑤-1 素線の直径 心線・内層線・外層線の直径を測定。

⑤-2 表面はだ 実体顕微鏡の×10 視野の中で、素線の表面のダイスマークの有無と平滑さを調べる。

⑤-3 切断荷重 引張試験機によって各素線の切断荷重を測定し、抗張力・絞り率を計算する。

⑤-4 捻回値 捻回試験機により測定する。

⑥ 金属組織検査 素線検査に選んだ 1 ストランドの素線 19 本について、縦断面の検鏡資料を作製し、素線表面直下にみられる脱炭の程度を調べる。

また試験の実施にあたって、つぎの点については特に注意を払った。

(1) S 曲げ装置を 2 台使用して、2 本の供試ワイヤロープを同時に試験する時には、同じ製造会社のものとする。

(2) S 曲げ装置の 3 箇の滑車の溝面は、火炎焼入れを施して硬度 Hr 50 程度としたものを使用する。使用の途中で縄目の凹凸が少しでもみられた時はすぐに新しい滑車と交換する。

(3) 滑車軸受のボールベアリングは、6 か月で交換することを原則とし、途中でも異状が生じた時にはすぐに交換する。

(4) S 曲げ装置の滑車の溝面にはロープ油が付着するが、この油は供試ワイヤロープを交換する度に完全にとりのぞく。

(5) 疲れ試験の間にワイヤロープの表面に砂など他の異物が付着すること、およびロープ油を故意に除去することをさける。

(6) 素線検査のうち表面はだの検査および金属組織検査の脱炭の程度の検査にあたっては、あらかじめ用意した 5 段階の標準写真と対照させてランクづけをする。脱炭の検査は鏡面仕上げの後、ピクリン酸 5 % アルコール溶液による腐触処理をする。

2.2.2 供試ワイヤロープ

供試ワイヤロープの入手にあたっては、国有林野製品生産事業への納入実績があるワイヤロープメーカーを対象とした。これらのメーカー 10 社（すべて JIS 規格認可工場）が混じるようにサンプリングをし、2 年間で 1 サイクルとして 3 回にわたって一連の試験をくり返した。この過程で入手が困難となった試料の一部については、メーカーから直接購入したワイヤロープも含めた。

Table 3. 試 験 結 果
Result showing fatigue life and other

試 料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test				4,000 回 往 復 試 験 4,000 cycles fatigue test				新 線 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg·m/m)	断 線 数 of broken wires (本)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)
1-3A-1	5,000	0.91	5.35	4.5	3 (0)	0.73	8.00	15.3	8.39
2	4,000	0.59	5.03	4.0	24 (1)	0.59	5.20	3.8	8.69
3	3,500	0.68	6.97	7.9	3 (3)	0.59	5.85	5.0	8.30
4	4,500	0.73	5.86	4.6	10 (1)	0.68	6.01	5.9	8.34
5	4,300	0.68	5.95	5.5	2 (0)	0.77	7.18	9.7	8.37
6	7,000	0.64	7.15	10.3	0 (0)	0.45	8.77	23.9	8.78
7	5,550	0.68	6.77	8.0	0 (0)	0.55	8.53	20.6	8.60
8	7,100	0.64	7.11	9.1	0 (0)	0.50	8.44	20.5	8.55
9	4,600	0.68	6.54	7.5	19 (4)	0.59	5.14	3.9	8.31
10	7,300	0.77	6.87	7.6	0 (0)	0.50	8.47	18.7	8.68
11	5,400	0.73	7.15	9.9	2 (0)	0.68	8.16	15.7	8.63
12	6,700	0.64	6.72	8.7	0 (0)	0.45	8.59	21.7	8.59
13	5,750	0.82	5.89	5.8	0 (0)	0.55	8.15	15.3	8.66
15	4,700	0.95	7.10	8.9	1 (0)	0.86	8.15	15.7	8.64
2-3A-1	5,400	0.32	6.72	8.2	9 (4)	0.23	7.31	11.2	8.59
2	5,000	0.41	6.40	7.0	0 (0)	0.41	7.22	10.4	8.17
3	5,400	0.55	7.03	10.4	1 (0)	0.45	8.18	17.5	8.28
4	6,000	0.55	6.53	7.0	1 (0)	0.55	7.93	14.6	8.21
5	7,200	0.55	6.78	9.8	1 (1)	0.41	8.32	19.0	8.43
6	7,600	0.59	6.37	7.6	4 (1)	0.41	7.88	17.0	8.37
7	5,900	0.55	6.99	9.1	0 (0)	0.45	8.32	18.6	8.48
8	5,800	0.77	6.70	8.5	0 (0)	0.59	8.11	15.4	8.34
1-3B-2	7,050	0.36	7.29	8.9	2 (1)	0.32	8.69	17.7	8.71
7	5,050	0.41	6.85	7.7	2 (1)	0.32	8.08	14.5	8.95
8	5,400	0.32	7.20	9.6	2 (2)	0.27	8.52	15.5	9.14
9	5,300	0.32	7.42	11.0	3 (0)	0.27	8.07	14.9	9.06
10	5,100	0.41	7.13	9.7	7 (2)	0.27	7.37	9.8	8.78
12	4,250	0.36	7.35	8.6	11 (11)	0.32	7.40	9.7	8.71
13	5,600	0.41	7.01	8.6	9 (7)	0.36	7.55	11.0	9.07
14	4,800	0.32	7.24	9.5	4 (2)	0.27	7.68	10.7	8.99
15	5,200	0.32	7.26	8.8	2 (1)	0.23	8.33	14.0	9.14
2-3B-1	5,150	0.55	6.84	10.5	7 (2)	0.36	7.10	12.8	8.26
2	4,400	0.45	6.67	10.9	11 (3)	0.45	7.10	12.6	8.26
3	3,400	0.36	6.19	8.5	4 (0)	0.23	7.55	14.7	8.17
4	5,750	0.68	7.04	12.0	5 (3)	0.55	7.49	14.4	8.21
5	6,550	0.59	6.69	10.2	11 (4)	0.29	6.76	10.5	8.21
6	4,600	0.55	6.52	9.2	8 (2)	0.36	6.62	10.0	8.20
7	4,500	0.50	6.61	9.8	14 (9)	0.36	6.14	8.0	8.26
8	3,900	0.45	6.91	11.8	9 (4)	0.36	7.18	11.3	8.30
9	5,200	0.55	6.97	11.7	10 (7)	0.32	7.08	11.9	8.24
10	4,100	0.55	6.55	8.7	10 (6)	0.45	6.68	10.0	8.18
1-3C-1	4,500	0.59	5.73	5.9	2 (1)	0.50	7.12	10.3	8.16
2	4,800	0.68	6.03	6.6	3 (1)	0.59	7.46	12.6	8.19

(デ ー タ I)

measured values (Data I)

品 切 断 試 験 rope tensile test		製 品 検 査 Wire rope inspection															
の び 率 Elonga- tion (%)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg・m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピ ッ チ Wire rope pitch (mm)	型 付 率 Preform- ing per- centage (%)	外層線の径 Diameter of outlayer (mm)	内層線の 増 径 率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱 炭 Decarburization					表面あらさ Roughness of wire surface					
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	
5.17	27.9	13.00	78.3	87.9	0.780	0.26					2	17	10	7	1	1	
4.77	27.5	12.71	79.3	90.2	0.788	0.0	14	2	1	2			15	2	1	1	
4.75	27.0	12.66	78.2	82.4	0.788	- 2.92					6	13	6	11	2		
4.83	28.0	12.60	78.1	83.7	0.779	- 0.26						19	1	13	5		
5.01	27.3	12.85	78.3	88.0	0.777	0.39				2	9	8	4	10	4	1	
4.84	25.8	12.73	78.0	92.9	0.787	- 0.38	4	7	6	2			13	6			
4.75	24.3	12.86	78.2	94.6	0.779	0.90	4	9	4	2			16	2	1		
4.70	23.9	12.88	78.1	94.5	0.780	0.64	4	12	1	2			6	7	4	2	
4.31	22.1	12.73	77.3	83.6	0.780	1.79	5	10	2			2	7	3	3	3	3
5.02	27.5	12.79	78.1	95.2	0.786	0.25	3	8	4	3	1	1	6	8	4		
4.75	25.4	12.78	78.7	95.4	0.778	0.90	1	11	4	3				6	9	3	1
4.89	25.7	12.85	77.7	94.1	0.784	0.0	6	7	3	2	1			8	9	2	
4.79	25.6	12.81	79.3	95.2	0.785	0.89	1	11	4	2	1			9	6	4	
4.98	27.0	12.77	77.3	93.7	0.787	- 1.14	10	9						17	2		
4.69	26.6	12.60	77.3	89.0	0.809	- 0.37				6	8	5		18	1		
4.61	24.2	12.75	78.8	89.0	0.808	1.24				7	4	8		19			
4.25	21.0	12.48	76.8	91.1	0.791	- 0.38		11	7	1				18	1		
4.09	20.0	12.40	76.4	92.1	0.786	0.51	1	8	10					14	5		
4.34	21.1	12.61	76.9	93.1	0.789	- 1.27			10	9				15	4		
4.48	22.7	12.61	76.7	89.5	0.787	0.0			9	9	1			16	3		
4.09	20.6	12.59	76.3	89.8	0.785	0.89	1	6	12					13	3	3	
4.18	19.1	12.76	77.1	91.1	0.787	0.38		10	8	1				19			
3.68	18.5	12.46	79.2	90.1	0.793	0.63	17	1			1			8	5	2	4
4.17	22.8	12.50	79.2	91.4	0.789	0.63	13	5	1					2	6	10	1
4.04	22.5	12.45	79.0	90.9	0.793	0.25	14	4	1					5	11	2	1
4.19	23.6	12.41	78.9	91.1	0.794	0.25	9	10						2	11	5	1
4.09	22.0	12.45	78.8	92.0	0.790	0.25	7	10	2					1	5	7	4
3.40	16.7	12.51	79.3	91.4	0.792	0.13	11	7	1					12	3	3	1
4.53	24.8	12.45	78.8	89.2	0.792	- 0.25	13	5	1					5	2	6	5
3.90	21.6	12.32	78.7	87.0	0.794	0.13	14	5						10	4	1	4
3.83	19.7	12.38	79.5	89.8	0.794	0.14	12	7						7	8	2	2
5.33	28.2	12.52	69.6	89.8	0.796	0.50	11	8						13	6		
5.46	29.1	12.54	69.5	90.8	0.802	- 0.87	16	3						19			
4.94	26.2	12.35	69.6	89.5	0.798	0.50	10	7	2					19			
5.54	29.0	12.55	70.3	88.0	0.788	1.52	12	6	1					7	10	2	
5.77	31.0	12.56	69.7	89.3	0.805	- 0.62	12	6	1					12	7		
5.33	27.3	12.53	69.7	89.1	0.802	- 1.12	3	14	2					13	6		
5.25	27.5	12.46	68.8	84.8	0.795	- 0.25	4	15						18	1		
5.37	28.8	12.44	69.0	86.7	0.798	0.0	3	16						15	3	1	
5.28	27.5	12.52	69.5	87.0	0.801	- 0.75	8	10	1					16	3		
5.06	26.0	12.50	69.7	88.4	0.795	0.0	2	17						19			
4.27	23.3	12.69	79.4	91.3	0.786	0.89	7	4	4			4	10	8	1		
4.75	25.8	12.87	79.4	90.1	0.791	0.0	7	3			1	8	17	1	1		

Table 3. (つづき) (Continued)

試料 Sample	寿命試験 Fatigue life test				4,000回往復試験 4,000 cycles fatigue test				新 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	断線数 Number of broken wires (本)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)
1-3C-3	5,400	0.68	6.35	7.5	2 (0)	0.59	6.92	9.2	8.18
4	4,250	0.73	6.08	6.2	6 (0)	0.59	7.40	12.9	8.18
5	5,350	0.73	6.30	7.6	7 (0)	0.64	6.65	8.5	8.15
6	5,100	0.64	6.58	7.8	7 (1)	0.59	6.48	7.8	8.18
7	6,000	0.77	5.40	4.5	1 (0)	0.50	7.49	13.2	8.12
8	4,850	0.50	6.13	7.2	6 (2)	0.41	6.96	9.7	8.12
9	6,000	0.45	5.95	6.4	3 (3)	0.41	7.54	14.8	8.11
10	5,600	0.45	6.74	9.6	1 (0)	0.32	7.49	14.2	8.07
11	5,600	0.41	5.90	5.8	8 (2)	0.45	6.85	9.9	8.05
12	6,700	0.59	6.50	8.8	6 (2)	0.55	6.91	10.4	7.99
13	4,550	0.59	6.42	8.9	5 (0)	0.55	6.90	11.5	7.95
17	4,750	0.68	6.35	8.1	11 (1)	0.50	6.23	7.6	7.93
2-3C-1	5,300	0.59	6.20	7.9	4 (0)	0.64	6.58	8.5	8.19
2	4,000	0.73	5.81	5.4	12 (1)	0.59	6.24	7.2	8.07
3	4,550	0.68	6.02	7.3	3 (0)	0.55	6.57	8.0	8.07
1-3D-1	5,550	0.64	6.54	7.8	5 (0)	0.64	7.58	13.9	7.98
2	6,300	0.73	6.56	7.7	1 (1)	0.64	7.92	17.6	8.28
3	5,200	0.45	6.04	6.5	6 (2)	0.41	7.22	12.5	8.22
4	6,000	0.50	7.00	10.5	3 (2)	0.45	7.62	15.0	8.22
5	3,900	0.50	7.04	11.9	5 (1)	0.50	7.42	14.3	8.07
6	4,200	0.64	6.92	9.5	9 (3)	0.73	7.25	11.6	8.21
7	5,700	0.54	6.15	7.7	2 (0)	0.50	7.83	18.9	8.03
8	6,600	0.50	5.76	5.1	0 (0)	0.36	8.00	17.6	8.30
2-3D-1	4,650	0.36	6.96	9.6	3 (3)	0.45	7.49	11.8	8.44
2	4,050	0.36	6.41	6.6	2 (1)	0.32	6.95	7.6	8.41
3	3,900	0.50	6.05	5.9	4 (2)	0.41	6.87	8.4	8.48
1-3E-1	5,250	0.45	6.88	8.5	1 (1)	0.36	7.78	10.9	8.69
2-3E-1	6,050	0.50	6.10	6.3	3 (2)	0.41	7.91	14.5	8.44
2	4,850	0.45	6.55	7.5	1 (1)	0.45	8.04	13.7	8.54
3	5,350	0.55	6.11	5.9	3 (2)	0.41	7.70	12.4	8.41
4	4,900	0.55	6.36	6.2	1 (1)	0.45	7.95	12.6	8.54
1-3F-1	3,950	0.18	7.61	11.1	1 (0)	0.18	8.31	16.9	8.74
2	4,600	0.23	7.43	11.7	8 (2)	0.14	7.80	12.6	8.75
3	6,000	0.27	7.21	9.0	2 (0)	0.18	8.62	20.7	8.82
4	4,000	0.41	6.00	6.1	3 (2)	0.27	8.20	15.3	8.82
5	5,500	0.32	7.10	7.9	6 (2)	0.27	7.93	13.0	8.76
6	5,200	0.36	6.93	7.9	8 (2)	0.23	7.50	9.5	8.88
7	5,000	0.59	6.15	5.5	1 (1)	0.45	8.57	14.4	9.13
8	4,550	0.45	6.69	8.6	8 (6)	0.54	7.37	9.8	8.57
9	4,800	0.27	7.54	13.3	7 (1)	0.23	7.53	14.5	8.53
10	5,050	0.64	6.41	7.3	4 (0)	0.68	6.89	9.0	8.17
11	5,100	0.36	6.75	9.4	4 (1)	0.41	7.81	15.8	7.73
12	6,100	0.32	7.37	11.2	1 (1)	0.41	8.29	15.9	8.06
13	4,500	0.27	6.99	11.9	8 (0)	0.27	7.21	12.8	8.40
14	5,750	0.41	6.89	9.8	3 (0)	0.27	7.83	15.2	7.96

品 切 断 試 験 rope tensile test		製 品 検 査 Wire rope inspection														
の び 率 Elonga- tion (%)	切断エネ ルギ breaking energy (kg・m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピ ッ チ Wire rope pitch (mm)	型 付 率 Preform- ing per- centage (%)	外層線の径 Diameter of outlayer (mm)	内層線の 増 径 率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱 炭 Decarburization					表面あらさ Roughness of wire surface				
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
4.88	25.3	12.74	78.4	91.0	0.788	－ 0.25	15	4				3	13	1	1	1
4.88	25.9	12.69	78.3	90.7	0.795	0.25	7	6	4	2		5	3	5	6	
4.83	24.6	13.04	77.6	93.6	0.799	0.50	12	7				10	9			
4.84	25.0	12.90	78.1	90.5	0.797	－ 0.63	11	8				11	7	1		
4.99	26.2	12.81	78.7	91.0	0.793	－ 0.13	13	5	1			2	12	3	2	
4.70	25.0	12.64	78.7	92.3	0.805	－ 2.24	6	12	1			5	8	6		
4.63	24.6	12.71	78.7	92.4	0.795	－ 0.25	16	2	1			7	11	1		
4.55	23.9	12.56	78.4	92.0	0.796	0.0	12	6	1			2	13	4		
4.51	23.5	12.51	78.2	95.4	0.792	0.63	9	9	1			7	4	5	3	
5.11	26.2	12.82	78.4	95.5	0.786	0.25	11	8				16	3			
4.78	23.9	12.91	78.5	94.5	0.798	－ 1.75	11	7	1			15	4			
4.21	20.5	12.64	79.1	91.8	0.785	－ 0.13	8	8	3			1	13	5		
4.88	25.0	13.12	80.2	87.8	0.788	1.02		15	3	1			17	2		
4.98	26.2	12.80	79.2	94.1	0.790	－ 0.51	4	15					19			
5.04	26.5	12.71	78.1	92.3	0.788	－ 0.64	7	12					7		12	
3.84	18.7	12.87	80.6	89.9	0.810	0.37	16	3				2	11	4	1	1
4.85	26.1	12.84	79.8	88.8	0.807	0.37	15	4				7	11	1		
4.82	25.6	12.65	79.3	90.9	0.810	0.25	11	8				7	9	1	2	
4.68	25.1	12.92	79.6	88.0	0.809	0.49	13	5	1			8	9	2		
4.75	25.2	12.89	78.7	88.9	0.807	－ 0.25	14	5				16	3			
4.69	25.1	12.90	79.3	89.7	0.810	0.0	16	3				11	8			
4.66	24.3	12.81	78.9	89.1	0.802	0.59	15	4				9	10			
4.55	24.9	12.71	79.3	85.9	0.802	0.37	12	7				13	6			
5.01	28.2	12.76	79.1	89.2	0.809	－ 0.12	14	2	3				15	4		
4.29	24.0	12.43	81.3	86.1	0.800	0.13	8	10	1				17	2		
4.44	24.1	12.67	81.8	88.9	0.799	0.25		15	4				17	2		
4.19	23.1	12.58	82.4	94.0	0.797	－ 0.88	6	7	6				6	12	1	
4.12	21.6	12.81	83.4	93.1	0.812	－ 1.72		12	5	2			11	3	2	3
4.22	22.4	12.78	84.3	93.9	0.803	1.87		6	12	1			12	4	3	
4.14	21.6	12.71	83.7	94.3	0.806	1.12		15	4				12	3	3	1
4.09	21.4	12.71	83.8	93.5	0.797	0.25		10	8	1			16	3		
4.30	24.7	12.36	82.2	91.5	0.789	－ 0.25	11	7	1				5	6	5	3
4.29	24.9	12.30	82.0	92.0	0.801	－ 1.75	10	7	2				5	3	5	6
4.38	25.5	12.34	82.5	92.4	0.799	－ 1.65	9	6	3	1		1	4	8	2	4
4.72	27.9	12.68	83.2	86.8	0.791	－ 0.25	4	4	6	2	3	1	6	4	3	5
4.20	23.7	12.52	82.6	90.9	0.792	－ 0.13	7	9	2		1	1	1	6	9	2
4.33	25.4	12.51	83.1	86.8	0.788	0.63	11	7		1		1	1	8	3	6
4.50	26.1	12.62	83.4	91.2	0.788	－ 0.38	17	1		1		1	2	4	10	2
4.75	24.9	12.77	82.1	90.4	0.788	－ 0.38	7	6	4	2			1		7	11
4.67	26.9	12.56	80.4	93.7	0.802	0.25	11	7	1			1	1	7	8	2
4.21	21.2	12.92	80.9	93.0	0.795	0.13	4	6	6	3		13	6			
3.56	16.1	12.62	81.1	94.5	0.799	－ 0.13	3	5	6	4	1	12	6		1	
3.21	14.8	12.39	80.2	90.7	0.785	1.02	2	11	6			12	4	3		
4.45	24.7	12.46	77.8	93.2	0.799	－ 0.13	8	11				1	4	12	2	
3.83	19.2	12.44	75.7	92.2	0.801	1.00	10	9				1	2	3	13	

Table 3. (つづき) (Continued)

試料 Sample	寿命試験 Fatigue life test				4,000 回往復試験 4,000 cycles fatigue test				新 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^8$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	断線数 Number of broken wires (本)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^8$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^8$ kg)
1-3F-15	4,700	0.23	6.88	10.9	11 (0)	0.32	6.97	10.6	8.45
17	3,550	0.68	5.88	5.4	9 (0)	0.64	4.99	4.4	8.42
2-3F-1	5,450	0.59	6.64	8.1	0 (0)	0.45	8.18	16.8	8.51
2	7,550	0.45	7.23	10.5	1 (0)	0.36	7.79	13.3	8.31
1-3G-1	4,800	0.55	6.85	8.6	6 (6)	0.45	7.43	11.3	8.45
15	6,050	0.45	7.30	11.3	4 (1)	0.37	7.90	13.7	8.65
16	6,000	0.68	6.32	7.2	0 (0)	0.45	8.21	17.1	8.40
17	6,500	0.59	5.23	4.3	4 (4)	0.50	7.22	11.3	8.38
18	5,800	0.55	5.52	4.8	0 (0)	0.59	8.02	15.2	8.37
2-3G-1	6,800	0.50	6.18	7.1	3 (1)	0.27	7.36	13.3	7.74
2	6,900	0.68	5.52	14.1	3 (3)	0.55	7.26	11.5	8.11
3	4,550	0.36	6.37	8.8	7 (5)	0.32	7.16	12.2	8.04
4	4,900	0.45	6.06	8.0	3 (1)	0.50	7.47	13.6	8.05
5	5,500	0.59	5.71	6.3	3 (2)	0.45	7.34	12.8	7.97
6	5,950	0.68	6.47	7.5	1 (1)	0.55	7.48	11.8	8.08
7	5,800	0.50	6.32	7.2	4 (2)	0.41	7.62	12.8	8.24
1-3H-1	4,800	0.59	6.63	6.8	3 (3)	0.50	8.05	15.6	8.56
2	6,500	0.82	7.27	9.8	3 (3)	0.59	8.33	18.3	8.58
3	5,500	0.59	6.40	7.3	2 (2)	0.50	8.21	17.0	8.59
4	5,500	0.45	7.51	11.1	2 (2)	0.41	8.41	19.2	8.55
5	5,750	0.55	5.71	5.5	6 (6)	0.55	7.56	11.4	8.55
8	4,650	0.32	6.92	9.3	4 (4)	0.41	7.55	12.0	8.55
11	7,300	0.36	6.26	6.6	4 (0)	0.32	7.80	15.7	8.33
12	5,350	0.32	6.22	6.6	1 (0)	0.23	7.74	14.9	8.32
13	4,700	0.32	6.32	8.0	5 (5)	0.23	7.79	14.1	8.34
14	4,800	0.32	6.35	7.0	0 (0)	0.36	7.78	13.6	8.46
2-3H-1	5,400	0.45	5.16	4.6	10 (3)	0.36	6.16	5.7	8.20
2	4,550	0.41	5.71	5.9	3 (3)	0.27	6.86	9.7	8.14
3	5,700	0.41	6.10	4.9	0 (0)	0.36	8.13	14.4	8.42
1-3I-1	4,000	0.45	6.92	8.9	9 (0)	0.36	7.30	11.3	8.38
2	4,100	0.55	7.34	11.1	3 (0)	0.50	7.45	11.4	8.42
3	5,000	0.50	7.04	9.3	2 (0)	0.50	7.78	13.1	8.50
2-3I-1	5,150	0.45	6.59	9.5	8 (0)	0.50	6.96	10.9	8.15
2	4,300	0.41	6.70	8.9	6 (0)	0.36	7.35	13.4	8.04
1-3J-1	3,550	0.32	6.63	9.7	9 (3)	0.23	6.95	11.5	8.23
2	3,800	0.32	6.46	9.2	21 (8)	0.23	5.97	8.0	8.01
3	3,700	0.27	6.70	9.8	10 (3)	0.27	6.57	9.8	8.10
4	4,400	0.41	6.47	9.4	11 (7)	0.36	6.88	10.7	7.98
5	5,200	0.55	6.21	8.1	6 (1)	0.41	6.89	10.5	8.11
6	5,200	0.32	6.63	9.8	9 (4)	0.27	6.63	9.7	8.04
7	5,600	0.50	6.45	8.4	5 (2)	0.27	6.98	11.4	8.09
8	4,100	0.36	6.37	8.3	16 (7)	0.32	5.87	7.0	8.03
3-3J-1	5,200	0.36	7.05	11.1	7 (4)	0.36	7.18	12.1	8.18
2	5,050	0.45	6.72	9.0	5 (3)	0.36	7.45	12.5	8.27
3	4,600	0.59	6.75	8.4	18 (16)	0.59	6.59	8.2	8.34

品 切 断 試 験 rope tensile test		製 品 検 査 Wire rope inspection														
の び 率 Elonga- tion (%)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピ ッ チ Wire rope pitch (mm)	型 付 率 Preform- ing per- centage (%)	外層線の径 Diameter of outlayer (mm)	内層線の 増 径 率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱 炭 Decarburization					表面あらさ Roughness of wire surface				
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
4.73	27.1	12.35	80.2	92.8	0.800	— 0.13	8	10	1			1		6	12	
4.88	26.1	13.14	82.2	91.9	0.795	— 0.13	1	7	7	4		10	8	1		
5.93	26.7	12.75	80.8	91.9	0.793	0.13		11	7	1			12	4	3	
3.84	19.1	12.40	80.0	89.8	0.781	1.15		11	8				9	3	2	5
4.60	24.7	12.96	78.7	91.8	0.802	0.0	4	13	2			3	15	1		
4.42	23.7	12.67	78.4	86.1	0.796	0.0	8	11				9	9	1		
4.37	22.0	12.77	78.1	86.3	0.795	— 2.14	8	10	1			15	3	1		
4.42	23.0	12.73	77.3	86.7	0.775	2.45	6	10	3			7	12			
4.34	22.3	12.89	78.2	91.2	0.785	— 0.26	4	14	1				18	1		
3.65	16.0	12.70	77.8	90.1	0.776	0.0		15	4				13	6		
4.33	20.7	12.77	77.7	85.9	0.774	0.78	14	5					12	5	2	
4.32	21.1	12.36	77.3	88.1	0.775	0.26	4	10	4	1			5	13	1	
4.34	20.7	12.57	78.0	92.2	0.780	— 0.51	3	16					6	4	8	1
4.24	20.3	12.66	77.3	90.2	0.775	0.0	1	17	1				5	14		
4.21	20.4	12.64	78.4	86.0	0.770	1.56	6	13					10	9		
4.07	20.4	12.69	78.5	85.6	0.778	— 0.39	4	15					8	11		
4.65	25.0	12.85	79.5	94.8	0.808	— 0.62	14	5				6	13			
4.96	26.9	12.95	78.6	92.2	0.800	— 0.25	16	3				3	16			
4.73	25.8	12.94	79.6	92.0	0.804	0.12	17	2					17	2		
4.29	23.2	12.96	79.7	89.4	0.797	0.75	18	1				3	15	1		
4.51	23.9	13.03	79.8	90.5	0.798	— 0.13	6	9	4			19				
4.55	25.0	12.82	79.7	93.1	0.799	— 0.13	12	7				19				
4.17	23.0	12.44	80.8	89.5	0.808	— 0.62	11	6	2			2	10	4	3	
4.16	22.3	12.52	80.8	91.1	0.809	— 0.74	9	8	2			3	10	4	2	
4.32	24.0	12.43	80.8	89.9	0.812	— 0.25	7	9	3			15	4			
4.26	24.1	12.51	80.8	91.3	0.809	— 0.37	6	9	4			7	9	1	2	
4.23	23.2	12.55	80.5	85.3	0.795	1.01	1	10	8				9	7	3	
4.50	24.8	12.38	80.8	87.9	0.793	0.13	1	15	3				9	8	2	
4.12	21.7	12.71	80.6	91.3	0.804	0.0	7	12					16	1	1	1
4.01	20.2	12.63	77.2	92.6	0.809	0.0	13	5	1			18	1			
4.12	21.0	12.74	76.8	91.8	0.809	0.12	9	8	2			18	1			
4.08	21.2	12.74	77.6	91.5	0.808	0.25	8	10	1			18	1			
4.73	24.1	12.89	77.9	95.4	0.805	— 0.25	11	8				4	15			
4.42	22.0	12.62	78.2	96.8	0.803	0.12	18	1					15	4		
4.48	23.9	12.48	78.5	89.6	0.799	0.38	12	5	1	1		1	7	10	1	
4.42	22.9	12.73	78.0	93.9	0.809	— 0.25	6	13					11	7	1	
4.26	23.0	12.42	77.9	90.5	0.801	0.12	4	10	1	4		3	11	4	1	
4.41	22.6	12.56	78.4	89.4	0.799	0.63	5	10	3	1		2	17			
4.30	22.2	12.73	78.4	88.1	0.810	— 0.62	2	8	7	2		2	17			
4.39	23.1	12.54	78.0	89.0	0.802	0.12	5	9	2	3		3	13	3		
4.66	25.2	12.62	78.4	89.7	0.802	0.25	5	9	4	1		15	4			
4.54	24.0	12.68	78.1	88.6	0.786	0.37	6	7	3	2	1	1	15	3		
4.15	20.9	12.41	78.1	92.7	0.793	0.88		11	5	3			19			
4.20	20.5	12.69	79.2	92.5	0.793	0.13		19					14	5		
4.48	22.8	12.93	77.5	87.9	0.800	— 0.38		11	8				9	10		

Table 4. 試 験 結 果
Results showing fatigue life and other

試 料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test				4,000 回 往 復 試 験 4,000 cycles fatigue test				新 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg·m/m)	断 線 数 Number of broken wires (本)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)
2-3A-9	6,000	0.41	6.65	7.5	0 (0)	0.36	8.18	16.1	8.49
10	6,400	0.45	6.28	7.7	4 (4)	0.32	7.88	13.2	8.50
11	7,500	0.59	3.40	2.2	1 (1)	0.41	9.15	22.1	9.29
13	6,400	0.36	2.44	1.0	0 (0)	0.32	8.02	16.5	8.38
14	8,000	0.77	2.18	1.2	2 (2)	0.55	7.78	12.5	8.65
15	6,000	0.55	5.16	3.8	0 (0)	0.50	7.92	13.3	8.67
16	8,400	0.64	1.74	0.8	0 (0)	0.41	8.58	15.3	9.01
17	8,400	0.50	1.48	0.6	0 (0)	0.36	8.22	12.5	9.02
18	6,700	0.41	6.30	6.3	0 (0)	0.41	8.58	17.0	8.94
19	8,100	0.59	3.20	1.8	0 (0)	0.45	8.80	18.5	9.14
20	8,000	0.32	2.93	1.5	2 (2)	0.32	6.70	6.4	8.74
3-3A-1	5,140	0.36	6.62	7.6	3 (3)	0.36	7.90	14.3	8.48
3	6,700	0.68	4.02	3.3	3 (3)	0.55	7.91	13.7	8.67
4	6,850	0.45	4.46	3.2	1 (1)	0.41	7.74	14.6	8.41
5	6,300	0.41	4.18	2.9	1 (1)	0.41	6.65	6.9	8.55
6	5,650	0.41	3.50	1.7	7 (7)	0.32	7.20	9.4	8.74
1-3B-3	5,800	0.41	6.05	5.9	4 (4)	0.36	8.12	12.7	9.01
4	5,300	0.27	6.75	7.4	4 (4)	0.27	8.00	11.4	9.16
5	4,450	0.32	7.20	8.8	5 (5)	0.23	7.37	11.8	8.76
6	6,000	0.36	6.80	8.6	0 (0)	0.32	8.37	1.3	8.71
16	4,900	0.27	6.89	7.5	8 (8)	0.23	8.00	13.2	9.09
17	4,550	0.32	7.03	8.0	2 (1)	0.32	7.88	12.6	9.13
18	4,500	0.32	7.77	11.2	8 (8)	0.32	7.21	9.6	9.09
19	5,150	0.32	7.93	7.0	2 (2)	0.41	8.72	14.0	9.29
2-3B-11	5,750	0.45	6.10	7.4	3 (3)	0.36	7.10	11.3	8.29
12	5,500	0.50	5.80	6.3	3 (3)	0.45	7.18	11.2	8.28
13	4,500	0.50	6.10	7.4	3 (3)	0.45	6.90	10.2	8.30
14	5,300	0.55	5.60	4.8	1 (1)	0.41	7.27	12.4	8.26
15	5,550	0.36	5.94	6.4	7 (7)	0.32	6.80	8.9	8.31
3-3B-1	6,200	0.50	5.34	4.4	7 (2)	0.23	7.06	10.0	8.52
2	4,670	0.55	5.84	6.6	9 (8)	0.77	5.52	5.3	8.51
3	4,700	0.59	5.54	6.6	8 (8)	0.59	6.63	9.6	8.35
4	5,150	0.77	4.82	4.4	5 (5)	0.82	5.76	6.7	8.42
5	4,230	0.73	5.82	5.0	5 (5)	0.45	6.50	8.6	8.27
2-3C-4	8,500	1.14	2.81	1.9	0 (0)	0.86	6.29	7.4	8.03
5	6,800	1.00	3.26	1.3	0 (0)	0.82	6.86	8.8	7.97
6	8,400	1.23	2.90	2.3	0 (0)	0.82	6.62	8.6	7.73
7	8,500	0.77	2.48	1.4	1 (0)	0.73	7.97	16.3	8.22
8	6,500	0.55	3.24	1.8	1 (1)	0.50	6.13	6.9	7.74

(デ ー タ II)

measured values (Data II)

品 切 断 試 験 rope tensile test		製 品 検 査 Wire rope inspection															
の び 率 Elonga- tion (%)	切 断 エ ネ ルギ Breaking energy (kg・m/m)	鋼 索 直 径 Wire rope diameter (mm)	ピ ッ チ Wire rope pitch (mm)	型 付 率 Preform- ing per- centage (%)	外 層 線 の 径 Diameter of outlayer (mm)	内 層 線 の 増 径 率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱 炭 Decarburization					表 面 あ ら さ Roughness of wire surface					
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	
4.11	22.2	12.30	76.4	88.4	0.793	0.0	4	3	3	9			16	3			
3.96	21.2	12.41	76.5	89.2	0.791	－ 1.01			4	7	8			14	5		
4.63	27.2	12.60	81.7	93.7	0.789	－ 0.51	2	9	8					14	5		
4.28	24.0	12.53	79.3	90.7	0.807	0.62	1	6	10	1	1			18	1		
4.63	25.7	12.75	76.8	86.7	0.812	－ 0.49				3	9	7		19			
4.92	29.2	12.80	79.6	96.6	0.808	0.25	1	1	5	9	3			13	3	2	1
4.35	25.9	12.55	78.0	92.1	0.801	0.25	16	3						15	4		
4.49	26.4	12.48	78.4	93.8	0.802	－ 0.13	7	10	2					18	1		
4.41	25.0	12.59	77.9	93.0	0.798	－ 0.13	15	3	1					19			
4.57	25.7	12.75	79.1	93.2	0.803	－ 0.25	13	6						17	2		
4.43	26.7	12.43	79.2	87.8	0.807	0.12		6	10	3				15	4		
4.24	23.0	12.68	78.9	92.7	0.810	0.0		10	6	3				19			
4.44	25.3	12.44	76.3	87.2	0.789	－ 1.01		1	7	11		19					
4.35	23.5	12.81	77.6	91.9	0.811	0.0	4	5	7	2	1	6	6	3	3	1	
4.33	24.0	12.43	77.8	92.0	0.803	0.62	2	2	8	6	1	6	13				
4.11	24.0	12.49	76.9	88.5	0.803	－ 0.13	4	9	5	1		18	1				
4.09	21.6	12.67	78.9	92.7	0.788	0.0	19					7	9	2		1	
4.33	21.9	12.41	79.2	87.9	0.789	0.13	18	1				11	3	3	1	1	
3.77	19.3	12.51	78.5	89.8	0.791	－ 0.38	15	4				10	4	2	2	1	
3.30	15.1	12.45	78.6	86.0	0.785	－ 0.26	11	6	1	1		7	7	2	2	1	
3.90	22.0	12.36	78.6	90.3	0.794	0.0	12	6		1		8	8	2		1	
4.03	22.7	12.46	79.0	91.5	0.793	0.0	15	4				8	9	1		1	
3.95	21.8	12.42	78.8	88.5	0.791	0.13	16	2	1			8	9	2			
4.23	25.4	12.38	78.9	87.8	0.790	0.13	16	3				6	13				
4.64	25.1	12.48	69.5	87.4	0.793	1.01	17	2					9	9	1		
4.89	26.5	12.53	70.2	89.6	0.795	0.38	17	2					8	6	5		
4.92	26.7	12.54	70.1	90.4	0.793	0.50	15	4					14	4	1		
4.92	26.8	12.55	70.1	90.0	0.801	－ 0.50	18	1					14	5			
3.60	18.9	12.36	76.5	86.6	0.799	0.13	10	8	1				16	1	2		
4.01	22.0	12.46	79.3	93.5	0.794	0.0		7	6	2	4		14	5			
4.67	25.3	12.57	68.7	88.5	0.800	0.13	16	3					14	5			
5.34	29.0	12.56	69.0	88.9	0.794	0.25	14	5					19				
5.29	28.9	12.64	68.0	89.9	0.795	0.38	13	6					13	6			
4.72	23.7	12.70	70.7	88.7	0.800	－ 0.88	18	1					8	10	1		
4.86	25.3	13.17	79.3	92.8	0.798	－ 0.38	9	7	3					17	2		
4.58	22.9	13.19	79.4	93.9	0.796	－ 0.13	8	4	6	1				17	2		
4.95	24.1	12.91	79.4	93.0	0.785	1.02	5	10	2	1	1			14	5		
4.65	24.2	12.87	78.1	94.5	0.784	1.66	6	6	4	3				18	1		
4.36	22.2	12.64	78.4	92.2	0.791	－ 0.76	4	7	7	1				13	4	1	1

Table 4. (つづき) (Continued)

試料 Sample	寿命試験 Fatigue life test				4,000回往復試験 4,000 cycles fatigue test				新 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^8$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	断線数 Number of broken wires (本)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^8$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^8$ kg)
2-3C-9	6,500	0.91	2.84	1.9	2 (2)	0.68	6.48	7.8	8.00
2-3D-4	6,700	0.41	5.52	5.3	2 (2)	0.41	7.60	13.2	8.21
5	4,900	0.36	5.88	5.5	6 (6)	0.36	7.61	12.6	8.27
6	6,000	0.36	4.92	3.2	1 (1)	0.32	7.04	8.5	8.42
7	6,850	0.41	2.93	1.2	0 (0)	0.32	7.64	12.9	8.43
8	6,250	0.32	5.17	4.1	0 (0)	0.32	7.92	16.5	8.33
9	5,950	0.36	6.40	6.6	1 (1)	0.45	7.50	12.0	8.27
10	7,100	0.64	2.84	1.2	0 (0)	0.36	8.11	14.9	8.41
11	6,550	0.41	2.97	1.2	0 (0)	0.50	7.77	14.2	8.37
3-3D-1	6,800	0.77	3.18	1.7	1 (1)	0.59	7.84	12.2	8.40
2	4,500	0.45	5.41	5.2	7 (7)	0.50	6.82	9.7	8.04
3	5,900	0.41	5.76	4.9	6 (6)	0.23	7.04	1.3	8.55
4	5,900	0.59	4.74	2.5	2 (2)	0.59	7.66	14.7	8.12
5	4,500	0.36	6.22	1.6	10 (7)	0.36	6.60	8.0	8.20
1-3E-3	5,300	0.36	6.28	5.8	11 (1)	0.32	8.41	17.2	8.79
4	5,800	0.45	6.59	6.8	3 (3)	0.41	8.18	14.5	8.83
5	7,000	0.45	4.90	4.5	0 (0)	0.41	8.61	19.0	8.81
6	7,300	0.59	3.90	8.7	1 (1)	0.32	8.18	14.4	8.83
7	5,500	0.55	6.13	5.1	3 (2)	0.36	8.14	13.6	8.81
8	6,350	0.45	5.14	4.0	0 (0)	0.32	8.33	14.6	8.92
9	4,700	0.36	6.78	7.0	8 (8)	0.36	7.51	9.1	8.60
10	5,100	0.32	6.90	7.5	0 (0)	0.41	8.61	19.8	8.81
11	5,600	0.36	6.45	5.9	4 (4)	0.27	7.72	10.5	8.78
12	5,900	0.41	4.87	2.9	3 (3)	0.41	8.25	14.2	8.80
13	5,700	0.41	5.99	4.7	6 (6)	0.36	8.21	13.2	8.81
14	5,600	0.41	5.78	4.4	4 (4)	0.32	8.11	12.6	8.78
15	5,500	0.36	5.73	4.4	4 (4)	0.36	8.21	14.1	8.78
3-3E-1	5,800	0.23	5.96	5.4	3 (3)	0.45	7.85	12.9	8.39
2	7,500	0.50	2.26	1.2	0 (0)	0.45	7.28	9.1	8.68
3	7,550	0.45	4.54	3.3	0 (0)	0.23	8.10	14.3	8.48
4	5,900	0.23	5.60	4.8	2 (0)	0.23	7.86	13.8	8.45
5	5,950	0.23	5.40	4.3	1 (1)	0.23	7.68	12.4	8.45
2-3F-3	6,700	0.45	4.66	3.3	2 (2)	0.36	8.18	14.4	8.60
4	8,940	0.82	1.78	0.7	0 (0)	0.64	7.76	9.9	8.90
5	7,950	0.64	2.97	1.5	0 (0)	0.45	7.51	8.1	9.16
6	7,700	0.59	2.42	1.1	1 (1)	0.50	8.54	13.7	9.12
3-3F-1	6,300	0.32	4.92	3.0	0 (0)	0.23	7.88	11.8	9.02
2	5,900	0.27	6.20	6.3	1 (1)	0.23	7.76	13.1	8.41
3	6,350	0.36	4.80	3.3	1 (1)	0.27	7.86	11.1	8.31
4	6,150	0.32	6.18	6.0	1 (1)	0.27	7.88	13.7	8.65

品 切 断 試 験 rope tensile test		製 品 検 査 Wire rope inspection														
の び 率 Elonga- tion (%)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg・m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピ ッ チ Wire rope pitch (mm)	型 付 率 Preform- ing per- centage (%)	外層線の径 Diameter of outlayer (mm)	内層線の 増 径 率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱 炭 Decarburization					表面あらさ Roughness of wire surface				
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
4.65	23.7	12.87	78.3	93.0	0.795	0.50	12	5	2			15	4			
4.32	23.9	12.59	79.4	90.2	0.803	0.50	15	3			1	17	2			
4.41	24.5	12.55	77.3	87.5	0.800	0.38	17	1	1			18	1			
4.39	25.4	12.52	78.6	86.7	0.745	7.65	18	1				17	2			
4.47	26.2	12.59	79.5	88.4	0.807	－ 0.12	10	4	2	1	2	16	3			
4.26	24.0	12.50	79.3	90.0	0.806	0.12	13	3	3			16	2	1		
4.16	22.6	12.62	79.0	88.8	0.803	0.87	15	4				16	3			
4.66	26.8	12.70	78.6	87.3	0.800	0.38	17	1	1			18	1			
4.88	25.6	12.75	78.8	86.5	0.809	－ 0.25	14	4	1			14	3	2		
4.58	24.9	12.89	77.2	88.6	0.798	0.25	19					1	5	12	1	
4.61	25.8	12.84	75.7	92.3	0.802	－ 0.25	14	3	2			19				
4.24	24.2	12.63	77.4	92.4	0.803	0.0	18			1		2	17			
4.71	25.8	12.88	76.6	90.5	0.800	0.0	16	3				17	2			
4.45	25.7	12.48	78.1	88.9	0.795	0.37	16	2	1			7	12			
4.10	23.6	12.63	82.5	93.6	0.796	0.63	3	14	2			1	5	7	5	1
4.32	24.9	12.65	82.8	93.9	0.792	－ 0.25	4	10	4	1		2	6	5	4	2
4.14	23.6	12.67	83.0	93.3	0.793	0.0	11	7	1			11	4	3	1	
3.97	20.7	12.64	82.8	92.0	0.789	0.0	9	3	2	5		9	7	3		
4.10	23.4	12.67	83.1	92.5	0.790	－ 0.25	4	10	5			1	2	8	8	
4.42	25.8	12.64	83.1	93.4	0.793	－ 1.26	8	8	3			2	1	5	10	1
3.71	19.8	12.60	82.8	88.1	0.793	0.63	5	9	5			1	11	4	2	1
4.11	24.1	12.50	83.4	89.6	0.797	0.75	5	9	5			2	3	5	3	6
4.03	22.6	12.53	82.3	88.1	0.796	－ 0.25	4	7	8			4	6	4	3	2
4.09	23.4	12.55	83.3	86.8	0.791	0.0	1	9	5	4		3	7	5	1	3
3.73	21.2	12.56	83.2	87.9	0.788	0.63	6	4	7	2		3	12	1	2	1
4.25	23.5	12.54	82.5	87.8	0.798	0.0	6	11	2			2	12	1	3	1
3.99	19.7	12.61	83.5	86.8	0.787	0.76	3	12	4				3	4	8	4
3.64	19.4	12.21	82.1	96.1	0.787	2.29	2	7	5	5		16	2	1		
4.08	23.1	12.44	80.9	94.2	0.787	2.54		12	6	1		7	9	3		
4.05	22.0	12.61	82.8	97.2	0.795	－ 2.01	15	4				8	8	1	2	
3.96	22.4	12.43	83.8	96.3	0.797	－ 1.13	11	7	1			3	11	5		
3.74	23.6	12.35	82.6	97.6	0.798	－ 1.25	14	5				3	12	4		
4.05	22.7	12.38	81.6	93.0	0.792	0.88	3	6	7	3			13	6		
4.11	23.3	12.58	82.8	93.6	0.799	0.63	5	9	4	1			14	2	2	1
4.49	27.9	12.65	82.1	93.4	0.798	0.38	1	10	6	2			15	4		
4.11	23.6	12.65	81.8	93.4	0.796	0.38	3	9	5	1	1		15	2	2	
3.78	22.8	12.56	83.4	85.7	0.808	－ 0.25	1	12	6			15	4			
3.21	17.2	12.44	80.9	91.6	0.796	1.38	5	7	3	2	2	4	9	5	1	
3.09	15.8	12.42	81.5	92.0	0.798	1.00	11	5	2	1		4	13	1	1	
3.52	19.1	12.44	80.9	91.6	0.800	0.63	6	9	4			4	12	3		

Table 4. (つづき) (Continued)

試 料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test				4,000 回 往 復 試 験 4,000 cycles fatigue test				新 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg·m/m)	断 線 数 Number of broken wires (本)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)
3-3F-5	7,600	0.36	2.20	0.4	4 (4)	0.27	7.44	10.3	8.46
1-3G-2	5,600	0.59	6.45	6.8	1 (1)	0.55	8.25	16.8	8.41
3	5,600	0.55	6.14	6.7	5 (5)	0.45	7.88	14.2	8.41
4	6,500	0.64	5.37	4.8	0 (0)	0.68	8.56	23.7	8.52
5	5,300	0.64	6.72	7.9	— (6)	0.41	7.85	13.2	8.63
6	5,000	0.45	6.85	6.1	— (3)	0.41	8.02	14.9	8.53
7	6,500	0.68	5.30	4.3	2 (1)	0.45	7.95	14.6	8.53
8	6,300	0.55	5.00	3.7	— (2)	0.64	7.95	—	8.48
9	5,500	0.64	6.78	8.8	2 (2)	0.55	8.16	15.7	8.48
13	5,500	0.59	5.13	3.9	5 (5)	0.45	7.71	13.3	8.49
2-3G-8	5,500	0.27	6.20	5.7	6 (6)	0.18	7.75	11.9	8.93
9	4,850	0.77	6.77	6.9	3 (3)	0.32	8.23	14.2	8.94
10	5,100	0.45	6.54	6.5	5 (5)	0.45	7.92	1.7	8.94
11	5,220	0.27	6.75	7.5	2 (2)	0.32	8.34	13.4	8.98
3-3G-1	6,030	0.77	3.02	1.9	1 (1)	0.77	6.02	6.9	8.54
2	4,450	0.32	6.64	7.6	5 (5)	0.18	6.92	8.3	8.55
3	6,260	0.77	3.62	3.0	1 (0)	0.55	8.30	17.7	8.56
4	5,950	0.64	4.34	3.4	0 (0)	0.59	7.82	12.2	8.54
5	6,250	0.68	5.30	4.5	0 (0)	0.68	8.24	15.3	8.62
1-3H-6	5,950	0.64	5.48	5.4	1 (1)	0.59	8.02	14.3	8.55
7	5,650	0.45	5.68	4.7	4 (4)	0.59	7.46	10.4	8.56
9	6,100	0.59	6.13	6.2	1 (1)	0.50	8.07	14.0	8.74
10	5,900	0.59	5.56	4.9	0 (0)	0.59	8.25	15.4	8.70
2-3H-5	7,700	0.45	1.34	0.4	0 (0)	0.32	8.44	12.7	9.18
3-3H-1	6,410	0.36	3.48	2.0	0	0.27	7.54	9.1	8.91
2	5,400	0.23	6.22	5.9	2 (2)	0.27	7.76	11.6	8.62
3	5,750	0.23	5.92	5.1	3 (1)	0.18	7.80	12.5	8.82
4	5,500	0.23	6.88	8.4	3 (3)	0.23	7.28	9.1	8.67
5	6,700	0.41	6.06	5.3	0 (0)	0.36	8.69	18.3	8.97
1-3 I -4	5,050	0.36	6.30	7.5	9 (9)	0.23	6.78	8.9	8.52
5	6,050	0.41	5.60	5.4	3 (3)	0.23	7.35	11.3	8.50
3-3 J -1	8,400	1.09	1.60	0.8	0 (0)	0.86	6.70	6.2	8.51
2	6,150	0.73	3.64	2.3	0 (0)	0.82	6.60	22.6	8.78
3	6,210	0.90	4.12	2.6	0 (0)	0.77	7.00	6.8	8.73
4	5,650	0.77	4.16	2.9	0 (0)	0.77	7.74	9.2	8.76
5	5,950	0.95	4.16	3.8	0 (0)	0.91	6.84	6.3	8.65

品 切 断 試 験 rope tensile test		製 品 検 査 Wire rope inspection														
の び 率 Elonga- tion (%)	切断エネ ルギ Breaking energy (kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピ ッ チ Wire rope pitch (mm)	型 付 率 Preform- ing per- centage (%)	外層線の径 Diameter of outlayer (mm)	内層線の 増 径 率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱 炭 Decarburization					表 面 あ ら さ Roughness of wire surface				
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
3.55	15.8	12.49	81.2	91.0	0.800	0.75	6	6	5	1	1	8	10		1	
4.59	22.1	12.87	78.1	91.8	0.801	0.25	5	13	1			7	12			
4.44	23.9	12.82	78.6	91.0	0.801	0.25	7	10	1	1		15	4			
4.75	23.5	13.42	79.4	93.9	0.802	0.12	11	5	2	1		12	6	1		
4.30	21.8	13.04	79.1	92.1	0.796	0.25	5	7	2	3	2	11	8			
4.09	21.3	12.91	78.2	90.6	0.796	0.13	7	5	4	3		11	5	2		1
4.27	21.3	13.04	78.5	91.8	0.798	－ 0.38	8	6	2	2	1	10	7	2		
4.23	21.0	12.96	79.7	91.7	0.795	－ 0.13	10	5	3	1		12	5	1	1	
4.44	22.4	13.06	78.5	91.8	0.798	0.38	6	9	3	1		15	3	1		
4.46	24.4	12.90	78.4	90.3	0.800	0.38	15	4				11	8			
3.66	20.0	12.65	79.9	86.9	0.791	0.51	8	9	2			13	4			2
3.87	21.1	12.54	79.3	91.9	0.791	－ 0.13	10	9				19				
3.97	15.9	13.55	80.2	85.3	0.794	0.38	9	10				17	1	1		
4.01	21.8	13.18	79.1	85.9	0.792	0.0	9	8	2			15	3	1		
4.07	20.8	12.72	78.2	94.0	0.770	0.0	9	9	1			13	3	1	2	
3.76	19.9	12.46	78.4	88.3	0.783	－ 1.15	12	7				16	3			
4.19	21.9	12.70	78.0	90.2	0.780	－ 1.03	16	2	1			17	2			
4.09	21.6	12.80	78.1	89.8	0.779	－ 0.90	12	6	1			17	2			
4.31	23.3	12.74	77.8	90.3	0.780	－ 1.03	12	6	1			16	3			
4.67	25.4	12.95	79.5	91.0	0.799	0.0	9	8	1	1		18	1			
4.54	24.0	12.96	80.1	91.5	0.796	－ 0.25	11	8				18	1			
4.88	27.4	13.17	79.3	92.7	0.811	－ 0.62	13	5	1			17	2			
4.48	24.4	13.06	79.5	92.3	0.801	0.62	12	2	3	1	1	15	4			
4.22	25.2	12.51	82.9	90.4	0.803	－ 0.37	16	3				16	3			
4.16	25.9	12.54	82.2	89.5	0.806	0.50	11	5	2		1	13	6			
3.60	20.8	12.30	79.0	94.0	0.803	0.62	9	8	2			13	5	1		
3.84	24.3	12.42	82.1	91.1	0.805	0.37	13	5	1			16	3			
3.65	21.2	12.36	79.2	95.0	0.806	0.12	15	4				13	6			
3.87	22.7	12.60	80.0	91.8	0.804	－ 0.62	17	2				18	1			
4.08	22.5	12.56	76.5	89.6	0.806	－ 0.13	13	4	2			17	2			
4.08	22.0	12.58	76.4	92.1	0.806	0.0	10	7	2			19				
4.82	25.1	13.02	78.3	95.9	0.794	0.12	18	1					5	5	3	6
4.61	26.3	12.90	78.7	93.0	0.795	－ 0.13	11	7	1				7	12		
4.36	26.7	12.90	78.9	92.5	0.795	0.0	16	3				1	13	4	1	
4.62	27.4	12.90	78.0	93.6	0.795	0.0	12	7					17		2	
4.94	28.4	12.93	78.4	95.7	0.795	0.0	11	8					7	11	1	

	実施時期	試料の数
第1回	昭和 42, 43 年	10 社 124 本
第2回	44, 45 年	10 社 84 本
第3回	46, 47 年	8 社 40 本

2.2.3 試験の実施

試験はほぼ年間を通して行われた。単純に時系列的に疲れ試験の結果をプロットして調べたところ¹²⁾、実施時期と試験結果の間に明瞭な関係は見いだせなかった。以後のデータの取り扱いにおいては、試験を行った時期は試験結果に影響を及ぼさないという前提にもとづいている。

疲れ試験における寿命試験では、途中経過として素線の断線数を調べたが、この断線の調べ方を途中で変更せざるを得なかった。第1回試験の一部分と第2回試験の前半では、寿命試験中のワイヤロープを試験機からとりはずして、手で曲げながら断線数を調べた（かりに「手曲げ検査」と呼ぶ）。しかしこの方法では多くの労力と時間を要し、試験条件の一樣性という点でも疑問が生じたため、それ以後においてはすべて供試ワイヤロープは試験機にとりつけたままで、外観から見える素線断線を数える方法とした。

3. 試験結果

試験結果の概要を Table 3, Table 4 に示す。

2.2.3 で述べた素線断線の検査方法の変更は、寿命試験の結果に大きな影響を及ぼしていることが明らかであるので（4.1 参照）、手曲げ検査によるものをデータ（Ⅰ）として Table 3 に、手曲げ検査によらないものをデータ（Ⅱ）として Table 4 に区別して示す。データ（Ⅰ）とデータ（Ⅱ）は寿命試験だけの差による便宜上の区分であって、それ以外の試験項目は全く同一の方法によるもので、その結果も同一に取り扱うことができる。

表中の供試ワイヤロープを示す記号のうち、最初の数字は第1回から第3回までの試験回数を、2番目の数字3はワイヤロープの種類6×19を、つぎのAからJまでのアルファベットは製造会社の区分を、最後の数字は会社ごとの試料番号を、それぞれ示している。

4. 考察

4.1 寿命試験結果の整理

2.2.3 および3章で述べたように、寿命試験における断線検査の方法を途中で変更したため、データ（Ⅰ）とデータ（Ⅱ）と区分したが、この寿命試験の結果の差を確かめてみる。

データ（Ⅰ）とデータ（Ⅱ）について、サンプルの大きさ n_1 , n_2 , 平均値 $\bar{N}_1$, $\bar{N}_2$ および分散 V_1 , V_2 を示すとつぎのとおり。

	データ（Ⅰ）	データ（Ⅱ）
サンプルの数	$n_1=133$	$n_2=115$
平均値	$\bar{N}_1=5,211$	$\bar{N}_2=6,117$
分散	$V_1=847,031$	$V_2=1,102,854$

分散の比 F の値と F 分布表の限界値と比較して、サンプルから得られた2箇の母集団の分散の差があるか否か検定できる⁶⁾。すなわち

$$F = V_2/V_1 = 1.302$$

F 表より $F(120, 120; 0.05) = 1.43$

となる。したがって、有意水準5%でデータ(I)と(II)の2組の寿命の分散に差があるとは言えない。

2組のサンプルについて平均値の差の検定を Welch の方法により行ってみる⁹⁾。この方法によれば、分散に差がある場合あるいは疑わしい場合にも検定が可能である。 t の値と自由度 f を以下の式で計算する。

$$t = (\bar{N}_1 - \bar{N}_2) / \sqrt{\frac{V_1}{n_1} + \frac{V_2}{n_2}} = -7.1665$$

$$c = \frac{V_1}{n_1} / \left(\frac{V_1}{n_1} + \frac{V_2}{n_2} \right) = 0.3991$$

$$\frac{1}{f} = \frac{c^2}{n_1 - 1} + \frac{(1 - c)^2}{n_2 - 1} = 0.00437$$

$$f = 229$$

t 分布表より両側確率の値は

$$t(120, 0.01) = 2.617$$

この結果から、データ(I)とデータ(II)の寿命の平均値に有意な差があると言える。以後の試験結果の取り扱いにあたっては、寿命試験の結果のみについてはデータ(I)とデータ(II)は別のグループとして取り扱う。

4.2 寿命値の分布

寿命値の確率密度関数の型を確かめてみる。これを知ることができれば、寿命試験の結果から導き出される情報は、それが未知の場合よりも多いし、さらにこの種の実験の計画またはデータの解析など、寿命値の統計的な取り扱いに有効であろう。

ここでは確率密度関数の型として、正規分布とワイブル分布を想定して、確率紙を用いてあてはめを検討し、分布のパラメータを推定した。さらに得られた確率密度関数の試験データとの適合度の検定を行った¹¹⁾¹²⁾。以下にその概要を述べる。

正規分布のあてはめは、寿命値の真数と対数の両方について試みた。正規確率紙へプロットした点を直線に回帰させると、データ(I),(II)のいずれの場合も、寿命値の対数をとった場合の方がややあてはまりが良いようである。Fig. 7 にこれを示す。

ワイブル分布については、寿命値を200回の区間に分けて度数分布を作り、累積寿命率を計算し、これを確率紙にプロットしパラメータを推定した。データ(I)の場合を Fig. 8 に示す。ワイブル分布はその確率密度関数が

$$f(t) = \frac{m(t-\gamma)^{m-1}}{t_0} e^{-\frac{(t-\gamma)^m}{t_0}} \dots\dots\dots (7)$$

ここに m : 形状パラメータ

t_0 : 尺度パラメータ

γ : 位置パラメータ

で表わされる。そして形状パラメータ m を変えることによって、いろいろな分布を表わすことができる。寿命特性において、 $m < 1$ では故障率減少型、 $m = 1$ では故障率一定型、 $m > 1$ では故障率増加型または摩耗故障型であること、また $m = 3 \sim 4$ では正規分布に近いことが知られている。

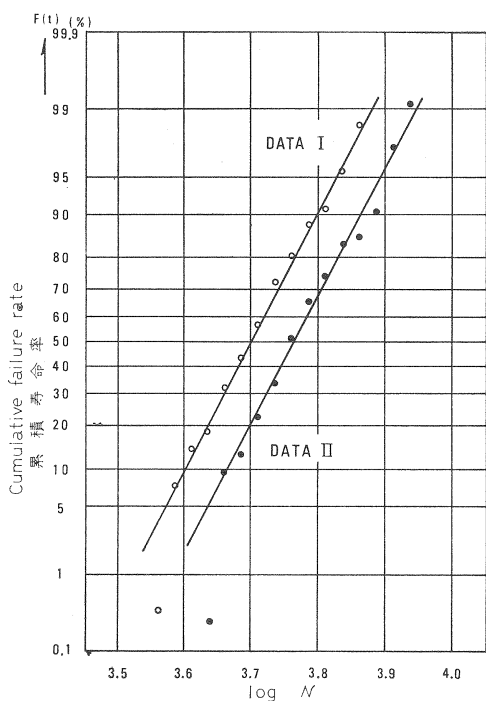


Fig. 7 対数正規分布へのあてはめ
Fitting fatigue life to the logarithmic normal distribution.

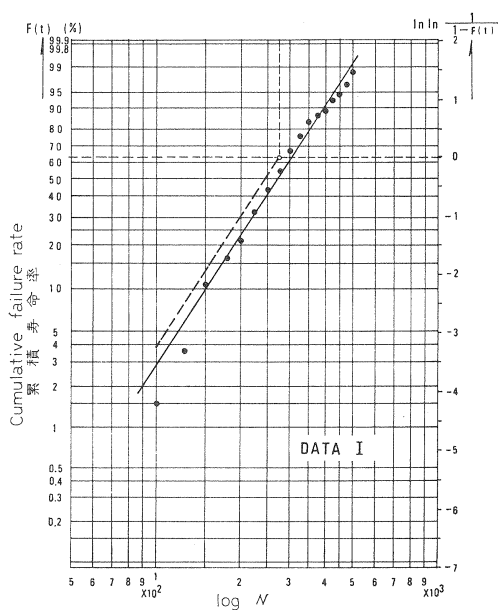


Fig. 8 ワイブル分布へのあてはめ
Fitting fatigue life to the Weibull distribution.

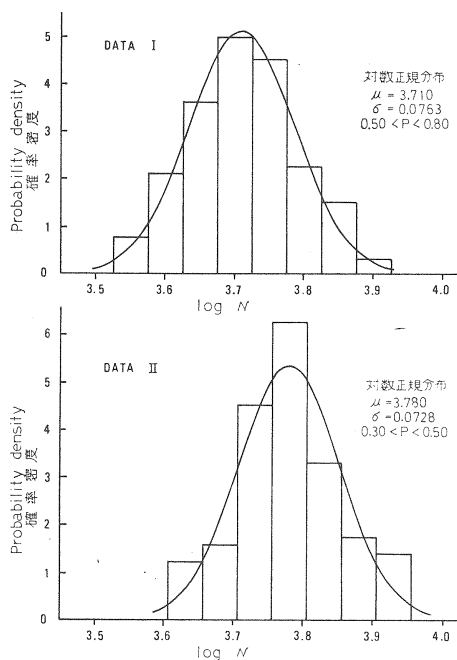


Fig. 9 寿命値の分布 (対数正規分布)
Distribution of fatigue life (logarithmic normal distribution).

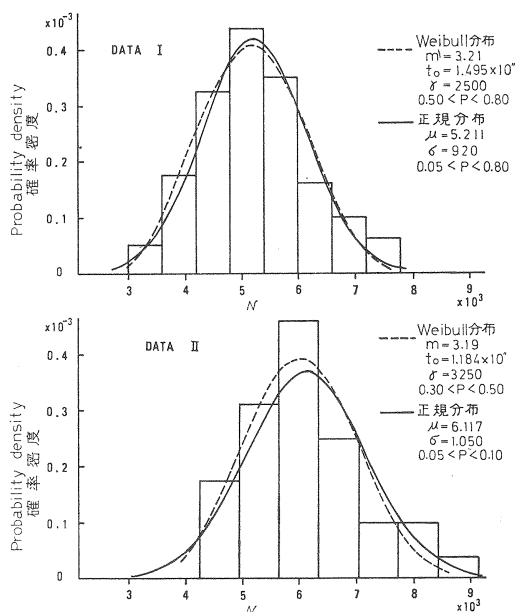


Fig. 10 寿命値の分布 (ワイブル, 正規分布)
Distribution of fatigue life (Weibull and normal distribution).

Table 5. 確 定 密 度 関 数 パ ラ メ ー タ の 推 定 値
Values estimated for each parameter of probability density functions

	デ ー タ I	デ ー タ II
真 数 正 規 分 布 Normal distribution		
平 均 値 ($\bar{N}$)	5,211	6,117
標 準 偏 差 (s_r)	920	1,050
対 数 正 規 分 布 Logarithmic normal distribution		
平 均 値 ($\log \bar{N}$)	3.710	3.780
標 準 偏 差 (s_e)	0.0763	0.0728
ワ イ ブ ル 分 布 Weibull distribution		
形 状 パ ラ メ ー タ (m)	3.21	3.17
尺 度 パ ラ メ ー タ (t_0)	1.493×10^{11}	1.184×10^{11}
位 置 パ ラ メ ー タ (γ)	2,500	3,250

データ (I), (II) について, 確率紙にプロットして推定できた各パラメータの値をまとめると Table 5 のとおりである。

Fig. 9, 10 は Table 5 に得られたパラメータでそれぞれの確率密度関数を作って, 試験データから作ったヒストグラムとの適合度の検定を行った結果を示す。度数分布曲線への適合度の推定は χ^2 -分布検定によった¹⁾¹²⁾。すなわち実際度数 $f_1, f_2, \dots, f_n$ を理論分布による度数 $F_1, F_2, \dots, F_n$ と比較し, 適合しているか否かを χ^2 -量で検定する。

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_i - F_i)^2}{F_i}$$

自由度 $v = n - q$

$$P = P(\chi^2 \geq \chi_0^2)$$

そして $P \leq \alpha$ ならば実現度数は理論分布に適合しない。

$P > 1 - \alpha$ ならば実現度数は理論分布に偶然以上に適合する。

$\alpha < P < 1 - \alpha$ ならば実現度数は理論分布に大体適合する。

などと判断される。

4.3 前報の結果から推定される寿命との比較

前報における疲れ試験の結果から, 総応力と寿命の関係を S-N 曲線として示し, 本報 1.2.1 ではこれに式 (1) および (3) をあてはめた。したがって試験条件が決定されれば, その寿命の推定が可能である。今回の疲れ寿命試験の条件から総応力を計算し, 寿命の推定値を求めてみよう。ただしここではつぎの2点について注意を要する。一つは前報における寿命試験の断線検査の方法が, 今回の試験のデータ (II) と同じであること。二つには前報はワイヤローブ径が 10 mm であり, 今回のものは 12 mm を用いていることである。

今回の試験条件について, 総応力を式 (5), (6) によって求めると,

$$T = 350(\text{kg}), A = 7.92 \times 10^3 / 165(\text{mm}^2), E_b = 2.1 \times 10^4(\text{kg/mm}^2), \delta = 0.81(\text{mm}), D = 190(\text{mm})$$

$$\therefore \sigma_t + \sigma_b = \frac{T}{A} + E_b \cdot \frac{\delta}{D} = 7.3 + 89.5 = 96.8 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

つぎに式 (1) より総応力 96.8 kg/mm^2 における寿命値 (ただし 直径 10 mm のワイヤロープの寿命推定値) N_{10} を求めると

$$\begin{aligned} \log N_{10} &= 11.0189 - 3.6723 \cdot \log 96.8 \\ &\pm 2.07 \sqrt{0.00019753 + 0.0254656 (\log 96.8 - 2.08281)^2} \\ &= 3.7262 \pm 0.0433 \\ \therefore N_{10} &\doteq 5,323 \text{ (5,882} \sim 4,818\text{)} \end{aligned}$$

となる。区間推定は 95% 信頼限界を示している。 N_{10} から直径 12 mm のワイヤロープの寿命 N_{12} を推定するには、寸法効果について考慮してみる必要がある。

材料の疲れ試験において試験片の大きさが異なり、疲れ強さが異なることが知られており、これは寸法効果と呼ばれている。寸法効果に影響する因子として、高い応力を受ける表面層の体積の影響、応力勾配の影響、表面仕上げの影響、および統計的なばらつきによるものが考えられている⁴⁾¹¹⁾。鋼材についての寸法効果を具体例でみると、各種の炭素鋼の平滑試験片の回転曲げ疲れ限度は、直径 50 mm 位の場合には直径 10 mm 程度の小形試験片の 80~70% の値を示し、ほぼ一定となっている⁴⁾。また別の試験結果によれば、同じく鋼試験片の回転曲げ疲れ限度は、直径 30 mm において直径 10 mm の場合の疲れ限度の 84~97% であり、両振振りの場合には直径 30 mm の疲れ限度は直径 10 mm のその 75% であったとされている¹¹⁾。ワイヤロープの疲れ試験における寸法効果に関しては、疲れ強さを求める形での実験結果はないようである。文献 (13) に引用されている実験結果は、6×19 ワイヤロープについて、直径が 9.2 mm から 37 mm までの 5 種類について、滑車直径とワイヤロープ直径の比 (D/d) を 18~66 に変えて、全素線破断までの繰返し曲げ回数を求めている。これは D/d をワイヤロープが受ける応力の指標として、直径の異なるワイヤロープの寿命を求めたものであり、寸法効果を表わしているものと考えられよう。この結果によれば、9.2 mm のワイヤロープの寿命に対する他の直径のワイヤロープの寿命は D/d の値により若干差があるが、14 mm では 0.85~0.95、18.5 mm では 0.87~0.97、31 mm では 0.73~0.80、さらに 37 mm では 0.68~0.71 ぐらいと推定される。すなわち直径比で 1.0~4.02 の変化に対し、その寿命は 1.0~0.68 程度まで変化していることがわかる。

以上のような寸法効果についての実験例をもとに N_{10} と N_{12} の関係を考えると、 N_{12} は N_{10} よりわずかに小さいであろうことは予想される。しかし直径比あるいは素線径の比は 1.2 と小さく、 N_{10} と N_{12} の差を推測することは困難である。ワイヤロープ寿命試験におけるデータのばらつきを考え合わせると $N_{12} \doteq N_{10}$ と考えてもよいだろう。直径比をそのまま用いて $N_{12} = (10/12) \cdot N_{10}$ と仮定している例⁹⁾もあるが、これではあまりに過小な値を与える可能性がある。

$N_{12} \doteq N_{10}$ とすれば、 N_{12} の推定値は 5,324 であり 95% 信頼限界として 5,882~4,818 が得られる。今回の試験結果であるデータ (II) の寿命の平均値は 6,117 である。回帰式 (1) の推定範囲やデータ (II) の標準偏差 1,050 を考慮すれば、前報の疲れ試験結果から推定できる範囲と今回の試験結果は近似しているといえるだろう。

4.4 寿命に達したワイヤロープの残留強さ

真の意味で寿命といえば、ワイヤロープの切断あるいは引張り強さの一定限度まで減少する往復回数で

だろう。しかし寿命試験を実施する上でこれを忠実に実行することは不可能であり、今回の試験においては10%の素線断線を基準としたことは、1.3.(4)で述べたとおりである。ここではこの基準のもとでの結果から、寿命に達したワイヤロープがその時点で、どの程度の強さを残しているかを調べてみた。ワイヤロープの強度低下と外観に生じる断線数の関係、あるいは断線の発生経過や外観への表われ方は、ワイヤロープの種類とその使用条件などにより、一様ではないことは一般に知られている。今回の結果はその意味で一条件のもとにおけるワイヤロープの残留強さを示す一例である。

寿命に達したワイヤロープの残留強さについて、ヒストグラムをFig. 11に、その寿命との相関図をFig. 12, 13に示す。

残留強さはデータ(I)の平均値で6,547 kg、データ(II)では5,027 kgとなっている。これはJIS規格に示されている新品の切断荷重7.92 tonに対し、それぞれ83%, 63%である。

残留強さをヒストグラムでみると、データ(I)はまとまりがよくデータ(II)では幅が広くまとまりがよくない。これら平均値とばらつきの差は、疲れ寿命試験の途中における素線断線の検査方法の差(2.2.3参照)によるものと考えられる。データ(I)におけるように手曲げ検査によればデータ(II)の場合に比べて、断線をより正確に

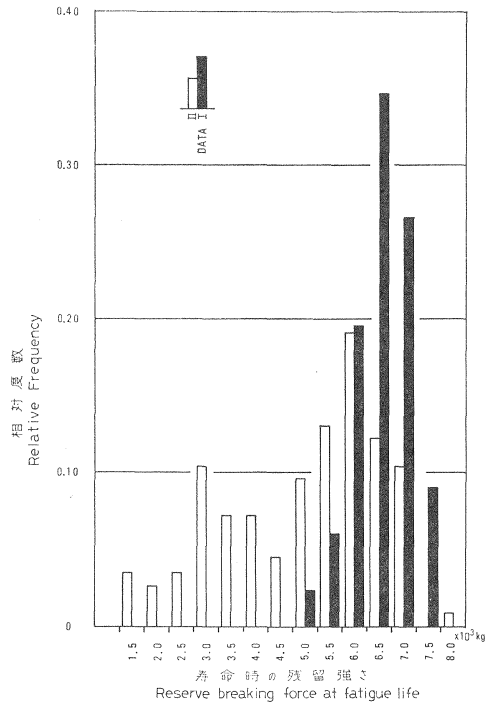


Fig. 11 寿命時の残留強さ頻度分布
 Frequency distribution of reserve breaking force at fatigue life.

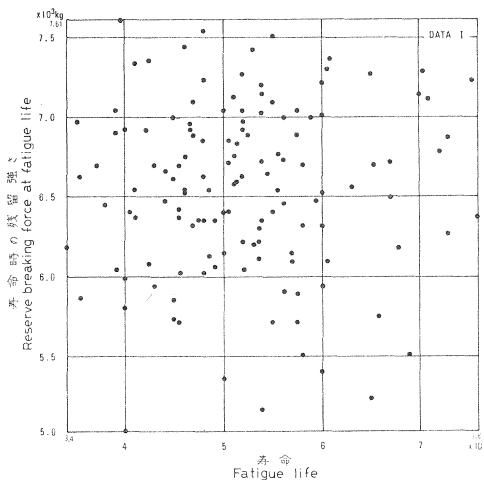


Fig. 12 寿命と残留強さの相関図(データ I)
 Relation between fatigue life and reserve breaking force (data I).

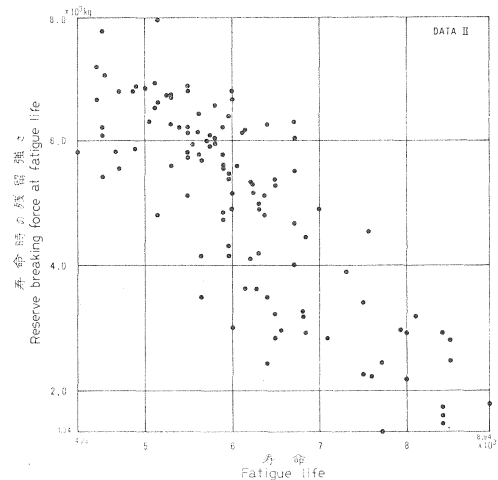


Fig. 13 寿命と残留強さの相関図(データ II)
 Relation between fatigue life and reserve breaking force (data II).

みつけて数えることができる。したがって寿命に達したと判定される時点は早く、その残留強さは大きくばらつきは小さい。データ (I) と (II) の間にある差は、サンプルとしたワイヤロープ、あるいはその母集団の差にもとづくものを含んでいる可能性もある。しかしこの点についてはつぎの節で述べるように、その差はないと考えられる。

寿命に達したワイヤロープの残留強さを寿命との関係でみると、データ (II) では相関関係がはっきりしており、データ (I) でははっきりしない。データ (II) に極端にみられるように、寿命と残留強さがともに幅広くばらついており、しかもその間に負の相関があるということは、寿命の判定の不正確さを示しているといえよう。寿命に達した時の残留強さを一定の幅の中におさえるものとすれば、強さが過小な場合は寿命を越えて回数を増し寿命は過大となり、反対に強さが過大の場合は寿命が過小となって表われたと考えられる。ワイヤロープの疲れ試験の方法、とくに素線断線の検査方法は、試験結果に及ぼす影響が大きいことを示している。

4.5 4,000 回往復試験後の残留強さ

寿命試験と並行して、ワイヤロープの疲れ特性を示すもう一つの指標として、一定回数の繰り返し曲げを受けた後の残留強さを求める試験を行った。滑車径・張力などの試験条件は寿命試験と同じとした。この試験では試験機の運転条件を一定にすることによって、寿命試験における断線検査による判定のような、間接的な判断の入る余地を少なくすることができる。この試験によって、寿命が大きいワイヤロープはこの試験における残留強さも大きいであろうという、一般的な推論にもとづく寿命試験との関係についても確かめることができる。

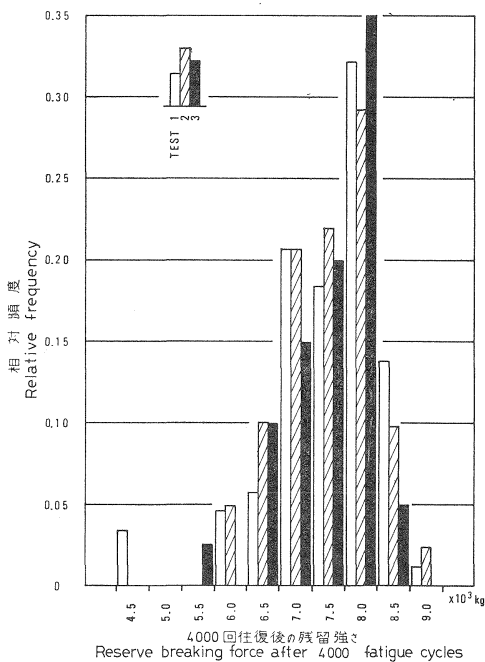


Fig. 14 4,000 回往復試験後の残留強さ
Frequency of reserve breaking force
after 4,000 fatigue cycles.

第 1 回から第 3 回試験までの、4,000 回往復試験後の残留強さのヒストグラムを Fig. 14 に示す。第 1～3 回の結果はともに非常に似かよっており、よくまとまった型を示している。全体では平均値 7.54×10^3 kg、標準偏差 726 kg であり、JIS 規格の新品の切断荷重の 95.2% の残留強さを示している。

また、この 4,000 回往復試験の方法は、寿命試験より客観性があること、第 1 回から第 3 回まで同一の方法で行ったこと、そしてこの回の試験結果のヒストグラムがよく一致していること、などを考えるとつぎのことがいえるだろう。すなわち第 1～3 回までの 6 年間にわたって繰り返し集めたワイヤロープは、毎回ごとにも全体としても、きわめて似かよったものである。

つぎに 4,000 回往復繰り返し曲げを受けた後の残留強さと寿命の関係を Fig. 15, 16 に示す。これらからははっきりした相関関係はみられない。データ (I) においてわずかに正の相関関係がう

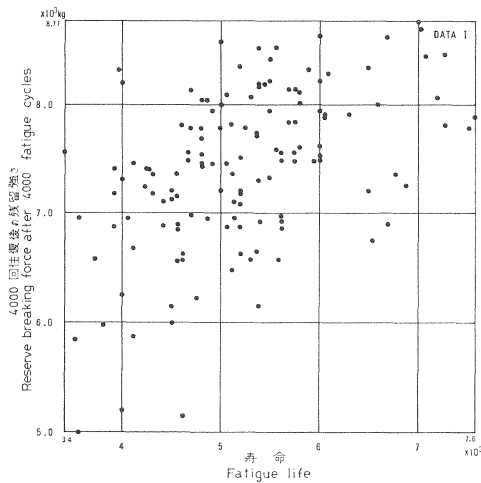


Fig. 15 寿命と4,000回往復試験後の残留強さ (データ I)

Relation between fatigue life and reserve breaking force (data I).

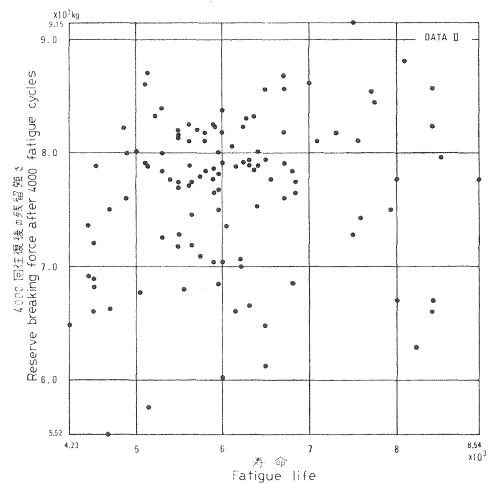


Fig. 16 寿命と4,000回往復試験後の残留強さ (データ II)

Relation between fatigue life and reserve breaking force (data II).

かがえるのみである (相関係数 0.5)。同一条件のもとでの疲れ試験のなかで、寿命試験と4,000回往復試験の結果の間に、予想した関連をはっきり見いだすことができなかった。本来この2者の間に一定の関係があるにもかかわらず、今回の試験結果に明瞭に現われなかったとすれば、つぎのような理由によるのではないだろうか。

ワイヤロープの疲れ試験から得られる結果の、ばらつきの大きさと再現性に対する疑問が少しあり、寿命試験における寿命判定のあいまいさ、さらには同一ワイヤロープについても、曲げ回数と残留強さの低下の関係について十分に明らかではないことが挙げられる。

4.6 素線断線の発生経過

寿命試験における往復回数の増加と、素線断線の発生と進行状況の概略をまとめるとつぎのとおりである¹²⁾。

供試ワイヤロープの試料は、その中央部分125 cmが滑車と接触する。ここに発生する素線断線の総数を往復回数との関係で Fig. 17 に示す。これはデータ (II) のうち断線数のデータが得られた76例を表わしている。線の太さはほぼ測定点の数を示す。図からわかるように、往復回数3,000回前後ではほとんどの場合に断線はなく、3,500~4,500回ぐらいで断線が出はじめる。それ以後往復回数の増加とともに断線数も増加し、寿命である1より長さの間に12本の素線断線となった時点では、およそ23~41本、平均35本の断線となっている。断線の種類としては山断線と谷断線はおおよそ半々であり、寿命に達した時点で谷断線の平均は17本であった。

寿命の長短と断線の発生状態、断線の種類あるいは総数などの関連ははっきりしない。山断線がほとんどすべてをしめるもの、総断線数が12~17本と少なく集中的に生じたものなど特徴的な例もあった。

データ (I) の寿命試験結果から、1より長さの間に生じた素線断線の発生経過をみると Fig. 18 となる。ワイヤロープに生じた断線の数が多い1より長さにおける、断線数の変化を表わしたものである。往復回数が3,000回ぐらいから断線が多く現われはじめ、4,000~4,500回では4~6本となり、

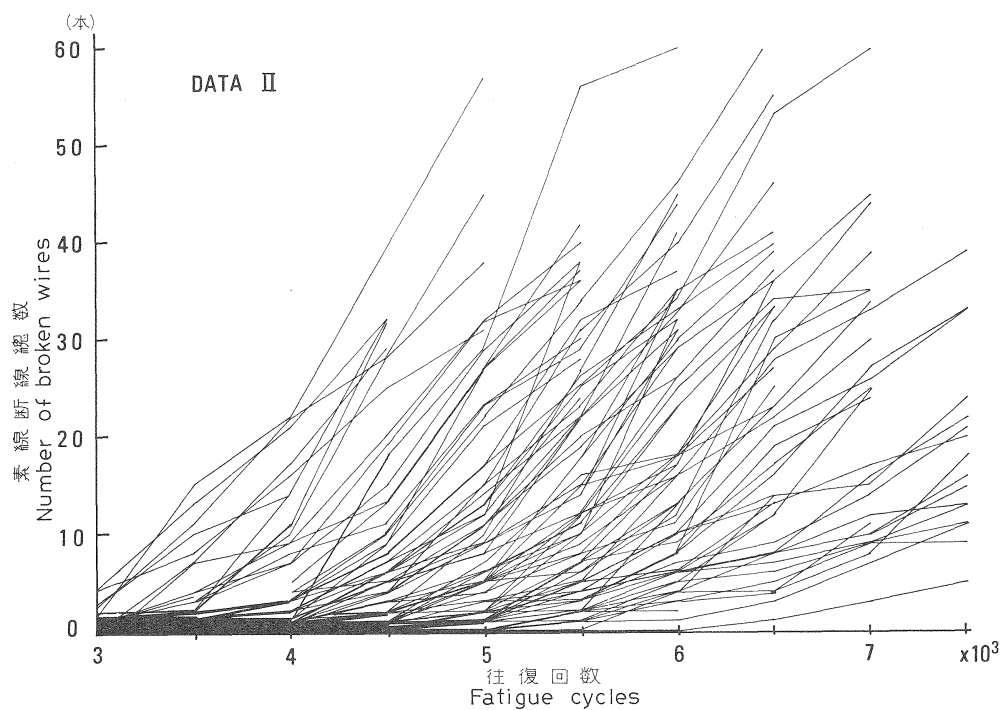


Fig. 17 素線断線の増加 (総断線数)
Increase of broken wires (total).

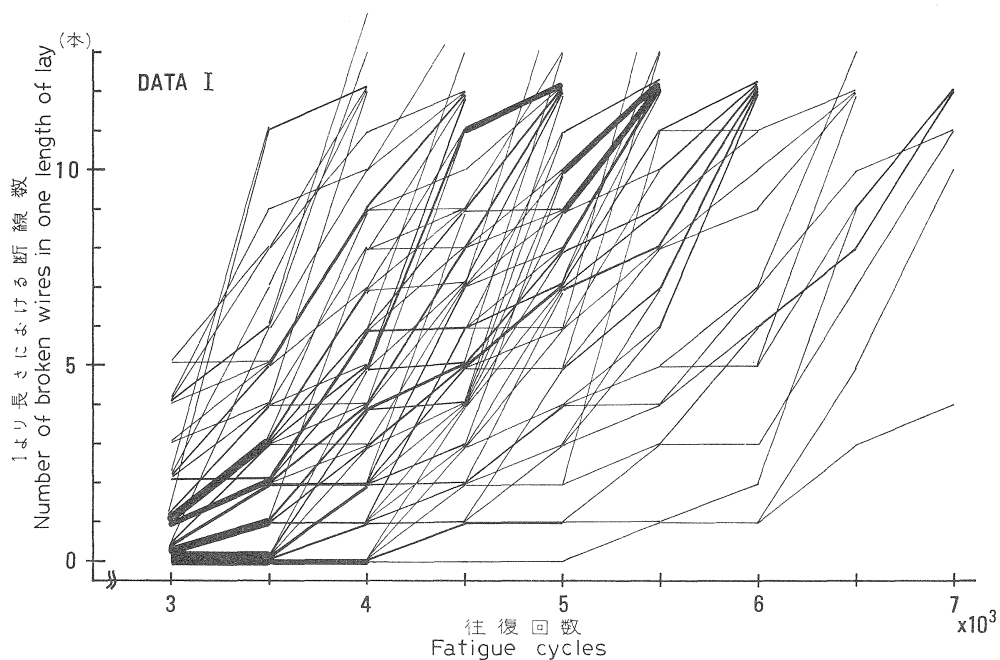


Fig. 18 素線断線の増加 (1より長さにおける断線数)
Increase of broken wires (in one length of lay).

5,000~5,500回前後で12本に達するものが多いことを示している。そのほとんどは谷断線であり、山断線は平均して1.6本が含まれているにすぎない。これはデータ(I)の寿命試験における素線断線の検査の方法が、手曲げ検査であり、データ(II)のやり方では見つけにくい谷断線を、よく数えることができた結果と考えられる。

素線断線の検査の方法として、手曲げ検査の場合とそうでない場合の差を、4,000回往復試験の断線数検査の例で見てみよう。この試験では500回往復ごとに4,000回まで外観から断線数を数え、4,000回を終わった時点でさらに手曲げ検査によって断線数の変化を調べた。Fig. 19はこの4,000回終了時点における断線数と、これを手曲げ検査した場合の断線数を2個のヒストグラムで示したものである。ここでは最も断線の多い1より長さを選んで、この間に含まれる断線数を示している。4,000回往復の繰り返し曲げを受け終わ

った状態で断線を調べた結果では、125例中47例には断線がなく、断線数が大きくなるとともに測定例は少なくなり、最高16本のものが1例あった。全体の平均断線数は1.8本で、このうち山断線は1.0本である。これをFig. 19の上の図に示す。供試ワイヤロープを試験機からとりはずした時点では、断線数にはほとんど変化がない。さらにこのワイヤロープを手で曲げながら、見えにくい部分にある断線を探して数えると、断線数はいくらか増加する。これをFig. 19の下図に示す。この手曲げ検査によって増加する断線は、ほとんど全部が谷断線である。全体の平均断線数は5.1本と増加し、このうち山断線数は1.0本と、手曲げ検査前とほとんど変化がない。すなわち手曲げ検査によれば断線数が多く発見でき、その内容は谷断線の数が増加し、山断線の数にはほとんど影響がないことがわかる。

4.7 ワイヤロープ寿命と4,000回往復試験後の残留強さの製造会社間の比較

ワイヤロープの疲れ試験における性能を、製造会社を1グループとし、このグループ間の比較をした。グループの区分は、Table 3, 4の中でアルファベットで示したとおりである。各グループのほかに、全体をひとまとめにしたものをTotalとして比較の対象とした。データ(I)、データ(II)のそれぞれについて、寿命値および4,000回往復後の残留強さの、平均値と分散の差の検定を行った¹²⁾。検定の方法は4.1で用いた方法と同じである。詳細な数字は省略するが、その概略を以下に述べる。

Fig. 20, 21は縦軸に寿命値・4,000回往復後の残留強さを、横軸に変動係数をとって、各グループの数値をプロットしたものである。座標を示す線の交点がTotalの値を示している。

(1) 寿命値について (Fig. 20)

分散の差の検定を行った結果では、データ(I)の中でAとCの間に、(II)ではBとA, C, F, J, Totalとの間に、またGとC, F, J, Totalとの間に、有意な差があると認められた。平均値の差の

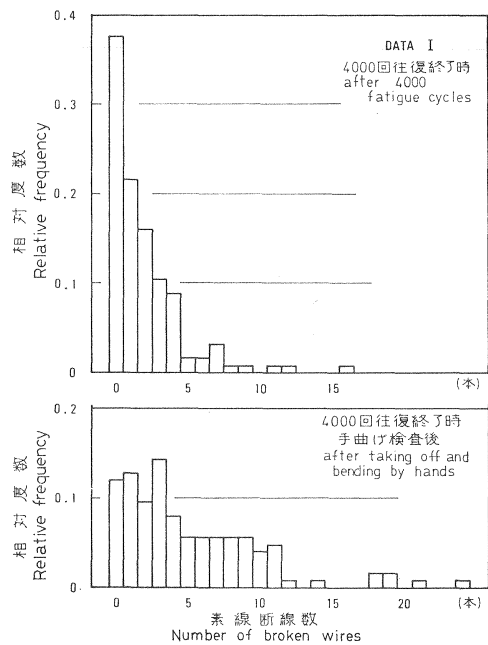


Fig. 19 手曲げ検査による断線数の変化
Increase of broken wires.

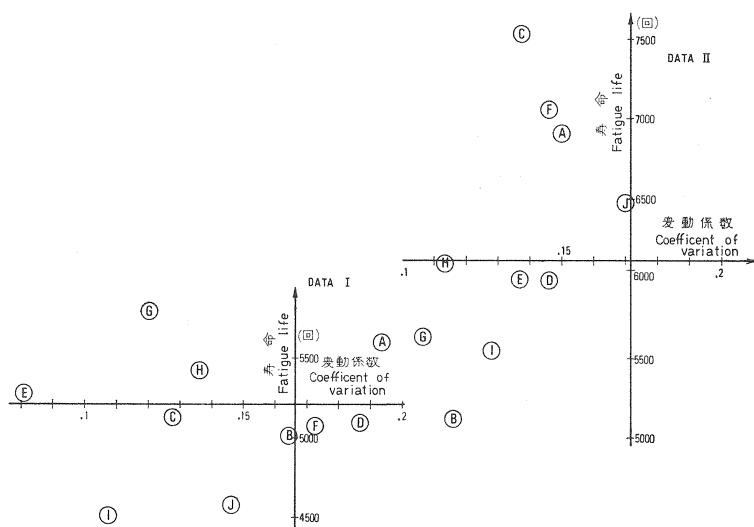


Fig. 20 製造会社間の寿命比較
Comparison of fatigue life between manufacturers'.

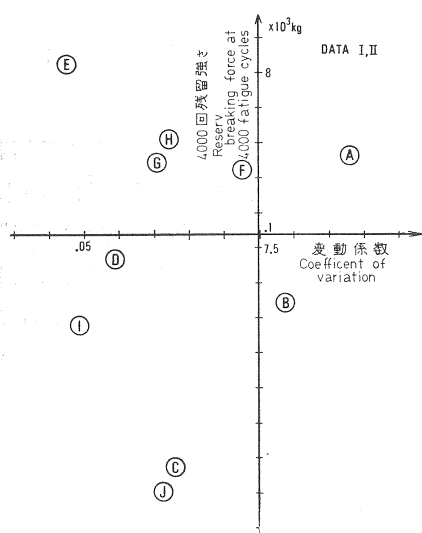


Fig. 21 製造会社間の4,000回往復残留強さ比較
Comparison of reserve breaking force after 4,000 fatigue cycles between manufacturers'.

検定によれば、データ（I）の中ではGが他よりも寿命値が大きく、IとJが小さいことが認められた。Totalすなわち全平均と比較した場合にも、Gは5%水準で有意差があり、IとJは小さいという有意差がある。データ（II）についてみると、Totalと比較してA、C、Fは寿命値が大きく、BとGは小さいことが有意となっている。

（2）4,000回往復後の残留強さについて（Fig. 21）この試験についてはデータ（I）とデータ（II）の間に試験方法の差はなく、同一に取り扱うことができる。（I）と（II）を合わせてグループ間の比較を行った。分散の差をみるといくつかのグループ間に有意な差があった。なかでもA、B、Fの分散が他よりも大きく、Eは小さい。

残留強さの平均値の差の検定の結果は、各グループをTotalと比較した場合に、Eは1%水準で、Hは5%水準で正の有意差があり、CとJは1%水準で負の有意差があった。

データ（I）とデータ（II）に分割して同様の検定をした結果でも、それぞれの中でE、C、Jは全く同じような有意差があり、Hは有意と判定できないまでも（I）、（II）いずれにおいても大きな t の値を示していた。

寿命と4,000回往復後の残留強さについてグループ間の差の検定を行ったが、寿命についてはデータ（I）とデータ（II）の場合に異なった結果が得られた。残留強さの比較では（I）、（II）およびそれら

を合わせた場合にも、グループ間にはほぼ同様の結果を得た。このことから寿命について(I)と(II)の間で比較の結果が異なるのは、その試験方法のちがいに起因するものと考えてよいであろう。寿命試験における断線の検査法と寿命判定の基準が、疲れ試験結果に大きな影響を及ぼしていることがわかる。また4,000回往復後の残留強さを求める試験において、ある程度くり返し数を多くとれば、その結果は再現性のあるものとなることがわかる。

4.8 ワイヤロープの耐疲労性に影響を及ぼす要因

測定値の相互の関連を知るために、疲れ試験結果と計測値のすべてについて相関関係を調べた。新品ワイヤロープに関する各測定値の間では、のび率と切断エネルギー(相関係数 0.86)、のび率とピッチ/索直径(-0.57)、素線径とストランド直径(0.49~0.61)、心線径と心線増径率(0.95)となっている。寿命試験に関連した測定値の間では、データ(II)の場合に寿命値と切断荷重(-0.81)、寿命値と残留エネルギー(-0.70)に負の高い相関がみられる。また寿命時の残留強さは残留エネルギーと相関が高かった(0.87)。4,000回往復残留強さ試験に関する測定値についてみると、残留強さと断線数(-0.63)、残留強さと残留エネルギー(0.78)との間にそれぞれ相関関係がみられた。

寿命試験と4,000回往復残留強さ試験で得られる測定値、とくに寿命および4,000回往復残留強さと、新品ワイヤロープから得られる測定値との関係をみると、これらの間に明確な相関関係を示すものはなかった。その中でも関連がありそうなものを挙げると、4,000回往復残留強さと新品時の切断荷重の間である(0.53)。素線の脱炭の程度と表面あらさは耐疲労性との相関関係がみられなかった。その他の項目の間では、疲れ試験ののび率と新品切断試験ののび率との間に相関関係がうかがえる(0.49, 0.45)。さらにこののび率は新品時の(ピッチ/索直径)と負の相関がある(-0.39, -0.49)。

寿命試験と4,000回残留強さ試験との間の関係についてみると、データ(I)では寿命値と4,000回往復残留強さの間に相関があるが(0.51)、データ(II)でははっきりしない。両方の疲れ試験におけるのび率は高い相関関係にある(0.84)。

以上はすべての測定値の間に直線関係を求めた結果であるが、この段階では耐疲労性に影響を及ぼしている要因を見いだすことはできなかった。曲線関係あるいは極値をもつような関係を見いだすには、測定値のばらつきが大きすぎる。前報において寿命との関連が大きいとしてあげられている要因である型付率と、4,000回残留強さの関係をプロットした例を Fig. 22 に示す。

4,000回残留強さ試験の結果の各製造会社間の比較では、4.7に述べたように結果のすぐれたもの2社と、劣るもの2社を概略区分することができた。そこでこの会社ごとに、とくにEとHおよびCとJに注目し、それぞれの測定値が他と異なる点、または特徴的な点を調べた。新品のワイヤロープの検査項目について平均値を比較した

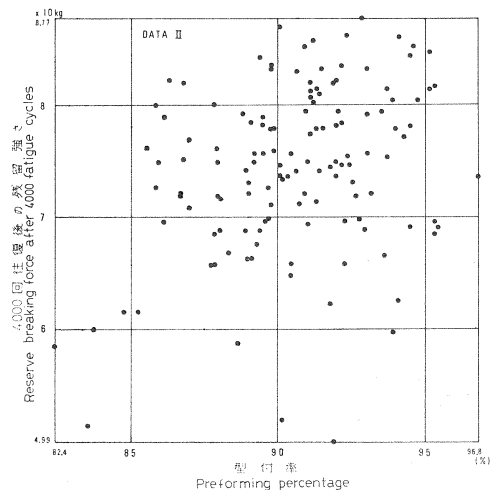


Fig. 22 型付率と4,000回往復後の残留強さ
Relation between preforming percentage and reserve breaking force after 4,000 fatigue cycles.

結果の概略はつぎのとおりであった。E と H については新品時の切断荷重が大きく、ワイヤロープ直径は小さく、心線増径率はやや小さくなっている。C と J はこれらと反対である。型付率はいずれにも差はなく 91～92% であった。

ワイヤロープは数多くの素線の集合からなる構造であり、線材の材質はもちろん設計・熱処理・伸線・より線など、その製造過程の各段階において化学的・物理的な特性が形づくられる。したがってその耐疲労性に影響を及ぼす因子の数は多く、それらが相互に影響し合っていると考えられる。寿命あるいは 4,000 回往復残留強さで表わされる耐疲労性に影響を及ぼす要因を、今回の試験結果から統計的な判断として、はっきりした関係を導くことは無理であった。この点についてはさらにデータの分析を進めるとともに、目的をはっきり定めた実験を試みる必要があるだろう。

4.9 供試ワイヤロープの中に見られた外観的な欠陥

疲れ試験のため数多くのワイヤロープがサンプルとして集められたが、その中には外観上あきらかに好ましくないとされるものが見られた。これらの欠陥は今回の疲れ試験の結果に、直接悪い影響を及ぼしているとは考えられないが、注意すべきことであろう。これらは製造過程に起因するものと、その後の取り扱い方によるものが含まれるが、ワイヤロープを使用する者として、ワイヤロープに対する関心を強く持つ必要があることを示している。

(1) 素線のサビ

素線のサビは外層線・内層線・心線のすべてあるいは一部にあり、その程度も全面にあるものから所々にあるものまで様々である。特定の素線 1 本にだけ全面サビが生じている例もあった。

(2) 型付け不良とうねり

ワイヤロープを平坦な面においた時にうねりがあるものが数例あった。またあるストランドがややふくらんでいるもの、よりの角度が少し不均一なものもみられた。ストランドに分解して平面上においた時に、明らかに不均一な波形を呈するものが 5 例みられた。

(3) 撚りキズ

ワイヤロープ製造工程で生じたと思われる明らかな撚りキズがロープ表面にみられるものがあった。

(4) そ の 他

製品についている検査証の記載と実物が異なるものがいくつかあった。ワイヤロープ直径が 13.14 mm あるにもかかわらず検査証では 12.7 mm となっていたもの、心綱がサイズルを使っていながら検査証ではジュートと表示されているもの（8 例）などである。また心綱に撚り込まれているはずのメーカを示す紙テープが入っていないものも 1 例あった。

む す び

林業用架空線集材装置に用いられるワイヤロープの中から、6×19, 12 mm（ワイヤロープ JIS 3 号品）を試料として選んで、一連の疲れ試験と製品検査を行った。その結果はこれまでに述べたとおりであるが、寿命とその分布の型、残留強さ、素線断線の発生状況、製造会社間の耐疲労性の比較などについては、一定の知見を得ることができた。これらはまた、異なった試験条件あるいは異なった種類のワイヤロープによる試験結果と比較するとき、さらに有効となるであろう。

ワイヤロープの寿命の推定、寿命に強く影響を及ぼす因子の分析などいくつかの点については、本報告

では不十分な点も少なくない。今後の研究にまたざるをえない。

ワイヤロープの疲れ試験機から得られる結果は当然のことながら、実際の使用状態における疲れの状況と対応して考えられるべきであろう。このためには集材作業現場における多量のデータの蓄積も必要となる。ワイヤロープの疲れに対する関心がさらに高まり、集材作業現場におけるワイヤロープの疲れ現象の、正確な観察と記録が増加することを期待したい。そのために本報告の内容が契機となり、少しでも役に立つならば幸いである。

引用文献

- 1) 石川栄助：実務家のための新統計学，槇書店，(1969)
- 2) 中村 宏・田中真一：機械の疲れ寿命算出法，養賢堂，(1972)
- 3) 日科技連編：信頼性データの解析，日科技連，(1969)
- 4) 日本材料学会編：金属材料疲れ試験便覧，養賢堂，(1968)
- 5) 農林水産技術会議事務局監修：農林水産試験研究における数理統計学的手法の理論と応用，農林統計協会，(1966)
- 6) 島田正三：信頼性と寿命試験，日科技連，(1968)
- 7) 塩見 弘・佐々木正文：信頼性演習，日科技連，(1968)
- 8) 上田 実・富永 貢：林業用鋼索の疲労に関する研究（第1報）作業索の繰返し引張り曲げ試験，林試研報，164，(1964)
- 9) 上田 実：集材機架空索の設計，農林出版，(1967)
- 10) 上田 実・斉藤敏彦・柴田順一：林業用鋼索の疲労に関する研究（第2報）主索に関する疲労試験，林試研報，213，(1968)
- 11) 鵜戸口英善ほか2名：材料力学（下巻），日本機械学会，(1962)
- 12) 未発表部内資料
- 13) 西岡多三郎：鋼索とその使用，(1963)
- 14) 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，(1967)

Study on the Fatigue of Wire Rope for Logging (III)

Fatigue life of operating rope (6×19, JIS No. 3)

Forest Machinery 1st Unit⁽¹⁾ and Wire Rope Testing Team,
Agematsu Transportation District Forest Office⁽²⁾

Summary

Here we reported the results of experiments on an operating rope that was subjected to simultaneous bending and tensile stresses under particular conditions on a wire rope fatigue testing machine. The experiments were planned on the basis of the results reported in the Bulletin of the Government Forest Experiment Station No. 164. "Study on the Fatigue of Wire Rope for Logging (First Report), Repeated tests of the operating rope under tension and bending" and carried out in 1967 to 1973.

The specimen of wire rope was 12 mm in diameter with a type of construction 6×19/o (6 strands of 19 wires each, with main core, bare steel wire, ordinary lay, orange oil, tensile strength of 165 kg/mm², breaking force specified of 7.92×10^8 kg). This is one of the most popular kinds of wire ropes being used as operating lines in cable logging systems in our country.

The samples for the fatigue tests were collected by the Forest Agency, Operation Div. from its logging sites. They were new articles and 30 meters in length. The number of those samples reached 248, consisting of ten different wire rope manufacturers' products.

We applied an inverse bending of exactly 90°, 180°, 90° (shown in Fig. 2a), because it aggravated the tests somewhat, and it allowed better and quicker differentiations in results. The pitch diameter of three test sheaves were 190 mm, and the tension in a wire rope was 350 kg. Test-pieces were during a single to-and-fro movement (one fatigue cycle) subjected to bendings, torsions, abrasive wear and slightly jerky tensions. The wire rope life was expressed in the number of fatigue cycles before the time when the amount of the broken wires on the test-piece increased to a limit. We called it the maximum allowable number of broken wires, and adopted twelve broken wires in one length of lay of wire rope as the limit.

Besides the fatigue life tests to examine the wire rope lives, we also measured the reserve breaking forces of the wire ropes subjected to 4,000 fatigue cycles under the same condition as for the fatigue life tests.

The following properties became evident after examining the experimental results.

1. The lives showed wide variations, and were considerably influenced by the method of measurements for finding out and counting the number of broken wires. The lives of group (I) varied from 3,400 to 7,600, the average being 5,211. The lives of group (II), in which the measurement of broken wires was done on the testing machine only by external appearances, showed a wider variation of 4,230 to 8,940, the average being 6,117.

2. As an inspection of the distribution pattern of lives, the frequency distributions could be fitted well by the normal distribution with the mean of 5,211 and standard deviation of 920 for the group (I), and with the mean of 6,117 and standard deviation of 1,050 for the group

Received November 11, 1977

(1) Forest Mechanization Division (2) Agematsu Transportation District Forest Office

(II). Slightly better goodness-of-fit could be given when lives were transformed into logarithms.

3. The agreement between the predicted mean life based on the results of the previous report and the measured wire rope lives was approximately good.

4. The reserve breaking forces of the wire ropes that had reached to the maximum allowable number of broken wires varied from 5.03 to 7.61×10^3 kg, the average being 6.55×10^3 kg for the group (I), and 1.34 to 7.99×10^3 kg, the average being 5.03×10^3 kg for the group (II).

5) The reserve breaking forces of the wire ropes subjected to 4,000 fatigue cycles varied from 4.99 to 9.15×10^3 kg, the average being 7.54×10^3 kg.

6. Significant differences in lives and reserve breaking forces between some manufacturers' wire ropes were clearly confirmed.

7. It was found that there were many factors affecting the wire rope fatigue lives, and it seemed that they interacted on each other. We can not point out clearly the predominantly causative factors that will be of help to estimate the wire rope lives.