

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⁽¹⁾
富 永 貢⁽²⁾

目 次

まえがき	80
1. S—N 曲線を求めるための疲労試験	81
1.1 緒 言	81
1.2 試験装置	82
1.3 試験項目ならびに試験条件	83
1.3.1 1 割断線までの往復回数	83
1.3.2 ロープ切断までの往復回数	84
1.4 試験結果	85
1.4.1 1 割断線までの往復回数	85
1.4.2 ロープの切断までの往復回数	86
1.5 試験結果の考察	86
1.5.1 1 割断線時の残留強度率	87
1.5.2 素線断線数と残留強度率	89
1.5.3 疲労にともなう伸び率について	90
1.6 S—N 曲線について	90
1.6.1 σ_b/σ_t より導かれた S—N 曲線	91
1.6.2 $(\sigma_b+\sigma_t)$ より導かれた S—N 曲線	92
1.7 文献による S—N 曲線の検討	93
1.7.1 シュツットガルト工科大学の場合	93
1.7.2 神鋼鋼線鋼索株式会社の場合	94
1.7.3 旅順工科大学の場合	96
1.8 結 言	98
2. ワイヤロープの各社比較試験	99
2.1 緒 言	99
2.2 試験方法	100

(1) 経営部作業科機械研究室長

(2) 経営部作業科機械研究室員

2.2.1 試験装置および試験条件	100
2.2.2 供試ロープ	100
2.2.3 試験実施要領	100
2.3 試験結果	101
2.3.1 寿命について	101
2.3.2 各種要因の比較	101
2.3.3 心綱の比較	103
2.3.4 素線の表面のあらさ	103
2.3.5 素線の顕微鏡組織	104
2.3.6 素線の硬度	104
2.3.7 ロープの燃り癖	105
2.4 結果の考察	105
2.4.1 使用条件の相違にもとづくロープの疲れについて	107
2.4.2 心綱の影響	108
2.4.3 型付率の影響	109
2.5 結 言	109
あとがき	110
文 献	110
Résumé	111
付録 1. 供試ロープの試験成績	112
付録 2. 各種条件下における1割断線したロープの外観写真	113
付録 3. 各社性能比較試験成績表	116
付録 4. 素線の表面のあらさ写真	130
付録 5. 素線の顕微鏡組織写真	132

ま え が き

わが国林業において木材搬出のためにワイヤロープが使用される量は、わが国鋼索鋼捻線需要量の約10%にのぼり、この数字はさらに増加の趨勢にあるので、ワイヤロープの使用ならびに保守管理に関する研究は林業においてもなおざりにできないものがある。

さて林業用ワイヤロープはほとんど集材機、索道で使用され、用途で大別すると木材をつるした搬器が走行する主索と、搬器を走行させるための補助的役目をする作業索とに分かれるが、ワイヤロープの受ける張力ならびに応力は計算式はもとより、ワイヤロープの直径、構造等でも大きな相違点をもち、ワイヤロープの疲労を取り扱う際両者を同時に取り扱うわけにゆかぬものがある。本稿はそのうち作業索として使われるワイヤロープの疲労について述べる。

従来ワイヤロープの研究は当時（約30年前）盛況を示した炭鉱関係でかなり活発に行なわれて現在におよび、またワイヤロープ製造会社においても継続して各種の試験が行なわれてきたので、わが国だけでも

多くの試験報告があるが^{1)~5)}、これらはほとんど滑車にワイヤロープが巻きついた状態で繰返し曲げを受ける疲労試験報告であるので、林業においても大いに参考にはなるが、試験条件が林業の現状とかなり異なっているため、そのデータをそのまま適用できないというらみがある。

一般に鋼材などの材料強度は $S-N$ 曲線によって表わされ、機械設計において必要欠くべからざるものになっているが、ワイヤロープの $S-N$ 曲線についてはいまだ適当なものがなかった。従来ワイヤロープの疲労試験結果は滑車直径と素線直径の比 D/d を横軸に、寿命を縦軸にとって、そのときの引張応力ごとにそれぞれ描かれてきたが、その曲線相互にはあまりはっきりした規則性がないため任意の引張応力における D/d と寿命との関係線図を描くことは困難であった。このためワイヤロープの寿命は使用期間あるいは搬出回数でまかかにはあらわすにとどまるため、索張り方式や安全率、作業速度等の相違によるワイヤロープの寿命の比較ができないため合理化推進上苦慮することが多かった。

つぎにワイヤロープは、通商産業省による日本工業規格（以下 JIS と呼ぶ）表示工場の認可を得たものの 20 数社のほかに、かなり小規模の会社のもので含めると約 100 社によって製造されているといわれるが、それらの販売価格はほぼ会社の規模に対応した差異があるため、ワイヤロープ購入にあたり製造会社の選定に迷うのが実情である。すなわち、JIS 認可工場の製品と認可をとっていない工場の製品との性能が、価格相当地に優劣があるものかどうか、また JIS 認可工場の製品であっても価格のひらき相当の性能の相違があるものかどうかが不明であり、このような性能を比較した試験報告も社内的のものはあるが、公表されたものはないので、ワイヤロープの選定基準を何におくか判断に苦しんできた。さらに現場における架空索関係の事故において、新品の主索が切断したような場合は吊荷重量等で一応事故の原因は究明できるが、疲労断線の場合は製品の優劣にまでさかのぼって究明することは至難であるため、現場担当者の不安あるいは焦慮は想像に難くない。

本稿は以上のようなことを打開するために行なわれた試験報告であり、第1章においては $S-N$ 曲線に主眼をおきその求め方について検討し、ついで他の研究所において行なわれた疲労試験データについても $S-N$ 曲線を求めその妥当性を確かめた。第2章においては JIS 認可工場の中から数社の 3 号品 10 mm ロープを選び、疲労試験を行ない、これより各社の $S-N$ 曲線を求め、その相違をもたらしたと考えられる要因について比較検討を行ない、ワイヤロープ購入にあたって着目すべき指標事項を示した。本試験は約1年半にわたって行なわれ、その間多くの専門家に意見を聞き、また助言を得た。特に東京大学工学部助教授工学博士岡村引之氏には $S-N$ 曲線に関して懇切な指導を受け、科学技術庁金属材料技術研究所総理府技官上田輝之氏および工業技術院機械試験所第5部通商産業技官工学博士中村虔氏、防衛大学校教授本多三雄氏の3氏からは鋼線の組織等に関して有益な教示を受けた。また東京製綱株式会社監査役新保勉氏からは $S-N$ 曲線に関連して有益な助言を得た。さらに林業試験場経営部作業科長米田幸武氏には試験遂行上多大の便宜と協力を得たほか、試験結果の考察で助言を得た。ここに記して深甚の謝意を表す。

1. $S-N$ 曲線を求めるための疲労試験

1.1 緒言

ワイヤロープの安全性および経済性を確保するための方策は種々あるが、まえがきにおいて述べたようにワイヤロープの $S-N$ 曲線をもつことが先決問題である。しかし、この $S-N$ 曲線についてはこれま

で特にこの問題について触れた人がなく、ワイヤロープの疲労線図は例の D/δ と寿命 N で表現されてきた。鋼材等の $S-N$ 曲線は水平部分の疲れ限度が機械設計の場合に重要な値となっているが、寿命を $10^6 \sim 10^7$ も必要としない場合は当然傾斜の部分が問題になる。これに対して林業では短期間で集材施設を移動させる場合が多いので、架設撤去を輕易にするため並滑車も小型で、したがってワイヤロープは非常に大きな曲げをうけ、かつ作業中の引張安全率もあまり大きくとっていないため、ロープの寿命が $10^6 \sim 10^7$ まであるような場合は少なく、せいぜい 10^4 ぐらいの寿命であるのが大半である。ゆえに、林業でもっとも欲しいものは 10^4 あたりまでの寿命と応力の関係線図である。

本試験は当初 D/δ がワイヤロープの寿命にどのように影響するかをしらべるため、林業の使用条件に近い D/δ と引張安全率をそれぞれ 3 水準とって試験を行ない、データを種々検討した結果、ロープの場合も $S-N$ 曲線が引けることがわかったので、さらに条件を拡張したところ、データは初め求めた $S-N$ 曲線の延長線上にのることが判明した。そこでこのことを、他の研究所ですでに発表されたデータについて念のため調べたところ、同様 $S-N$ 曲線が得られることがわかった。

なお従来疲労試験は $\cap$ のような S 曲げあるいは $\supset$ のような L 曲げによって行なわれたものが多いが、なるべく現場の使用状態に近似させる意図で $\cap$ のような S 曲げと $\supset$ のような L 曲げについて繰返し曲げ疲労試験を行なった。

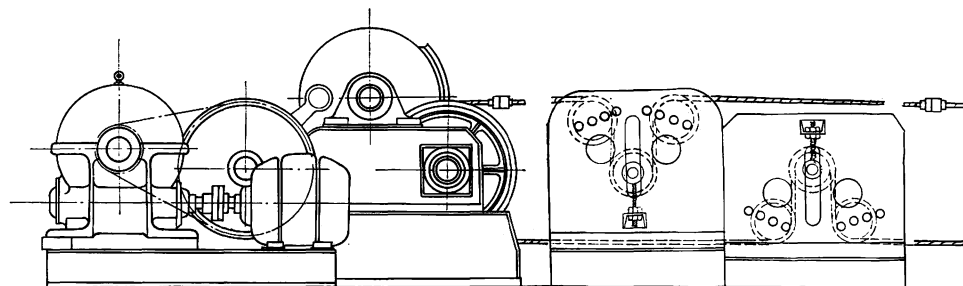
1.2 試験装置

本試験装置は図 1.2—1 に示すように駆動装置、張力負荷装置および曲げ装置よりなる引張り往復曲げ疲労試験機である。図は S 曲げ装置 2 台をとりつけて試験した時の状態を示す。 L 曲げの場合は図 1.2—2 に示す L 曲げ装置を受索輪のかわりに配置し、その右端を S 曲げの場合と同様引張る。供試ロープは両端を合金止めし、同様合金止めした駆動用ロープと連結用金具で結合した。各装置の概要を述べるとつぎのとおりである。

1.2—1 駆動装置 駆動装置はクランク機構によって駆動用ドラムを往復運動させるもので、1 分間 28 往復、最高速度 1.5 m/sec、ロープ移動長 1.25 m である。駆動ドラムの往復回数を求めるために、ドラム軸の近傍に駆動ドラム 1 往復で 1 目盛動く数取器をもつ。

1.2—2 張力負荷装置 受索輪の支持台を 3 枚 4 枚の引締滑車で引張り、供試ロープに張力を与える装置であり、引締索の緊張は重錘による。

1.2—3 S 曲げ装置ならびに L 曲げ装置 両装置とも 5 とおりの直径の滑車 (70, 110, 150, 190,



駆動装置

S 曲げ装置

270 mm) が交換取り付けられる。また S 曲げ装置は S 曲げの部分が図のごとく平行のままで滑車間隔を 60~180 mm の範囲で調整できる (ただし、270 mm を除く)。

ここに滑車直径はロープが半周巻かれた場合のロープの中心距離 (Pitch Dia.) をもって称呼することにする。また滑車の溝底の曲率半径はロープ半径の約 1.1 倍である 5.5 mm とした。

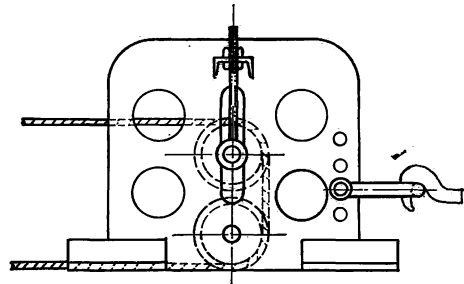


図 1.2-2 L 曲げ装置

1.3 試験項目ならびに試験条件

(1) 供試ロープ

本試験に用いたワイヤロープはわが国でもっとも優秀であるといわれている某会社の製品 1,200 m の巻わくのはぼ真中から採った 6×19 裸 % 2 種 10 mm のワイヤロープであり、該製品の社内検査書を示すと付録 1 のとおりである。

(2) 試験期間

昭和 37 年 5 月より昭和 38 年 3 月まで。試験順序は S 曲げが全部終了してから L 曲げを行なった。

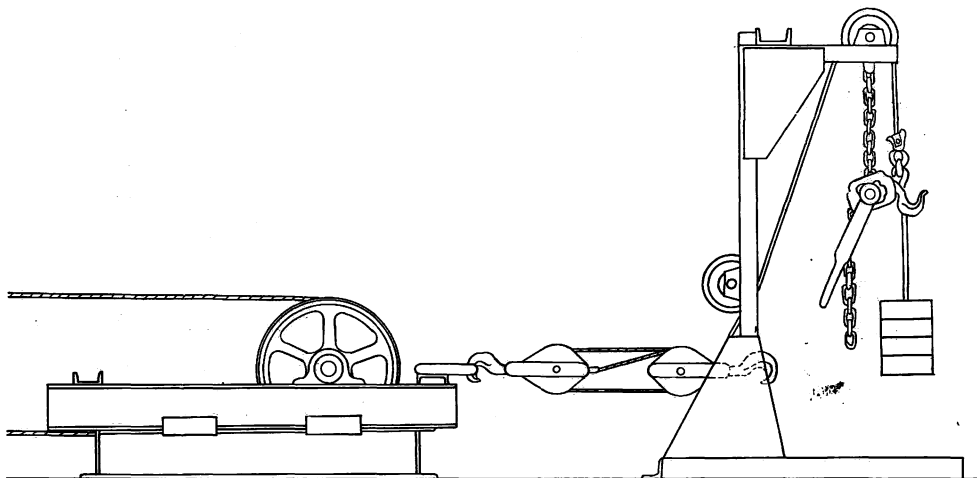
1.3.1 1割断線までの往復回数

(1) 1割断線とは、外観から肉眼で検査して1撚り長間 (約 65 mm) に構成素線の1割が断線していることをいい、本試験の場合供試ロープの構成は 6×19 であるから素線総本数は 114 本であり、12 本の断線をいう。

(2) 試験条件を示すと表 1.3-1 のとおりである。

(3) 試験機の運転はつぎの往復回数ごとに約 10 分の休止時間を設けた。

これは連続運転すると摩擦熱のため供試ロープは表面温度が 50~70℃ に上昇し、強度の低下するおそ



受索輪

張力負荷装置

試験装置

れがあるためである。

張 力 (kg)	350	700	1,050	1,400
滑車直径 (mm)				
110	500回	500回	300回	200回
150	1,000	1,000	500	400
190	2,000	2,000	1,000	1,000

表 1.3—1 1 割断線までの往復回数を求めるための試験条件

曲げの 種 類	滑 車 直 径 (D) (mm)	張 力 (T) (kg)	滑車間隔 (mm)	供試ロープ
S	110, 150, 190	350, 700, 1,050, 1,400	60, 180	6×19裸 % 2 種 10 mm
L	70, 110, 150 190, 270	$\left(\begin{array}{c} \sigma_t \text{ (引張応力)} \\ 10, 20, 30, 40 \\ \text{kg/mm}^2 \end{array} \right)$	240	
摘 要	1. D/δ の値はつぎのとおりである。 106 ($D=70$), 167 ($D=110$), 227 ($D=150$), 287 ($D=190$), 409 ($D=270$) ただし $\delta=0.66$ mm とする。			
	2. σ_t はつぎのごとくして求めた。 ロープ断面積 (A) = (JIS 切断荷重) ÷ (索線抗張力) = $5.5 \text{ t} \div 165 \text{ kg/mm}^2$ = 33.3 mm^2 $\sigma_t = \frac{T}{A}$			

(4) 1 割断線をした供試ロープはワイヤロープ引張試験機 (容量 25 t) で切断し、新品時の切断荷重に対する残留強度率を求めた。

1.3.2 ロープ切断までの往復回数

(1) 試験条件を示すと表 1.3—2 のとおりである。

表 1.3—2 ロープ切断までの往復回数を求めるための試験条件

曲げの種類	滑 車 直 径 (mm)	張 力 (kg)	滑 車 間 隔 (mm)	供 試 ロ ー プ
S	110	1,050, 1,400	180	6×19 裸
	150	350, 700, 1,050, 1,400	60	% 2 種
	190	1,050 1,400	180	10 mm

(2) 試験機の運転休止基準は前項と同様である。

(3) 往復回数の増加にともなうワイヤロープの残留強度率をもとめるため、たとえば滑車直径 110 mm, 張力 1,050 kg の場合は 300 回まで運転してそのロープは取りはずし、つぎに新品ロープでふたたび試験を行ない 600 回まで運転してそのロープを取りはずし、同様順次往復回数を増加させてゆき、最後にロープが切断するまで試験を行なった。

(4) 運転休止時間中につぎの要領でロープの伸びを測定した。すなわち、供試ロープの両端にあるソケットの端面間の間隔をスチールテープで測定した。

なお 1 本のロープの試験に要する日数はおおむね 1~2 日であったので、この間の伸びをしらべるた

め、張力 1,400 kg の状態で 45 時間静止させておいたところその伸びは 0.6 mm であり、この伸びは十分無視できる。

(5) 試験の終了した供試ロープは引張試験機で切断試験を行なった。

(6) 試験は2台の S 曲げ装置を図 1.2—1 のように並べ、2本の供試ロープが同時に試験できるようにし、これにより2本のロープのパラツキもしらべられるようにした。

1.4 試験結果

1.4.1 1 割断線までの往復回数

1 割断線までの往復回数を表示すると表 1.4—1 のとおりである。またこのロープの残留強度率を示すと表 1.4—2 のとおりである。なお本表中 () 書でそのロープの1 撚り長の最大断線数を示したが、12本の断線でないものがあるのはつぎのような理由による。すなわち、断線の発生してゆく状態はほぼ規則的ではあるが、ちょうど12本の断線のところで試験機をとめることは困難なことで、供試ロープ全体の断線状態から11本くらいところで試験をやめたこともある。また9本くらいの断線であるためまだよいと思ってつぎに止めたところわずかな運転で20本以上も断線したこともあるので、それらの経験から10本で試験をうちきることもあった。

表 1.4—1 1 割断線までの往復回数 (単位 10^3)

		S 曲 げ						L 曲 げ				
		60			180			240				
		110	150	190	110	150	190	70	110	150	190	270
350	10	1.4	2.8	12.0	1.6	4.0	12.0	1.0	6.0	14.0	32.0	91.0
700	20	1.1	2.5	5.6	1.2	2.4	6.5	0.85	3.5	9.0	15.0	33.0
1,050	30	0.9	2.0	4.0	1.0	1.95	4.0	0.80	2.6	5.0	7.5	24.0
1,400	40	0.8	1.6	2.5	0.8	1.6	3.2	0.55	2.0	3.25	6.0	11.5

表 1.4—2 1 割断線時の残留強度率 (%)

滑車間隔 滑車直径 張 力		60 mm				180 mm			
		mm 110	150	190	平 均	110	150	190	平 均
kg	350	(10以上) 55	(9) 76	(20以上) 22	(13以上) 51	(20以上) 18	(10) 44	(12) 29	(14以上) 30
	700	(15以上) 58	(15) 55	(11) 69	(14以上) 61	(12) 56	(10) 55	(11) 55	(11) 56
	1,050	(10) 51	(12) 71	(11) 64	(11) 62	(11) 65	(12) 55	(10) 60	(11) 60
	1,400	(9) 69	(11) 80	(10) 60	(10) 70	(13) 65	(20) 80	(12) 78	(15) 7
平 均		(11以上) 58	(12) 70	(13以上) 54		(14以上) 51	(13) 58	(12) 55	

備考: 1. () 書は素線断線数を示す。
2. S 曲げ試験の場合である。

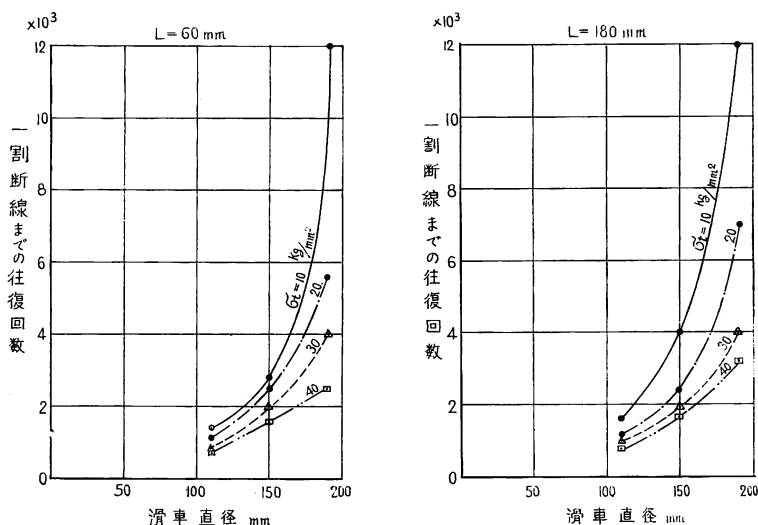


図 1.4—1 滑車直径と 1 割断線までの往復回数との関係 (S 曲げの場合)

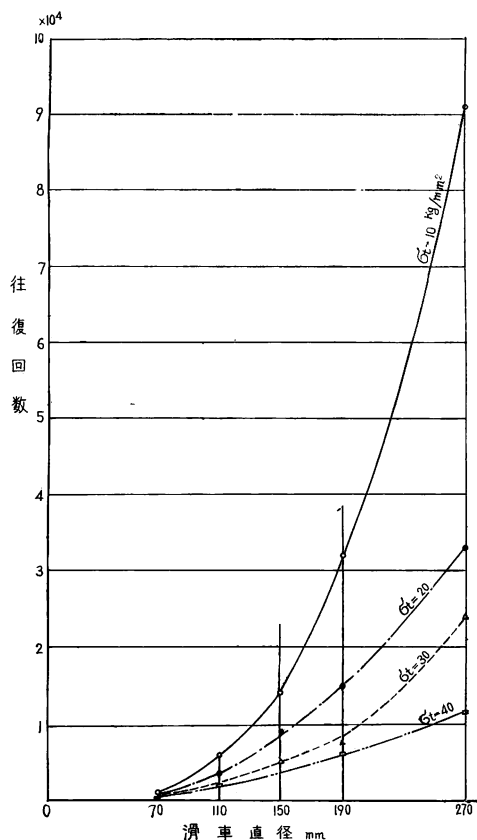


図 1.4—2 滑車直径と 1 割断線までの往復回数との関係 (L 曲げの場合)

表 1.4—1 を図示すると、図 1.4—1 および図 1.4—2 のごとくなる。

1.4.2 ロープ切断までの往復回数

試験結果を表示すると表 1.4—3 ~5 のとおりである。表中伸び率はロープの移動長 125 cm に対する伸びを % で示したものである。これらの表をつかって、残留強度率と往復回数の関係を図 1.4—3 に、残留強度率と断線数の関係を図 1.4—4 に、断線数と往復回数との関係を図 1.4—5 に、伸び率と往復回数との関係を図 1.4—6 に示す。

1.5 試験結果の考察

労働安全衛生規則第 170 条の 17 にワイヤロープの廃棄基準が示されているが、そのうち「1 燃の間において素線数の十分の一以上の素線が切断した時」という条項がある。この 1 割断線したワイヤロープは何ゆえ廃棄せねばならぬかということは、事業計画にたずさわる管理者側

表 1.4—3 滑車直径 110 mm の場合のロープ切断までの往復回数

張 力	往 復 回 数	切 断 荷 重	残 留 強 度 率	素 線 断 線 数	伸 び	伸 び 率
(kg)	300(回)	6.0(t)	109(%)	0(本)	1.6(mm)	1.28(%)
		6.1	111	0	2.1	1.68
	600	5.8	105	0	1.8	1.44
		6.0	109	0	2.1	1.68
1,050	900	3.9	71	10	—	—
		5.4	98	2	—	—
	1,000	3.4	62	14	2.5	2.00
		4.7	85	4	2.1	1.68
	1,049	0	0	全部	—	—
		4.3	78	—	—	—
	200	6.0(t)	109	0	2.2	1.76
		5.9	107	0	2.0	1.60
	400	5.9	107	0	2.0	1.60
		5.4	98	0	2.3	1.84
1,400	600	5.3	96	2	2.2	1.76
		5.8	105	0	2.8	2.24
	800	4.4	80	10	1.6	1.28
		4.8	87	1	1.8	1.44
	952	0	0	全部	—	—
		4.6	84	8	—	—

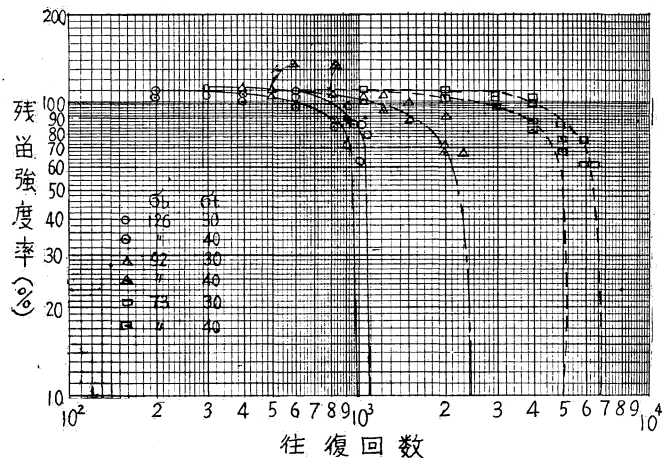


図 1.4—3 往復回数と残留強度率との関係

はもとより、現場担当者あるいは作業員がぜひ知っておかねばならぬ事項であるので、このことを中心にワイヤロープの疲労について試験結果から考察を加えたとつぎのとおりである。

1.5.1 1割断線時の残留強度率

1割断線時の残留強度率は表 1.4—2 に示したが、これをみると、素線断線が 12 本を超過するものが大部あるので、ちょうど1割断線したワイヤロープの残留強度率を知ることはむずかしいが、おおむね 50~80% の範囲にあるようである。また滑車間隔が 60~180 mm の残留強度率を比較してゆくと、両者間には顕著な差はないようであるが、張力の影響は若干あるようで、張力が増加してゆくにつれ残留強度率はわずかずつではあるが増加の傾向にあるのに対し、滑車直径の影響ははっきりした傾向はない。以上のことからつぎのことが考えられる。

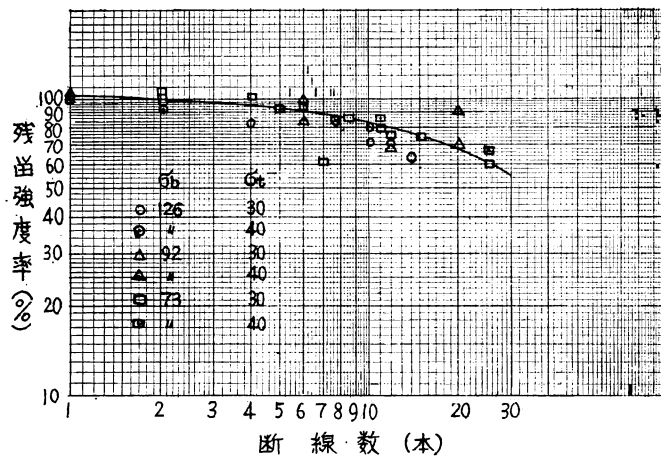


図 1.4—4 (1 撚り長の最大素線) 断線数と
残留強度率との関係

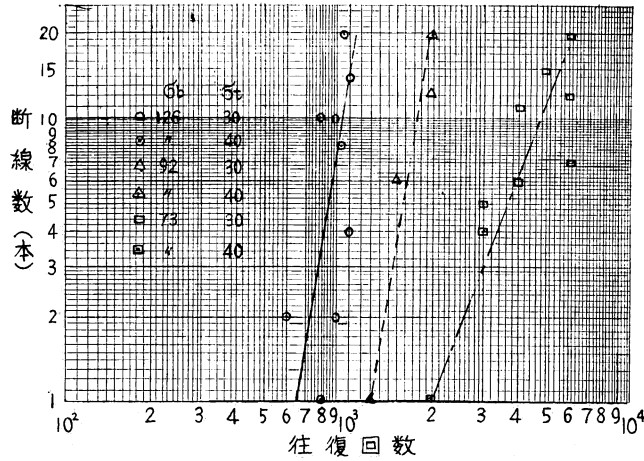


図 1.4—5 往復回数と (1 撚り長の最大素線)
断線数との関係

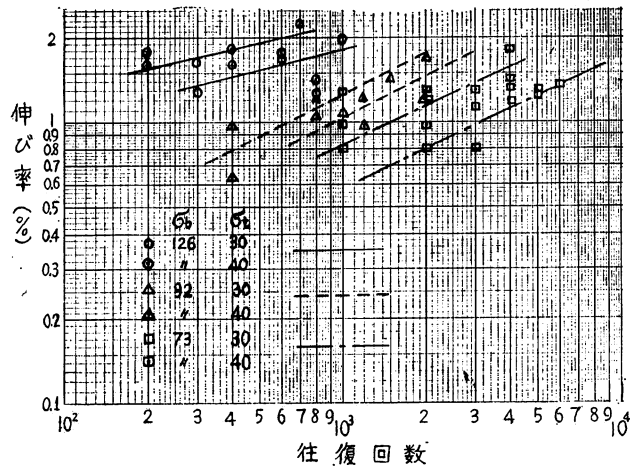


図 1.4—6 往復回数と伸び率との関係

表 1.4—4 滑車直径 150 mm の場合のロープ切断までの往復回数

張 力 (kg)	往復回数(回)	切断荷重(t)	残留強度率(%)	素線断線数(本)	伸 び(mm)	伸 び 率(%)
350	1,000	5.9	107	0	—	—
		5.5	100	0	1.3	1.04
	2,000	4.8	87	3	1.5	1.20
		5.9	107	3	1.5	1.20
	3,000	5.1	93	10	1.0	0.80
		4.7	85	10	1.2	0.96
	4,000	3.3	60	15	1.8	1.44
		3.7	67	15	1.5	1.20
	5,000	2.5	45	20	1.5	1.20
		1.7	31	20	1.2	0.96
	6,100	—	—	—	—	—
		0	—	—	—	—
700	1,000	5.5	100	0	1.0	0.80
		5.3	96	0	1.6	1.28
	2,000	4.8	87	7	—	—
		5.6	102	7	—	—
	3,000	3.0	55	15 以上	3.0	2.4
		4.1	75	15 以上	1.5	1.2
	3,315	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—
1,050	500	5.8	105	0	—	—
		5.9	107	0	—	—
	1,000	5.4	98	0	1.30	1.04
		5.8	105	0	1.8	1.44
	1,500	4.8	87	6	1.8	1.44
		5.7	103	6	—	—
	2,000	3.8	69	12	1.50	1.20
		3.9	71	12	2.20	1.76
	2,350	3.7	67	—	—	—
		0	6	—	—	—
1,400	400	5.9	107	0	0.80	0.64
		5.9	107	0	1.20	0.96
	800	5.9	107	0	1.30	1.04
		5.9	107	0	1.50	1.20
	1,200	5.0	91	1	1.20	0.96
		5.8	105	1	1.50	1.20
	2,000	3.3	69	20 以上	—	—
		4.9	89	20 以上	—	—
	2,187	—	—	—	—	—
		0	0	—	—	—

張力が高いときはワイヤロープと滑車との接触圧力ならびに小繩相互間の接触圧力が高くなるので、接触部分の素線だけは特に大きな応力を受け、このためこの部分がさきに疲労断線をおこしても、接触していない部分は単なる曲げによる応力だけを受けているため、さほど疲労はしていないが、張力が低い場合はそれらの接触圧力が低いので前者と異なりロープ全体が疲労してゆく傾向があるため、見かけの断線は同じでも残留強度は張力の高いものより低い結果を示したものと考えられる。

1.5.2 素線断線数と残留強度率

6×19 構成のワイヤロープは曲げを受けるとすぐ残留強度率が低下するのではなく、ロープが切断するまでの往復回数の 60% ぐらいまではほとんど 100% を維持しているが、それを過ぎると急激に減少する

表 1.4—5 滑車直径 190 mm の場合のロープ切断までの往復回数

張力 (kg)	往復回数(回)	切断荷重(t)	残留強度率(%)	素線断線数(本)	鋼索の伸び (mm)	伸び率 %
1,050	1,000	6.0	109	0	1.0	0.80
		6.0	109	0	1.0	0.80
	2,000	5.9	107	0	1.0	0.80
		6.0	109	0	1.5	1.20
	3,000	5.8	105	4	1.0	0.80
		5.7	103	2	1.0	0.80
	4,000	5.7	103	2	1.5	1.20
		5.4	98	6	1.7	1.36
	5,000	4.6	84	9	1.6	1.28
		4.0	73	15	1.7	1.36
	6,000	4.1	74	12	1.8	1.44
		3.3	60	7	1.8	1.44
	6,512	3.3	60	26	—	—
		0	0	全部	—	—
1,400	1,000	5.7	103	0	1.2	0.96
		6.0	109	0	1.6	1.28
	2,000	5.6	102	1	1.2	0.96
		5.7	103	0	1.6	1.28
	3,000	5.8	105	2	1.4	1.12
		5.2	95	5	1.6	1.28
	4,000	4.6	84	11	1.8	1.44
		4.3	78	11	2.3	1.84
	5,032	0	0	全部	—	—
		3.6	65	26	—	—

ことが図 1.4—3 よりわかる。これを素線断線数と関係づけて考察すると図 1.4—5 に示すように初期断線はおおむねロープ切断までの往復回数の 50% のところで起こり、1 割断線は 80% のところでおこる傾向にあるから、初期断線を発見したらその時までの曲げ回数から 1 割断線までの曲げ回数がほぼ推定できる。またこの時の残留強度率は初期断線のときは 100% あるが、1 割断線のときは 60~70% であることも図よりわかる。これらのことからいかに 1 割断線が大事な点であるかが理解できるし、保安上も重要な事項である。しかしこれらの情報は 6×19 の構成のワイヤロープに対するもので、他の構成のものについては今後試験により確かめるつもりである。

1.5.3 疲労にともなう伸び率について

作業索は主索のように両端固定で使用されることはほとんどないので、ロープの伸び率を認知することは困難であるが、新品時の撚り長をあらかじめ求めておくと、ある程度撚り長から伸び率が推定できるので参考までに図 1.4—6 を示した。これよりわかることはワイヤロープが疲労して切断するころになると伸び率はほぼ 1.5~2% になるということと、滑車径が大きくなるほど、また張力が高い方が伸び率は高くなる傾向をもつということである。

1.6 S—N 曲線について

緒言において述べたようにワイヤロープの寿命を D/δ であらわすことは適切でないのでつぎのような配慮のもとにワイヤロープの S—N 曲線を求めることを試みた。すなわち S—N 曲線においてはまず応力振幅が問題になるが、本試験の場合供試ロープの受ける応力振幅は滑車のところでロープが受ける曲げ応力であるので、この曲げ応力を振幅にとって供試ロープの応力変化を図示すると図 1.6—1 のごとくなる。図のように、供試ロープは滑車に接触するまでは、滑車に接触する側もしない側も同じ引張応力 σ_t を

もつが、滑車に接触するとロープの下側は引張りの曲げ応力 σ_b を受けるから外縁では $(\sigma_t + \sigma_b)$ であり、ロープの上側は圧縮の曲げ応力を受けて $(\sigma_t - \sigma_b)$ となる。このようにして描かれた供試ロープの応力変化をみると、S 曲げ L 曲げの双方とも高い応力を受ける側に断線を見るはずであるが、試験結果はその反対で S 曲げの場合はほぼ 2:1 の割合で上側に断線が多く、L 曲げの場合はほとんどが内側に断線をおこし、外側に断線のであることはまれであった。このような事実をみると、当初 1 次曲げだけで応力変化図を描いたのが適当でなく、2 次曲げ（ロープの引張

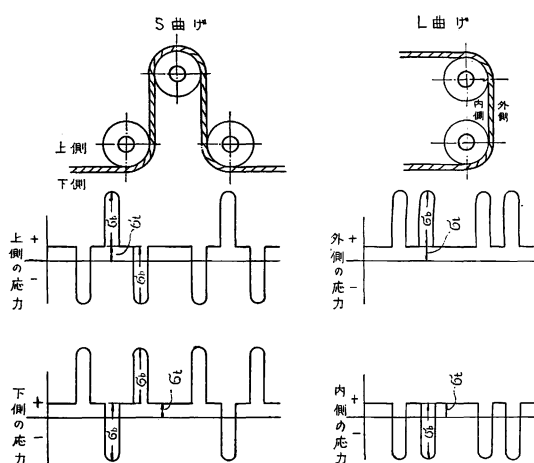


図 1.6—1 1 往復間の応力変化図

力によって滑車の底面をロープが押しつけ、それを受けとめた素線に働く曲げ応力のことで、6×19 普通撚りのような構成のロープは小繩と小繩素線の撚り方向が反対であるので外層の素線同志は交叉して接触することになり、外層素線はあたかも 2 点支持の梁に横荷重が作用した状態になり、圧縮の曲げ応力を受ける。これを 2 次曲げという等も考慮に入れる必要がある。しかし、この配慮をしなくても一応 S—N 曲線は求められるので、本稿は簡単に 1 次の曲げ応力だけで論をすすめる。

ここに、1 次の曲げ応力は一般に使われている次式により求めた。

$$\sigma_b = E_b \frac{\delta}{D}$$

ただし、 E_b : ワイヤロープの曲げ応力弾性率で、 $2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ にとった。 δ : 素線直径 (=0.66 mm とした)。D: 滑車直径 (Pitch Dia. 単位 mm)

1.6.1 σ_b/σ_t より導かれた S—N 曲線

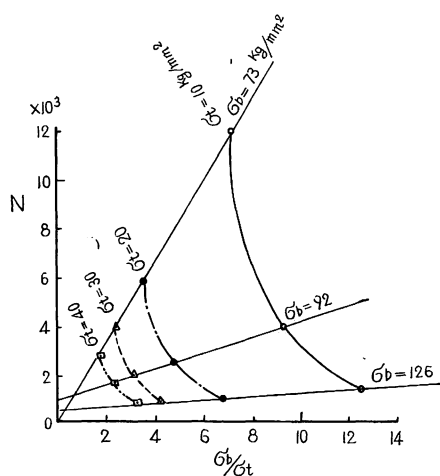
前述のごとく応力振幅は σ_b であるが、 σ_t が 1 割断線までの往復回数（以下寿命と称呼）と無関係であるという表示方法は不合理であるので、いろいろ考えた結果、表 1.4.1 の S 曲げのデータを用いて σ_b/σ_t と寿命 N とを普通目盛の方眼紙にプロットしてみたところ、図 1.6—2 のように σ_b が同じ点はほぼ直線についていることがわかった。このことからつぎのことがいえる。すなわち、 $\sigma_b = \text{const.}$ いいかえると滑車直径が一定の場合は

$$N = N_0 + f \cdot \frac{1}{\sigma_t} \dots\dots\dots (1)$$

$$(N_0 = 0 \sim 1,000)$$

の関係が成立し、 $N_0 = N_0(\sigma_b)$ 、 $f = f(\sigma_b)$ は σ_b によって変わる定数である。

(1) 式において $N_0(\sigma_b)$ 、 $f(\sigma_b)$ がわかれば与えられ


 図 1.6—2 σ_b/σ_t と N (1 割断線までの往復回数) との関係、ただし S 曲げの場合

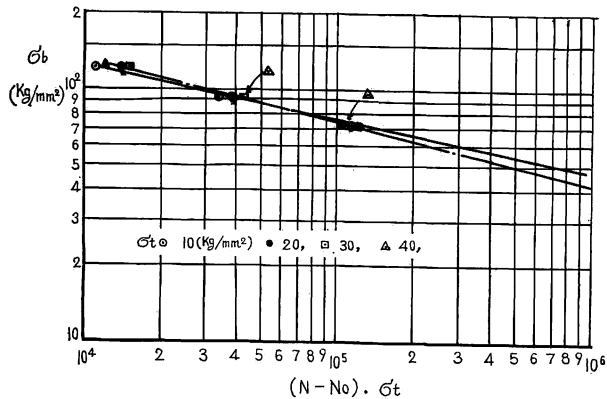


図 1.6—3 $(N-N_0) \cdot \sigma_t$ と σ_b との関係、ただし S 曲げの場合で、 $N_0=500$ とする。

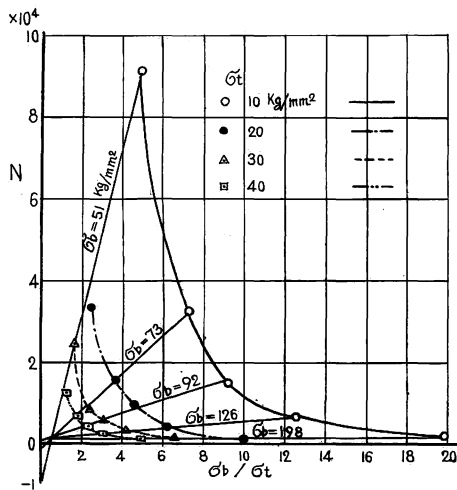


図 1.6—4 σ_b/σ_t と N との関係、ただし L 曲げの場合

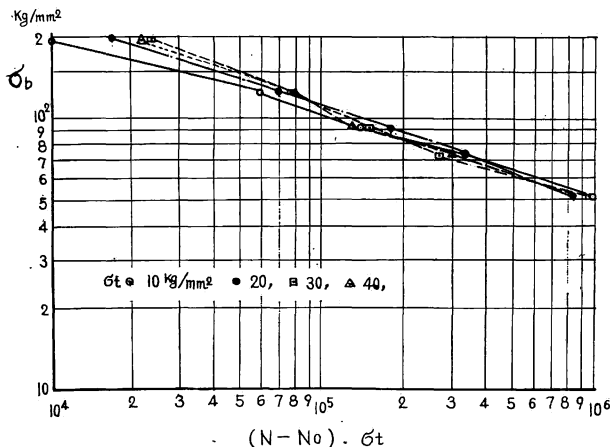


図 1.6—5 $(N-N_0) \cdot \sigma_t$ と σ_b との関係、ただし L 曲げの場合で、 $N_0(\sigma_b=51)=-9 \times 10^3$ 、 $N_0(\sigma_b=73)=-1.5 \times 10^3$ 、 $N_0(\sigma_b=92, 126, 198)=0$ とする。

た σ_b 、 σ_t の値に対する寿命 N が推定できる。しかし N_0 は滑車直径が 190 mm ぐらいになると N にくらべて小さいので省略できるようなのであるが、省略することなく一応 σ_b によらず

$$N_0(\sigma_b) = \text{const.} = 500$$

とすると (1) 式は

$$N = 500 + f(\sigma_b) \cdot \frac{1}{\sigma_t} \dots\dots (2)$$

となり、 $f(\sigma_b)$ の函数関係が求められればよい。そこで (2) 式を変形して

$$(N - N_0) \sigma_t = f(\sigma_b)$$

ただし $N_0=500$

なる式が成立すると考えられるので、 $(N - N_0) \sigma_t$ と σ_b との関係を求めればよいことになる。これを描いたのが図 1.6—3 であり、 σ_b が大きい範囲を除いては σ_t によらず $f(\sigma_b)$ が 1 つの曲線にのる傾向がみられ、これを σ_b が小さい範囲に外挿することができる。

たとえば、 $(N - N_0) \sigma_t > 10^6$

となるためには図より $\sigma_b < 42 \text{ kg/mm}^2$ と推定される。また

$$(N - N_0) \sigma_t > 10^6 \text{ とは } \sigma_t = 10 \text{ kg/mm}^2$$

とすると $(N - N_0) > 10^5$ となる。

以上のことは L 曲げの場合も図 1.6—4~5 に示すように同様の結果が得られた。

1.6.2 $(\sigma_b + \sigma_t)$ より導かれた S—N 曲線

疲労は応力振幅が主要因子であるから、普通鋼材等の場合にならって縦軸に σ_b を普通目盛でとり、横軸に N を対数目盛にとって表 1.4—1 の S 曲げのデータをプロットしてみたが、希望するような線図が得られないので σ_b も対数目盛にとってみたところ、図 1.6—6 のように同一引張応力の点は

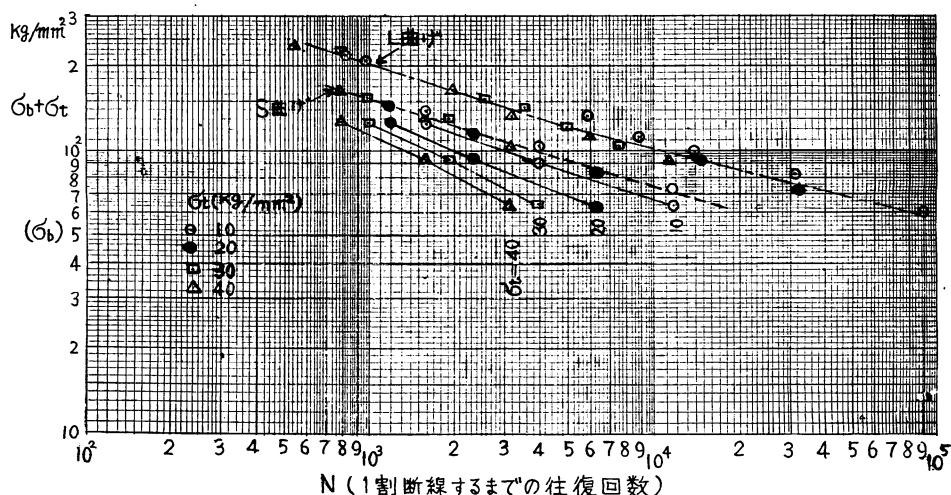


図 1.6—6 寿命と σ_b または $(\sigma_b + \sigma_t)$ との関係

ほぼ直線関係にあることがわかった。しかして、これらの線は1つの線上に重なってよいはずであると考え、 $(\sigma_b + \sigma_t)$ としてプロットしてみたところ、全部のデータは同図「S 曲げ」と矢印した線上に乗ることがわかった。そこで同様のことを「L 曲げ」の場合にも行なってみたところ同図「L 曲げ」と矢印した線が得られた。

この疲労線図は前項のものより求め方が簡単であることと、普通の S—N 曲線とよく似た表示法であるので今後ワイヤロープの S—N 曲線は本方式によることにする。

1.7 文献による S—N 曲線の検討

ワイヤロープの疲労試験に関する報告はかなりの数にのぼるが、「1 撚り長間の素線断線数が1割」になるまでの曲げ回数を求めた疲労試験報告は見あたらず、「100 cm 間で素線断線が7本」というようなもののしかないので、本試験で得られたデータと直接比較することはむずかしいが、「S—N 曲線を求める手法」が適当であるか否かをしらべることはできるので、以下 2~3 の文献について検討した。

1.7.1 シュットガルト工科大学の場合

(1) 引用文献： 林業機械化情報，第7号，1950

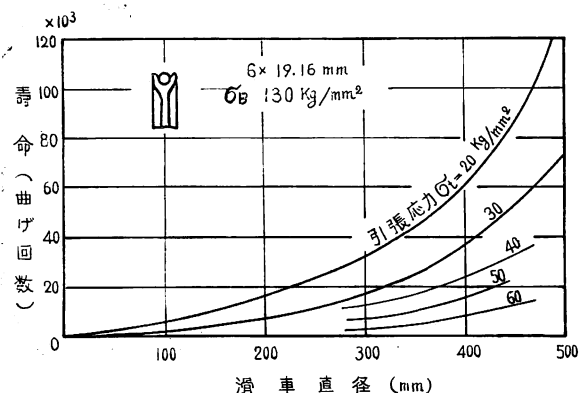


図 1.7—1 R. WOERNLE のデータ

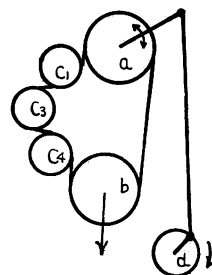


図 1.7—2 試験装置

表 1.7—1 R. WOERNLE の実験データより読みとった N ならびに算出した σ_b

引張応力 σ_t (kg/mm ²)	滑車直径 (mm)	$\sigma_b + \sigma_t$ (kg/mm ²)	N	備 考
20	300	90	3.2×10^4	1. $E_b = 2.1 \times 10^4$ kg/mm ² 2. $\delta = 1.05$ mm 3. $\sigma_b = E_b \cdot \frac{\delta}{D}$ $D = (\text{滑車直径}) + (16\text{mm})$ 4. σ_b の値 滑車直径 300 mm のとき 70 kg/mm ² 350 〃 60 400 〃 53 450 〃 47 500 〃 43 5. 供試ロープ 6×19 16 mm 裸, 普通撚
	350	80	4.5	
	400	73	6.0	
	450	67	8.4	
	500	63	11.6	
30	300	100	1.8	
	350	90	2.6	
	400	83	3.7	
	450	77	5.3	
	500	73	7.3	
40	300	110	1.3	
	350	100	1.8	
	400	93	2.4	
	450	87	3.2	
50	300	120	0.9	
	350	110	1.1	
	400	103	1.5	
	450	97	2.0	
60	300	130	0.4	
	350	120	0.6	
	400	113	0.8	
	450	107	1.2	

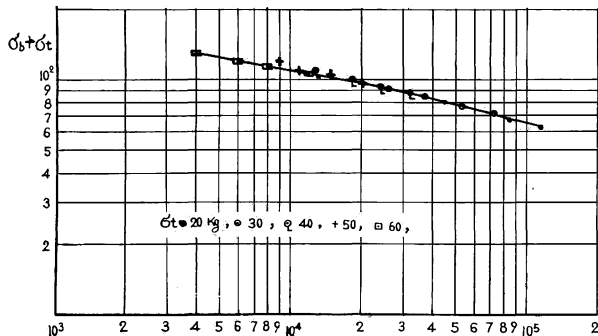
題 名: 鋼索の寿命に関する研究

訳 者: 本多三雄

実験者: R. WOERNLE

試験時期: 1927~1928

(2) データ 紹介されたデータを示すと図 1.7—1 のとおりである。

(3) 試験装置 図 1.7—2 に示すように回転板 d によって a が旋回する。 a は駆動滑車, b は緊張用滑車, c は供試滑車で容易にとりかえができる。滑車の往復回数は毎分 22~44 回である。(4) 取りまとめ要領 滑車直径 300, 350, 400, 450, 500 mm の線で各 σ_t ごとに寿命を読みとり, $E_b = 2.1 \times 10^4$ kg/mm² として曲げ応力を算出し表 1.7—1 を得た。ただし, 供試ロープは 6×19 16 mm であるので $\delta = 1.05$ mm とし, 滑車直径は溝底部の直径と考え, ロープの曲率半径はロープの径を加算することにした。図 1.7—3 R. WOERNLE の場合の $S-N$ 曲線(5) $S-N$ 曲線 表 1.7—1 を用いて $S-N$ 曲線を描くと図 1.7—3 のごとく各点はほとんど直線上に乗ることがわかる。

1.7.2 神鋼鋼線鋼索株式会社の場合

(1) 引用文献 吉野政次著「高抗張力鋼線の製造におよぼす諸因子並に鋼線とワイヤロープの疲労に関する研

表 1.7—2 神鋼鋼線の実験データ 6×7 C/L (2種) 22 mm の場合

デ ー タ		計 算 内 容		摘 要
張 力 T	曲げ回数 N	$\sigma_t = T/A$	$\sigma_t + \sigma_b$	
kg		kg/mm ²	kg/mm ²	
2,000	35×10 ⁴	11.2	35	$A = T_B/\sigma_B = 29,300 \text{ kg}/165 \text{ kg/mm}^2$ $= 178 \text{ mm}^2$ $\sigma_b = E_b \cdot \delta/D = 24.2 \text{ kg/mm}^2$ ただし $E_b = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ $D = 2,000 \text{ mm}$ $\delta = 2.42 \text{ mm}$ $N = 5.8$ ピッチ区間 5 本断線するまでの曲げ回数
3,000	27.5	16.8	41	
4,000	25.5	22.5	47	
5,000	17.74	28.1	52	
6,000	11.74	33.7	58	
7,000	10.20	39.3	63	
8,000	9.10	45.0	69	

表 1.7—3 神鋼鋼線の実験データ 6×19% (2種) 10 mm の場合

デ ー タ		計 算 内 容		摘 要
張 力 T	曲げ回数 N	$\sigma_t = T/A$	$\sigma_t + \sigma_b$	
kg				
1,830	3.1×10 ³	51.6	104	ロープ断面積 $A = T_B/\sigma_B = 5,500 \text{ kg}/165 \text{ kg/mm}^2$ $= 35 \text{ mm}^2$ $\sigma_b = E_b \cdot \delta/D = 52.8 \text{ kg/mm}^2$ ただし $E_b = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ $D = 250 \text{ mm}$ $\delta = 0.66 \text{ mm}$ $N = 300 \text{ mm}$ 区間で 15 本素線断線するまでの曲げ回数
1,370	3.6	38.6	91	
1,100	4.1	31.0	84	
920	4.8	25.9	79	
790	6.0	22.3	75	
690	6.8	19.4	72	
550	8.2	15.5	68	
460	9.7	12.9	66	
390	11.8	11.0	64	

究」p. 99~120, 第 5—6 表, 第 5—8 表。

(2) データを表示すると表 1.7—2, 3 のとおりである。

(3) 試験装置を示すと図 1.7—4, 5 のとおりである。図 1.7—4 は 6×7 22 mm に用いた試験装置であり、船舶技術研究所式引張回転曲げ疲労試験機⁹⁾に若干の改造を加えたものである。図 1.7—5 は 6×19 16mm の試験装置であり、引張往復曲げ疲労試験機である。

試験条件を示すとつぎのとおりである。

前者はシーブ径が 2,000 mm で素線の標準直径が 2.4 mm であるから D/δ は約 830 で、試験機の回転数は 120 r.p.m., マシン油の噴射量は試験片にそって 8 立/分 で、試験の温度範囲は大約 35~45°C である。

後者はシーブ径 250 mm で、上シーブのみを使用した一方曲げ試験で、接触角は 59°20', 回転数は 17 r.p.m. で懸念するほどの摩擦熱を生ずることがないので空冷状態である。

(4) S—N 曲線 表 1.7—2, 3 を用いて S—N 曲線を描くと図 1.7—6 のごとく、各点は図 1.7—3 のごとくきれいな直線にはのらないが、1つの曲線には乗っているようである。しかしこの曲線も、ある狭い範囲では直線性があるようである。われわれの試験において疲労断線した素線の破面をみると試験条件によってかなり異なるので、このことと関連づけて考えると全部の点が1つの直線に乗ることが不思議であって、このように1つの曲線にのることの方が妥当なのかもしれない。

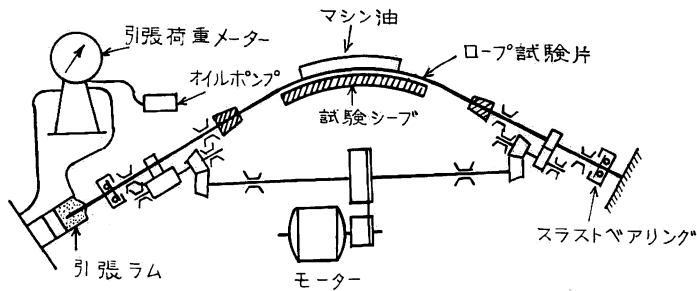


図 1.7—4 6×7 22 mm の場合の試験装置

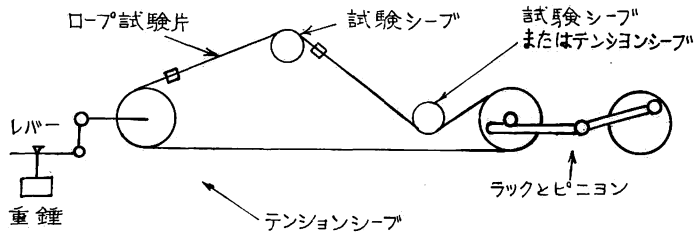


図 1.7—5 6×19 16 mm の場合の試験装置

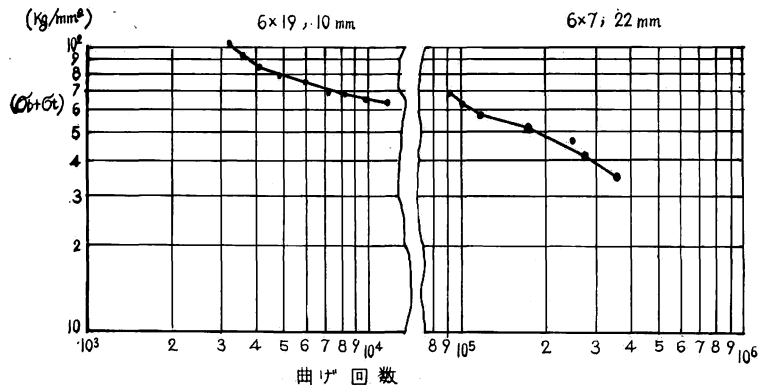


図 1.7—6 吉野政次の場合の S—N 曲線

1.7.3 旅順工科大学の場合

(1) 引用文献 水田準一「堅坑捲網の安全率に就て」, 旅順工科大学紀要第12巻5号, 1939。

(2) 試験装置を示すと図 1.7—7 のとおりである。旅順工大の試験は同一材料の素線, 小繩, ロープの3者について同一応力条件で疲労試験を行ない, 撚りによる疲労強度の低下まで考察しているが, 本稿ではこのうちロープに関するデータだけを引用した。

(3) データを示すと表 1.7—4 のとおりである。

(4) S—N 曲線 表 1.7—4 を用いて S—N 曲線を描くと図 1.7—8 のごとくなる。この図をみると引張応力が 2.5 kg/mm^2 の点だけは全然他の点から逸脱しているが, 引張応力が 10 kg/mm^2 以上の点はおおむね普通然, 不反発然ともそれぞれ1つの曲線を描いていることがわかる。しかしてこの試験は, N が $10^4 \sim 10^6$ の相当長寿命にわたる試験であるので, データはゆるい曲線を描くが, 10^5 以下の部分ではほぼ直線とみなしてもよい部分がある。また引張応力が 2.5 kg/mm^2 のようにほとんど零に近づくとワイ

表 1.7—4 旅順工大の実験データ

引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ直径 D (mm)	実験 回数	平均曲げ 回 数	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	$\sigma_t + \sigma_b$	摘 要
2.5	241	2	$3,119 \times 10^4$	90.1	93	1. オーヂナリー普通撚りとする。 2. 直径 9.18 mm 3. 素線直径 公称 1.02 mm 実測 1.017 mm 4. 素線の引張強さ 155~162 kg/mm ² 5. 鋼索の構造 6×7×1.017 6. 寿命……1 m 当たりの素線の切断数 7 か所にいたるまでの曲げ回数をいう。 7. $E_s = 21,370$ kg/mm ²
	291	2	(17,87)	74.7	77	
	341	3	10,483	63.7	66	
	391	2	>200.	55.6	58	
10	291	2	2,999	74.7	85	
	391	3	6,702	55.6	66	
	491	3	52,055	44.3	54	
20	491	3	4,611	44.3	64	
	591	3	8,685	36.8	57	
	691	4	27,317	31.4	51	
	741	3	123,375	29	49	
	991	2	>231,000	22	42	
30	491	3	3,906	44	74	
	741	3	5,601	29	59	
	891	2	23,503	24	54	
	1,191	1	>309.	18	48	
40	691	3	3,809	31	71	
	891	3	5,756	24	64	
	991	3	8,414	22	62	
	1,191	3	25,583	18	58	
2.5	191	2	7.63	113.7	116	1. オーヂナリー不反撥撚りとする。 2. 他は上欄に同じ。
	241	3	14.7	90.1	93	
	291	3	121.317	74.7	77	
10	241	4	3,534	90.1	100	
	341	3	11,485	63.7	74	
	391	3	47,098	55.6	66	
20	291	2	2,138	74.7	95	
	441	2	11,010	49.3	69	
	491	2	14,853	44.3	64	
	541	3	43,086	40.1	60	
40	591	3	4,533	36.8	77	
	741	3	6,299	29	69	
	891	3	15,241	24	64	
	991	3	31,887	22	62	
	1,191	1	318.0	18	58	

ヤローブは単に曲げ応力だけで疲労するが、引張応力が 10 kg/mm² 以上になると二次屈曲等による曲げ応力も加算された疲労になるので、両者の間に異なる S—N 曲線が描かれたものと考えられる。しかし実際に、引張応力が零に近い状態で使用されることはまれであるから、本稿のごとく ($\sigma_b + \sigma_t$) だけで S—N 曲線を求めても実用上はさしつかえなさそうである。

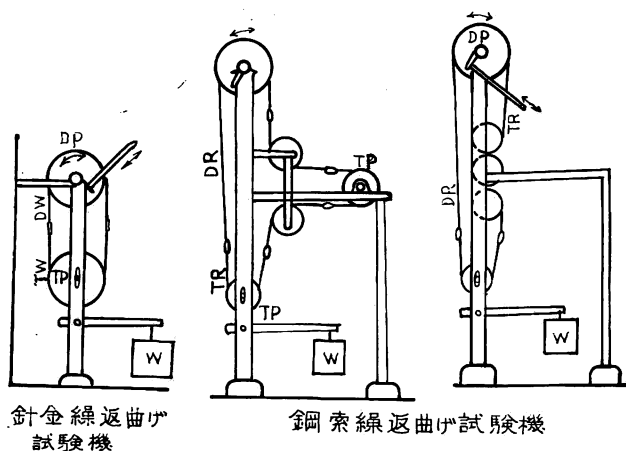


図 1.7—7 水田準一の場合の試験装置

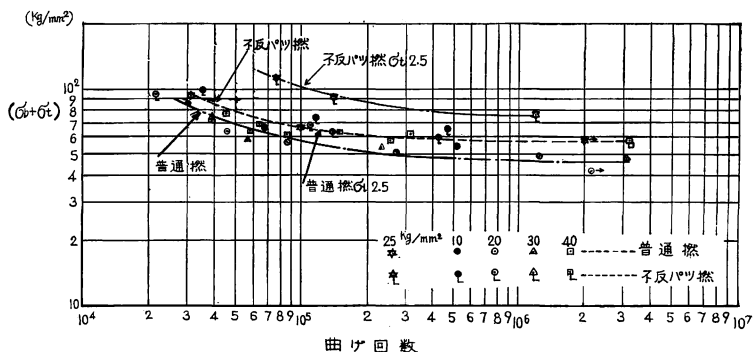


図 1.7—8 水田準一の場合の S—N 曲線

1.8 結 言

往復式引張曲げ疲労試験機により 6×19 裸%2 種 10 mm ロープについて疲労試験を行なった結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) 1 撚り長間における最大の索線断線数が 1 割に達するまでの往復回数を寿命として、張力を 350, 700, 1,050, 1,400 kg, 滑車直径 (Pitch Dia.) を 110, 150, 190 mm とってこの組み合わせた各条件について寿命を求めたところ、これには図 1.6—2, 4 に示すような直線関係があることがわかったので、これを種々検討したすえロープにも鋼材等にみられる S—N 曲線が求められることがわかった。すなわち、ロープの曲げ応力を $\sigma_b = E_b \frac{\delta}{D}$ (ただし $E_b = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$) で求め、 σ_t は、 $\sigma_t = T/A$ として、この両者の和 ($\sigma_b + \sigma_t$) と寿命 N を両対数方眼紙にプロットすると、ほぼ直線状の S—N 曲線が得られる。よってこのことをドイツ、シュツットガルト工科大学輸送工学研究所の R. WOERNLE, 神鋼鋼線鋼索株式会社の吉野政次、旅順工科大学の水田準一の発表しているデータについて確かめたところ、この方法でいずれも S—N 曲線が得られることがわかった。

しかしこの方法は、ロープの 2 次屈曲等による曲げ応力を加味していないので、引張応力が零に近いデータまでも一緒にすることはできないようであるし、($\sigma_b + \sigma_t$) の高い点からかなり低い点までの間にはゆる

やかな曲線を描くことが引用したデータから推察された。

(2) この試験データからまたつぎのことがわかった。すなわち1割断線時におけるワイヤロープの残留強度率はほぼ60~70%あるが、これからロープが切断するまではいくばくもないので、ロープの断線状態にはたえず注意する必要がある。

(3) 本試験はS—N曲線を求めることに主力をそそいだので、試験途中の断線経過や疲労状況などを詳細にしらべなかったため、これらについては触れないが、ただ1割断線した時の外観写真は各条件ごとに撮ったので、参考までに付録2に掲載した。これを通覧してわかることは、滑車直径が小さく引張力が大きくなるにつれて、谷断線が増加し山断線は少なくなるが、その反対に滑車直径が大きく引張力が小さくなると、ほとんど山断線だけになる傾向がある。このことは今後の研究に重要な意味をもつものと考えられる。

(4) S曲げとL曲げの寿命比較を図1.6—6に示すS—N曲線により行なうと、応力の高いところではL曲げはS曲げの約2.5倍であるが、応力の低いところは約4倍である。従来一方曲げの寿命は反対曲げの寿命の2倍と一般にいわれているが、応力によって様ではないということは興味深いことである。

2. ワイヤロープの各社比較試験

2.1 緒 言

ワイヤロープの切断荷重は少なくともJIS認可工場の製品については構成・直径・種別が同じであれば、メーカーによってさほど大きな差異はなく、また切断荷重がロープの耐疲労性を左右するともいえないので、各メーカーのロープの性能を比較する場合、現場において実際使用してその実績で比較することが確かではあるが、同一条件の使用状態などで寿命比較をすることは現実には望み薄であるため、実験的に疲労試験を行ない、この結果で判定するより良策がなさそうである。したがって、問題は実験結果をいかに判断するかが主眼点となる。

一般にワイヤロープの寿命を左右すると考えられる要素は、つぎのようなものである。

- a. 繰返し曲げ疲労
- b. 外部および内部腐蝕
- c. 摩耗（外層線摩耗、素線相互摩耗）
- d. その他

このうち繰返し曲げ疲労の要素は非常に重要ではあるが、これ単独でワイヤロープの寿命判定の資料とすることはできない。疲労したロープの断線状態を注意深く観察すると、前記各要素の影響した割合がほぼ推察されるからである。しかしながら、これらの要素がロープの寿命にどのような比重で影響するかを明らかにした試験報告は少ないので、極力前記各要素の影響が推定できるような繰返し曲げ疲労試験が望ましい。幸い1章における試験結果から、ワイヤロープにもS—N曲線が引けることがわかったので、現場の条件に近い応力範囲で、その両端の点と、念のためその中央点付近で1点とり、計3点における寿命を求めると各社のS—N曲線は求められる。さらに前の試験でわかったことは応力の高いところと低いところでは疲労断線の様相が対称的で、前者が素線相互間の塑性変形から出発した谷断線であるのに対し、後者は外層素線摩耗による山断線であり、明らかに断線の原因が異なるので、さきに掲げたa項

と c 項の影響を知る上の参考資料にもなると考えられる。

以上述べたような理由により試験条件は 3 点とし、かつ S 曲げと L 曲げの寿命の比率は 1 章の試験結果よりほぼ推定できるので、試験結果の早くでる S 曲げによることにした。

2.2 試験方法

2.2.1 試験装置および試験条件

試験装置は 1 章に同じである。

試験条件はつぎのとおりである。

滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	応 力 (kg/mm ²)		
		σ_b	σ_t	$\sigma_b + \sigma_t$
110	1,400	126	40	166
150	700	92	20	112
190	350	73	10	83

ただし、1 章の試験同様 $E_b = 21 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ 、 $\delta = 0.66 \text{ mm}$ として σ_b を求め、滑車直径はピッチダイヤであり、ロープ断面積は一様に 35 mm^2 とした。

2.2.2 供試ロープ

供試ロープは JIS 認可工場のうちから 10 社を選定し、原則として営林署ですでに購入してあった新品の 3 号品、6×19 裸 % 2 種 10 mm を使うことにし、各社 30 m ずつのロープについて試験を行った。

試験したロープの会社名をアルファベット順で示すとつぎのとおりである。

朝日製綱所、出原工業、川崎製鉄、興国鋼線、神鋼鋼線、昭和製綱、帝国産業、東京製綱、東洋製綱、大和工業。

なお本試験はわずか 30 m で各ロープメーカーの比較試験をしているので、この結果で各社の優劣をきめることは無理であると考え、当方で適宜設けた記号によって社名を称呼することにした。なお同じ会社で、2 つの供試ロープを入手したものについては、たとえば D₁、D₂ と表わすことにした。

2.2.3 試験実施要領

試験の実施要領を示すとつぎのとおりである。

1) 前章同様供試ロープを試験機に取りつけ、所定の張力をかける。つぎに供試ロープの中央付近の直径および撚り長を測定し、かつ伸び率を求めるため両ソケット間の間隔を測定する。

2) 各試験条件ごとにつぎの往復回数ごとに、10 分間の運転休止時間を設けた。

滑車直径 (mm)	断線をみるまで	断線を発見 してから	断線が 5 本以上 になったら
110	200 回	100 回	50 回
150	500	200	100
190	1,000	500	10 本から 100 回ごと

3) 断線検査要領

断線検査は運転休止ごとにつぎの要領で行なった。すなわち、1 撚り長の間で最も断線の多い個所を探し、その断線の発生位置によってつぎのように区別して断線数を数えた。

- ① 山断線 小繩の山の部分の断線をいう。
- ② 谷断線 小繩相互の接触により生じた断線をいう。
- ③ 上下の区分 断線は滑車に2回接触する側と1回接触する側で発生本数に大きな差があるので、前者は上側になるので上側と呼び、後者を下側と称呼して区別した。

4) 前にも述べたごとく、本試験は1 撚り長間に最大1 割断線すなわち 11～12 本の素線が断線するまでを寿命として、これに達するまでの往復回数を求めた。

5) 試験終了の供試ロープは引張試験機(容量 25t)で切断試験を行ない、残留強度率を求めた。ただし、

$$\text{残留強度率} = \frac{(\text{切断荷重})}{(\text{新品時切断荷重 (2本の平均値)})} \times 100$$

6) 試験順序 供試ロープの入荷が区々であったので、入荷の順で試験を行なった。

2.3 試験結果

本試験で得られたデータを各社ごとに一括表ならびに図で示すと付録3のごとくなる。これを用いてそれぞれの事項を比較するとつぎのごとくなる。

2.3.1 寿命について

各社の寿命を表示すると表 2.3—1のごとくなるが、比較を容易にするため滑車直径 110 mm で寿命のいちばん長い会社を 100% として、各社の寿命を % であらわすことにした。これを図示したものが図 2.3—1 である。

2.3.2 各種要因の比較

表 2.3—1 各社の寿命比較表

条 件 寿命と百分率 社名	滑車直径 110 mm 張 力 1,400 kg		150 mm 700 kg		190 mm 350 kg		% 合 計
	N	%	N	%	N	%	
A	825	100	2,450	100	10,500	100	300
B	770	93	2,700	110	11,250	107	310
C	680	83	2,800	114	14,300	136	333
D ₁	700	85	2,700	110	10,000	95	290
D ₂	770	93	2,600	106	9,700	92	291
E	725	88	2,250	92	8,500	81	261
F	750	91	2,050	84	7,875	75	250
G	700	85	2,200	90	9,500	90	265
H ₁	728	88	2,250	92	7,500	71	251
H ₂	680	83	2,100	86	7,800	74	243
I ₁	600	73	2,000	82	7,250	69	224
I ₂	650	79	2,200	90	7,500	71	240
J ₁	500	61	1,500	61	7,000	67	189
J ₂	800	97	2,600	106	10,250	98	301

表 2.3—2 各種要因比較表

種 別 試験条件 社名	残留強度率 (%)			試験前 ロープ直径 (mm)			試験前 燃り長 (mm)			伸
	滑車直径 110mm	150	190	110	150	190	110	150	190	110
	張力 1,400kg	700	350	1,400	700	350	1,400	700	350	1,400
A	77.7	76.8	57.2	10.15	10.22	10.30	65.3	65.0	64.8	1.40
B	77.5	59.5	70.3	10.05	10.15	10.25	68.0	68.3	68.1	2.10
C	58.2	65.5	40.0	10.15	10.55	10.78	—	—	65.5	1.80
D ₁	71.0	72.0	71.0	9.95	10.10	10.05	66.2	65.2	66.6	0.76
D ₂	72.8	71.0	67.5	10.10	10.20	10.30	67.0	68.2	68.1	1.16
E	79.0	77.2	75.4	10.20	10.25	10.25	66.0	65.8	66.4	1.12
F	72.9	67.8	71.2	10.22	10.22	10.30	67.1	66.5	66.7	1.16
G	74.0	76.0	72.0	10.30	10.30	10.48	67.6	66.9	67.0	1.12
H ₁	80.0	74.0	78.0	9.92	10.25	10.30	72.6	72.8	72.8	0.60
H ₂	71.7	76.6	83.4	10.12	10.12	10.20	69.6	71.1	70.3	0.84
I ₁	65.0	66.0	84.0	10.25	10.30	10.30	68.8	68.5	68.7	0.96
I ₂	78.0	79.0	82.6	10.20	10.22	10.27	68.5	68.3	68.4	0.72
J ₁	73.0	76.0	76.0	10.25	10.30	10.35	(ただし張力 0 65.0)			1.44
J ₂	73.0	76.0	76.0	10.10	10.25	10.35	66.7	65.7	65.5	0.96

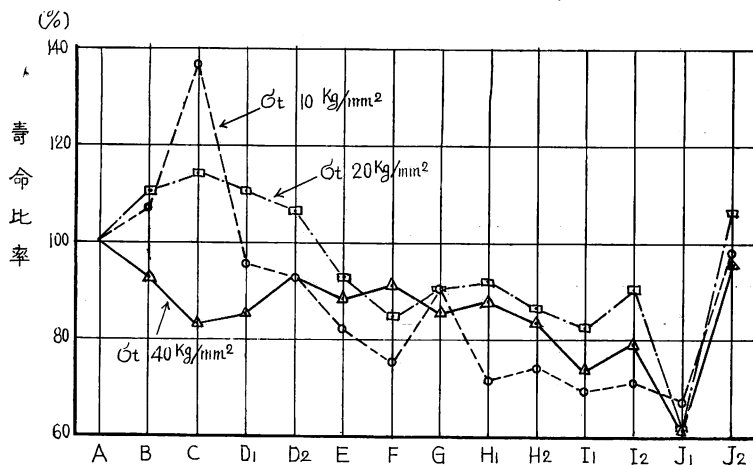


図 2.3—1 A 社の寿命を 100% とした場合の各社の寿命比較図

ワイヤロープは規格は同じでも詳細に検査してゆくと、新品時の切断荷重はもとより、ロープの直径、燃り長等のように外観で検査できるもののほか、疲労試験したあとの残留強度率、1 割断線時の伸び率等かなり各社間で相違のあることがわかったので、これらを一括表示すると表 2.3—2 のごとくなる。ここに型付率はつきのごとくして求めた。

供試ロープはすべて不反パツ性ロープであるが、この不反パツの程度を表現する数字として型付率がある。この型付率の表現形式にはロープ径によるものと、ロープの燃り長によるものと 2 とおりがあるが、前者の方が測定誤差も少なくかつ比較に都合がよいので、この方を採用することにし、写真 2.3—1 に示すように定盤上に鋼製の定規 2 台をおき、その間に 1m 長のワイヤロープをバラした小繩を 1 本ず

び 率 (%)		新 品 切断荷重 (t)	型 付 率		
150	190		型付長 (mm)	ロープ直 径 (mm)	型付率 (%)
700	350				
0.64	1.01	5.60	9.65	10.35	93.2
0.70	0.76	5.55	9.41	10.25	91.8
1.32	1.92	6.10	10.13	10.80	93.8
0.66	0.56	5.75	9.73	10.20	95.3
0.54	0.60	5.70	9.55	10.45	90.8
0.72	0.72	5.70	9.60	10.30	93.2
0.80	0.60	5.70	8.83	10.30	85.7
0.77	0.83	5.90	8.81	10.55	83.5
0.68	0.69	6.10	8.73	10.45	83.5
0.82	0.68	6.00	10.00	10.20	98.1
0.57	0.44	5.50	9.57	10.35	92.4
0.61	0.60	5.45	9.57	10.30	92.9
0.96	0.50	6.00	8.90	10.50	85.0
1.04	1.44	6.00	9.65	10.50	92.0

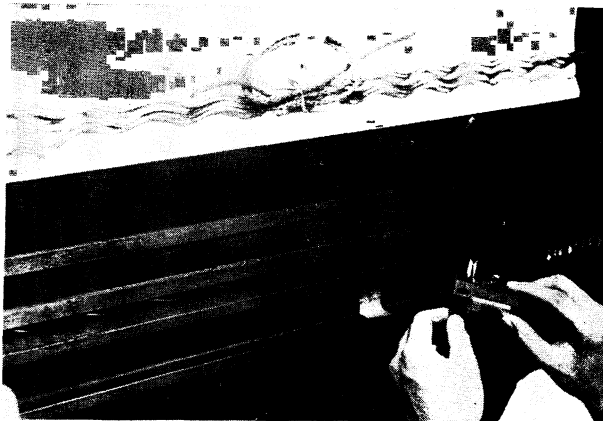


写真 2.3—1 型付率測定要領

その剛さを測定し、その結果を表 2.3—2 に併記した。すなわち、写真 2.3—2 に示すように机の角から 20 cm の長さ(心綱直径の約 40 倍)だけ心綱の末端を外方にだして心綱の元を押えて保持し、一たん心綱を水平にしてから静かに手を離すと、心綱は自重で垂下する。この垂下量を背後においた目盛で読みとった。ただし、測定時の温度は約 30°C である。

2.3.4 素線の表面のあらさ

材料の表面のあらさは疲れ限度にかなり影響するようである⁹⁾。これは表面に凹凸があるとその個所に応力が集中して、その部分がクラック発生の原因をつくるからである。このような観点から、素線の表面のあらさを顕微鏡で比較してみたところ、付録 4 に示すように寿命の長いロープは表面が平滑であるのに対し、寿命の短いものは伸線時のダイス跡が明りょうに観察できた。なお写真は金属顕微鏡を用い、倍率 40 倍で適宜照明しながら撮影したので、凹凸の具合がよく表わされていないうらみがある。

つ入れて、小繩の各山が均等に接するようにしてからその間隔をノギスで測定し、この値とバラす前のロープ直径との比である型付率を求めた。

2.3.3 心綱の比較

心綱はワイヤロープ内部に油を供給する補給源の役目をするほか、小繩同志の均等な接触を保たせ、したがってロープの型くずれを防止するための緩衝帯のような役割をし、その優劣はワイヤロープの寿命にかなり影響するといわれているので、総番手と剛さについて比較を行なった。

1) 番手総数について 心綱は良質のジュート、マニラ、サイザル等のヤーンをより合わせて小繩を造り、この小繩を 3~4 本より合わせてロープにしてあるが、原料の価格

が国際市況の変動によりかなり上下するので、心綱の原料は一定していないようである。また各メーカーごとに心綱の規格は違うようで、ヤーン番手、太さ、綱のうち方の軟硬等かなり異なるので、限定見本と対照しながら番手総数を求めた。これを表示すると表 2.3—3 のごとくなる。

2) 心綱の剛さ 供試ロープを数社試験してゆくうちに、心綱の剛いものは寿命が長いような傾向がみられたので、参考までにつぎのような方法で

表 2.3—3 心 綱 の 総 番 手 と 剛 さ

社 名	心綱の原料	ヤーン番手	小繩本数	総 番 手	心綱の剛さ (撓み量) (cm)
A	ジュート	A 7×15	3	315	12
B	〃	C 14×9	3	408	7.5
C	サイザル	[C 14×3]	4	[168]	2
D ₁	〃	[C 14×3]	3	[126]	3.5
D ₂	ジュート	B 10×18	3	540	0
E	〃	B 10×9	3	270	11
F	〃	B 10×14	3	420	17
G	〃	C 24×4	3	288	13
H ₁	〃	C 14×8	3	336	5.5
H ₂	〃	B 10×11	3	330	5
I ₁	〃	C 24×5	3	360	12
I ₂	〃	C 24×5	3	360	12
J ₁	〃	B 10×12	3	360	13
J ₂	〃	C 14×10	3	420	3

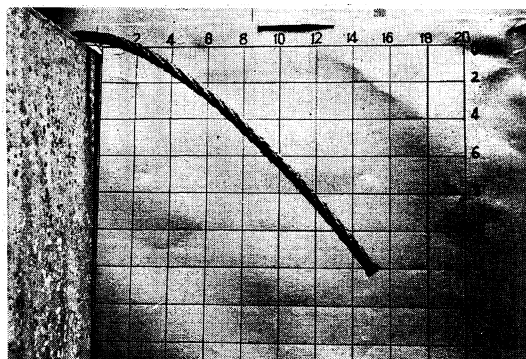


写真 2.3—2 心綱の剛さ測定要領

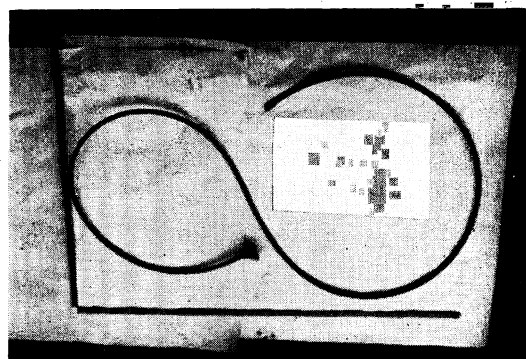


写真 2.3—3 撓り癖のついたワイヤロープ

2.3.5 素線の顕微鏡組織

ワイヤロープを構成している素線の組織は疲労にかなり影響するだろうと考え、その中心部において各社の顕微鏡組織を観察し、付録5に示すような写真を得た。なお顕微鏡倍率は 200 倍で、腐蝕は 5% のピクリン酸アルコール溶液による。

ワイヤロープの素線の製造工程は、ワイヤロープの優劣を左右するぐらい重要な工程であるので、各社ともこれに関する研究はもとより、製造中の品質管理にはもっとも配慮していると聞いているので、顕微鏡組織がさほど差違のあるものとは考えていなかったが、付録5にみるように寿命の配列順で組織をみてゆくと明らかに差異のあることがわかる。すなわち、組織が不均一であればその個所に応力集中をみるため耐疲労性を減ずることはもちろんであるが、疲れ強さを低めるフェライトの大きさと分布状態に着眼してゆくと、フェライトが繊細で分布密度が少なく表面層

にフェライトの少ないものは上位にあるが、反対にかすり状に大きなフェライトが分布し、表面に近いところに浮島のようにフェライトが存在するものは寿命が短い。

2.3.6 素線の硬度

表 2.3—4 硬 度

測定回数 区 分 社名	1 回				2 回				3 回				平均 硬度
	縦	横	平均	硬度	縦	横	平均	硬度	縦	横	平均	硬度	
A	44.2	46.5	45.4	450	45.9	45.2	45.5	448	44.0	48.2	46.1	436	445
B	46.8	49.6	48.2	399	47.6	47.8	47.7	408	46.0	49.6	47.8	406	404
C	47.6	48.8	48.2	399	46.4	47.0	46.7	425	45.2	47.4	46.3	433	419
D ₁	45.0	48.0	46.5	429	46.2	50.1	48.2	399	45.0	50.0	47.5	411	413
D ₂	44.0	51.0	47.5	411	46.0	50.0	48.0	402	44.0	49.0	46.5	429	414
E	46.0	47.8	46.9	422	46.0	48.0	47.0	420	44.8	47.2	46.0	438	427
F	47.0	50.0	48.5	394	48.0	51.0	49.5	378	47.0	50.0	48.5	394	389
G	44.0	47.0	45.5	448	45.0	47.0	46.0	438	46.0	49.0	47.5	411	432
H ₁	43.5	48.5	46.0	438	45.2	49.0	47.1	418	44.5	47.5	46.0	438	431
H ₂	47.3	49.8	48.6	393	47.0	50.3	48.7	391	48.0	49.5	48.8	389	391
I ₁	46.0	49.1	47.5	411	44.7	48.2	46.5	429	45.5	49.8	47.7	408	418
I ₂	43.4	46.4	44.9	460	43.0	47.0	45.0	458	44.3	47.3	45.8	442	453
J ₁	44.2	48.8	46.5	429	45.0	49.2	47.1	418	43.5	48.0	45.7	444	430
J ₂	44.0	48.5	46.3	433	42.4	47.8	45.1	456	43.0	49.4	46.2	434	441

硬度は素線の機械的性質を知るために重要な因子であり、またそのバラツキは組織の均等性を示すので微小硬度計を用いて硬度を測定した。測定は素線の中心部において繊維方向に行ない、荷重は 500 g である。測定結果を示すと表 2.3—4 のとおりである。

2.3.7 ロープの撚り癖

写真 2.3—3 は I₁ の供試ロープの外観を示したものであるが、新品の時から S 字状にくせをもっていた。このようなロープは小縄が均等に撚られなかったために生じたと考えられ、当然応力の分布状態が不均等になるため疲労が早くくるはずで、このためか I₁ の寿命は低い。ゆえにロープを購入するときはこのような点にも注意して、S 字のような撚り癖のついたものは避けた方がよい。なおその他のロープについてはこのように撚り癖のひどいものはなかった。

2.4 結果の考察

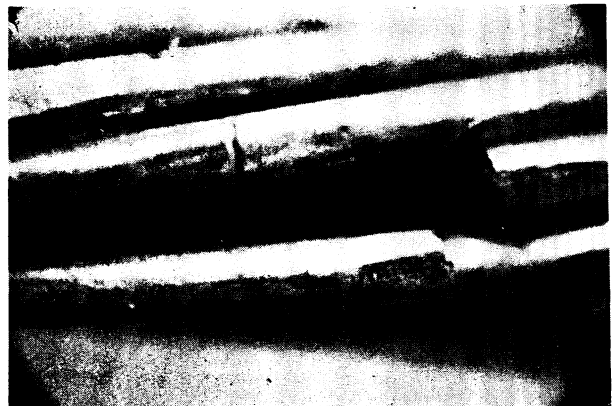


写真 2.4—1 滑車直径 190 mm の条件下の山断線
中央にクラックを示す。顕微鏡倍率 20

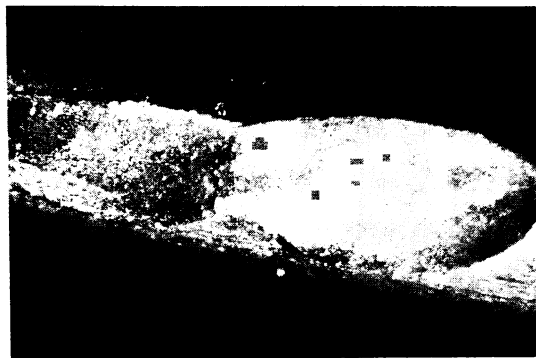


写真 2.4—2 小縄谷部における素線の塑性変形
顕微鏡倍率 40 (以下同様)

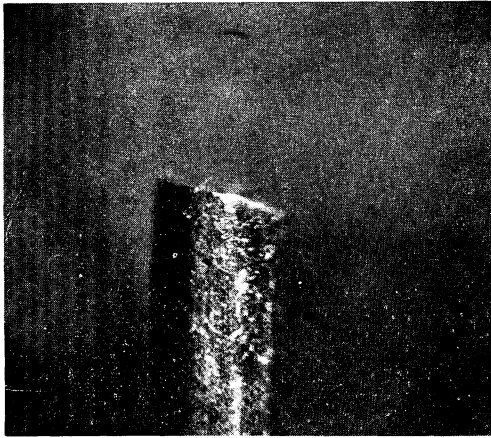


写真 2.4—3 滑車直径 110 mm の
条件下の山断線

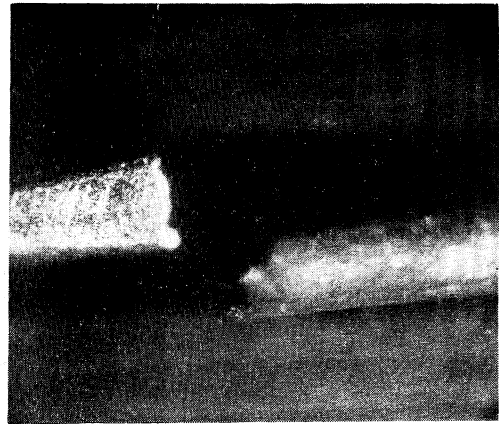


写真 2.4—4 滑車直径 190 mm の
条件下の破断状況

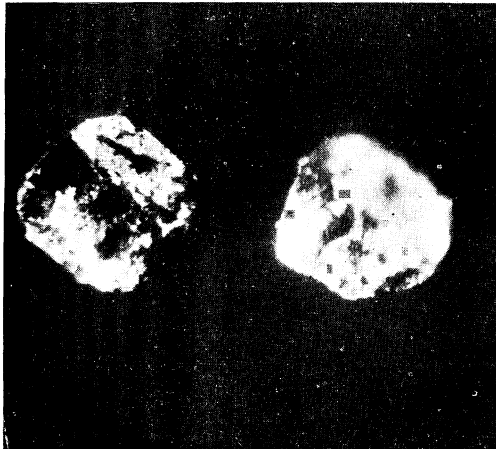


写真 2.4—5 同 破 面

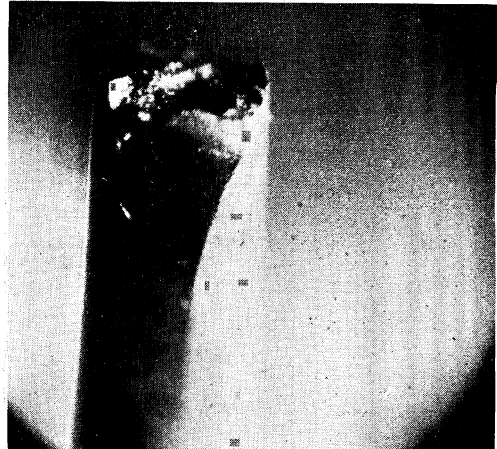


写真 2.4—6 谷断線の破面



写真 2.4—7 滑車直径 110 mm の条件の谷断線
初期, 顕微鏡倍率 200, 無腐蝕 (以下同様)

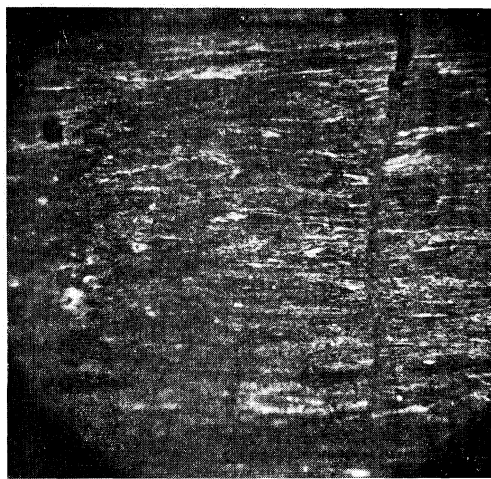


写真 2.4—8 写真 2.4—7 を 5% ピクリン酸
のアルコール溶液で腐蝕したもの。



写真 2.4—9 滑車直径 190 mm の条件の
山断線初期のクラック



写真 2.4—10 断線した素線の破断面

2.4.1 使用条件の相違にもとづくロープの疲れについて

本試験における疲労断線の特徴は

(1) 滑車直径 110 mm の場合は谷断線、滑車直径 190 mm の場合は山断線が圧倒的に多く、滑車直径 150 mm の場合は両者がほぼ等しい割合で発生した。

(2) 滑車直径 190 mm の場合は写真 2.4—1 のように、滑車に接触する小繩の凸部がある程度摩擦してからクラックがはいり断線するのに対し、滑車直径 110 mm の場合はこのような摩擦がほとんど起こらないうちに、小繩同志の接触している部分で断線した。写真 2.4—2 は谷断線した隣接素線の外観を示すもので、激しい塑性変形のあとがわかる。

(3) 断線破面をみると、滑車直径 190 mm の場合は破面は素線の軸心にはほぼ直角であるが、滑車直径 110 mm の場合で山断線した破面は写真 2.4—3 のごとく、軸心に対してある角度をもつ。写真 2.4—4, 5 は写真 2.4—1 に見えるクラックのはいった素線の両破断面を示し、写真 2.4—6 は谷断線の破面を示す。山断線の破面は刃物で切ったように平滑ではないが、周辺からクラックの進行した跡がわかるのに対し、谷断線の破面は周辺部からおち込み不規則である。

(4) クラックの進行状態を 200 倍の倍率でみると、つぎのとおりである。写真 2.4—7 は滑車直径 110 mm の条件における谷断線初期におけるクラックの進行状態を無腐蝕で示したもので、これを腐蝕したものが写真 2.4—8 である。写真 2.4—9 は滑車直径 190 mm の条件におけるごく初期におけるクラックの進行状態を示す。この写真をみて気のつくことは、クラックが蛇行状態で進行してゆくのは 110 mm の場合と同じようであるが、組織がクラックを境にしてくい違っていることである。この原因については今後究明するつもりだが珍らしい現象である。

(5) 断線した後の破面同志は繰返し曲げを受けるたびに接触し、写真 2.4—10 のように破面からある長さのところまで塑性変形する。このときの試験条件は滑車直径 190 mm の場合であるが、滑車に接触したときの圧縮力がいかに大きかったかを示すものである。

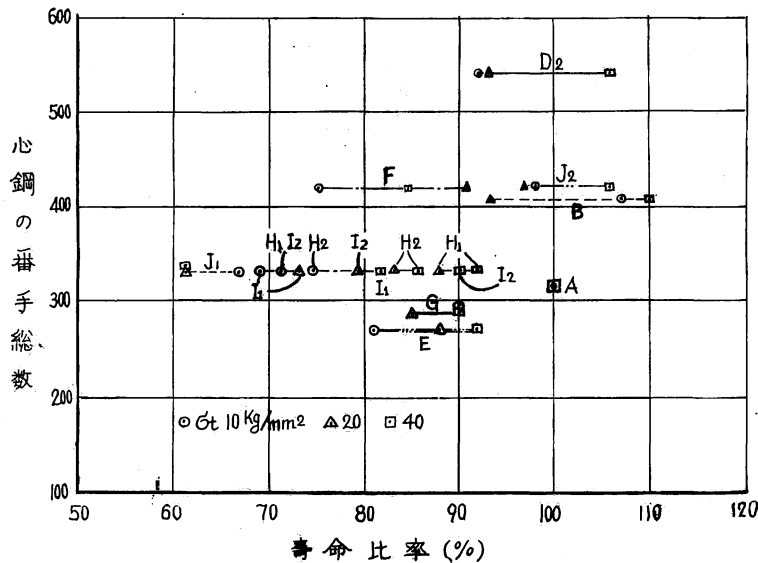


図 2.4—1 A 社の寿命を 100% とした場合の各社の寿命比率と心綱の番手総数との関係

以上本試験の疲労断線の特徴およびクラックの進行してゆく状態を観察してきたが、これよりつぎのことが考察される。すなわち、ワイヤロープには、使用条件の相違によって疲れ強さに差があっても、不思議はないということである。その理由は(3)項において述べたごとく、破断面が素線軸心に対して直角でない 110 mm の場合は、曲げ応力のほかに 振り応力が強く働いたことを示すが、190 mm の場合は破面からみて摩耗と曲げ応力による疲労と考えられる。素線が材料強度的に曲げ疲労、振り疲労、摩耗の 3 者に対してすべて強ければ問題はないが、表 2.3—1 にみるごとく各社の寿命比率が試験条件によって一様の傾向でないところをみると、材料強度的にもそれぞれの特色があるように考えられる。このように考えてくるとロープはその使用条件を考えて選定すべきであり、使用条件から隔たった、しかも 1 条件における疲労試験結果だけで良否を判断することは危険であると考えられる。

2.4.2 心綱の影響

心綱の良否はロープの寿命にかなり影響するといわれているが、どの程度影響するかということは明らかでない。図 2.4—1 は心綱の番手総数と各社の寿命百分率との関係を示しているが、これをみると番手総数が 400 の付近を境にして差異があるように感じられる。特に滑車直径が 110 mm の場合は、A 社を除き番手総数の高い方が寿命も長い傾向がでている。これは 110 mm のように強い曲げを受けると小繩同志の接触圧力が高くなるが、心綱が太くなると接触圧力はそれだけ少なくなるはずで、これが寿命に影響したのではないかと考えられる。しかし以上の考察は、素線の機械的性質を同一とみなした場合のことで、A 社のように番手総数はさほど大きくなっても寿命の長い例をみると、番手総数がさほど大きな要因であるともいきれないものがある。この 1 例として J 社の場合を述べると、J₁、J₂ とも心綱はジュールであるが、その番手総数は J₁ が 360 で並打ち、J₂ が 420 の硬打ちでさほど大きな差はないのに、その寿命は同じ会社の製品とも思えぬほど大きな差のあることがわかる。J 社から直接聞いたところによると、J₂ の場合ロープ油も J₁ のに比べて油の滲出度の少ないものを使ってあるとのことであるが、素線の表面のあらさならびに組織が J₁ に比べてかなりすぐれているので、これらの要因が重合して寿命が伸

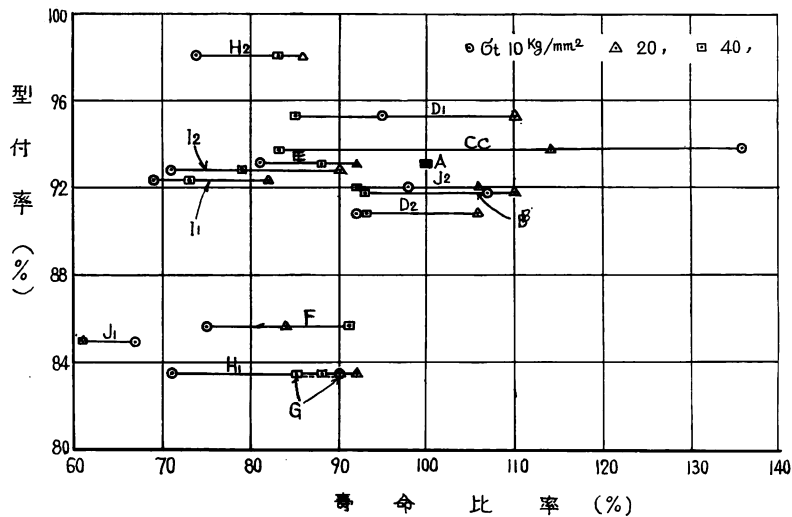


図 2.4—2 A 社の寿命を 100% とした場合の各社の
寿命百分率と型付率との関係

びたものと考えられる。

つぎに心綱の原料についてであるが、サイザルのものは期せずしてみな寿命が長い結果を示した。しかしサイザルとジュートのいずれが良いかということは、これだけの試験結果だけでは判断しにくい、D 社の場合この両者の心綱のロープで比較試験したので、これから考察を加えるとその寿命百分率の合計はほとんど差はないが、個々に比べてみると両者の間に相違点がある。すなわち、ジュートは 110 mm のときは良いが、他の条件はサイザルより幾分劣っていることがわかる。この比較はもちろん素線その他の要素は同一とみなしてのことであるが、ジュートの場合の心綱が極端に太いことが、さきに述べたように 110 mm の場合サイザルより寿命の長かった原因となったのではないかと考えられる。このように考察してみると、心綱の原料はどちらでも良いが要は太い方が良いのではないかと考えられる。

2.4.3 型付率の影響

ワイヤロープの型付率はロープの耐疲労性に大きく影響する因子として重要視されているが、その値は 83~98% の範囲にバラついていて、型付率は理想的には 100% のものがより締りにもとづく応力がないため、疲労に対して良いのかもしれないが、このために型崩れをおこしやすくなって疲勞しやすいロープになる。この反対に型付率の少ないものはより締りが強いだけロープ全体により締りの応力が働いて耐疲労性を減じるので、普通 90~95% が良いとされているようである。いま型付率と寿命百分率との関係を図示すると図 2.4—2 のごとくなる。これをみると寿命の長いものは型付率がほぼ 93% の付近であり、これから遠のくにつれて寿命も低下する傾向にある。ただし I 社の場合は、型付率は 92% であるが寿命は短い。これについてはさきに述べたように、素線の外観および顕微鏡組織がかなり悪いので、その方の影響が強く作用したのではないかと考えられる。

2.5 結 言

JIS 認可工場 10 社の 6×19 裸% 2 種 10 mm ワイヤロープの耐久試験を行ないつぎのような結果を得た。

1. 各社ロープの寿命は表 2.3—1 に示すようにかなりの相違がある。

2. ワイヤロープの寿命に影響を及ぼすと考えられるいくつかの要因について検討した結果、つぎの4つがかなり影響することがわかった。

①素線表面のあらさ、②素線の顕微鏡組織の均質性とフェライトの分布状態、③心綱の太さ、④型付率特に ①、② 項は重要な比重を占めているようであるので付録 4,5 にこれらの写真を示した。

3. 試験条件によって素線の断線場所はほぼきまり、滑車直径 110 mm, 張力 1,400 kg の場合は小繩の谷部に、滑車直径 190 mm, 張力 350 kg の場合は小繩の山部に断線が集中する傾向がある。この結果を心綱の太さに関連づけて考えると、心綱の太いものは滑車直径の小さい場合に有利のようで、心綱の太さを番手総数であらわすと 400 以上がよいようである。

4. 型付率は 92~93% のものがよいようで、これより遠ざかるほど寿命は低下する傾向がある。しかし型付率が 92% であっても、素線表面にダイスの疵跡があったり、組織が不均一でフェライトのかたまりが見えるようなものは寿命は短い。

あ と が き

ワイヤロープの疲労試験はわが国はもとより諸外国でも盛んに行なわれ、多くの文献があるが、ワイヤロープの $S-N$ 曲線に関する文献は少なく、特に本稿のごとくロープの寿命を材料試験と同じような $S-N$ 曲線で描いたのは本稿がはじめてのようである。また各メーカーのロープの耐久性を同一条件で比較試験した報告もあまり見ないので、この意味でも大方の参考になると考え、まだ十分究明されないままに第 1 報をまとめたが、つぎに述べるような幾多の問題は今後の研究にまかしたいと考えている。

1. ワイヤロープは野外で日光や雨露にさらされて使われているので、長期間の場合はロープ油が変質したり滲出するので、ロープの寿命に対してロープ油はかなり影響するとたれしも考えている。しかしながら、本試験のようにせいぜい 2 日くらいで試験が終了するような試験方法では性能のすぐれたロープ油がどの程度その性能を発揮できたかははなはだ疑問である。このことについては試験的に全然油を含まないワイヤロープと、これに油を周囲から十分塗ったものについて比較試験を行なったところ、その寿命にはほとんど差がでなかった事例もあるので、以上述べたことがある程度いえそうである。このように考えてくると本試験の結果はあくまで室内実験であるため、これを現場に活用する場合はその使用条件を十分考慮して判断する必要がある。特にロープ油は、各社それぞれ成分をはじめ多くの性質を異にするものを使っているように聞くので、これらが現場でどのように疲労に影響するかは興味深いことである。

2. ロープの硬度と寿命との関係は不明のままにおわたが、滑車の材料や接触圧等と関連して相互の摩耗を考えると、重要な因子であると思う。

3. 本稿においては 1 章においてあらかじめことわったごとく、2 次屈曲あるいは 3 次屈曲のために生じる素線の応力については全く触れないう。このため滑車に接触する側で、山断線あるいは谷断線を生じる現象を理論解析していないが、今後はこの点にも触れて $S-N$ 曲線を求めたいと考えている。

文 献

- 1) 上野勲ほか: ロープの素線断線について、第 7 回ワイヤロープ研究会講演集、(1959)。
- 2) 幅野禎太郎: 断線がロープの引張強度に及ぼす影響について、第 4 回ワイヤロープ研究会講演集、(1954)。
- 3) 同上: 各種ワイヤロープの曲げ疲労試験、第 6 回ワイヤロープ研究会講演集、(1956)。

- 4) 同上: 第7回, (1959).
- 5) 上野 勲: 鋼索の疲労試験について, 第4回ワイヤロープ研究会講演集, (1954).
- 6) 日本機械学会: 材料力学 (下巻), 日本機械学会, 565 p. (1962.5).

Study on the Fatigue of the Wire Rope for Logging (The First Report).

Repeated tests of the operating rope under tension and bending.

Minoru UEDA and Mitsugu TOMINAGA

(Résumé)

In order to obtain the $S-N$ curve for the wire rope as for steel and to compare the life of the wire rope delivered by ten JIS makers, we performed two kinds of experiments on the 6×19 % 2nd class 10 mm wire rope by a specially-designed fatigue-testing machine (Photo. 1).

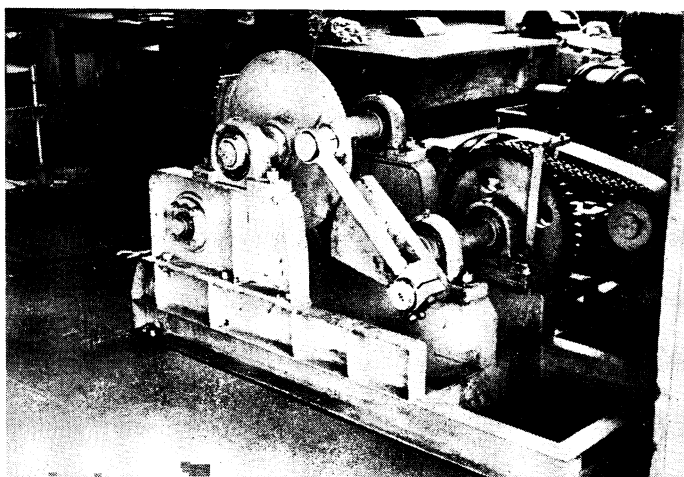


Photo. 1. Fatigue-testing machine.

The one experiment concerns the life of wire rope under the combination of the following conditions: pitch diameter D in mm 110, 150, 190 and tension T in kg 350, 700, 1,050, 1,400; and for the other the conditions are $D=110$, $T=1,400$; $D=150$, $T=700$ and $D=190$, $T=350$.

The results are summarized as follows:

1. The stresses of the outside wires are calculated according to formulae, $\sigma_b = E_b \delta / D$ for bending and $\sigma_t = T / A$ for tension, where E_b is the modulus of elasticity for bending stress ($= 2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$), δ the diameter of wire ($= 0.65 \text{ mm}$), D the pitch diameter, T the tension of wire rope and A the sectional area of wire rope.

Plotting these data on a logarithmic paper we get a straight line representing the life of rope versus $(\sigma_b + \sigma_t)$. Also we applied this method for the data presented by R. WOERNLE, M. YOSHINO and Z. MIZUTA and we got the $S-N$ curve in each case.

2. We found considerable differences in the life of wire rope among JIS makers samples as shown in Table 2.3-1, and after studying some effects on this difference, we have inferred that the life of a wire rope might be influenced considerably by the following four factors.

- (1) Roughness of the surface of wire,
- (2) Uniformity of microscopic structure, and distribution of ferrites in a wire,
- (3) Size of the core fibre-rope,
- (4) Preforming percentage of the wire strand.

Especially factors (1) and (2) are considered as most important according to Appendices 4 and 5.

付録 1. 供試ロープの検査書

1. ワイヤロープ検査

規格 JIS G 3525 2種 検査日 昭和 35 年 11 月 20 日
 構成記号 6×19 [6× (1+6+12)] メッキの有無 裸, 赤油
 ヨリ方 普通 Z ヨリ ロープ径 mm 公称 10 実際 10.5
 切断荷重 t 規定 5.50 実際 6.03

2. ワイヤ試験成績表 構成 6×(1+6+12) %

項目 仕様 番号	項目 記号	素線の径 mm	切断荷重 kg	ネジリ 回数	巻解	項目 仕様 記号	項目 記号	素線の径 mm	切断荷重 kg	ネジリ 回数	巻解
				100×δ 28	1×δ 8回					100×δ 28	1×δ 8回
1	δ 1	0.65	59.0	37	良	δ 1	0.65	60.0	36	良	
2		0.64	60.0	36	〃		0.64	59.0	39	〃	
3		0.65	59.5	36	〃		0.64	59.0	37	〃	
4		0.65	59.5	39	〃		0.65	59.5	37	〃	
5		0.65	59.5	36	〃		0.65	60.0	38	〃	
6		0.64	59.0	36	〃		0.65	59.5	36	〃	
7		0.65	59.5	38	〃		0.64	60.0	36	〃	
8		0.65	59.5	36	〃		0.65	62.0	36	〃	
9		0.65	59.5	38	〃		0.65	59.0	35	〃	
10		0.64	59.0	35	〃		0.65	62.5	37	〃	
11		0.65	61.0	34	〃		0.64	62.0	36	〃	
12		0.64	59.0	38	〃		0.64	62.5	38	〃	
13		0.65	62.5	37	〃		0.64	62.0	37	〃	
14		0.65	62.0	36	〃		0.65	59.0	36	〃	
15		0.65	62.5	36	〃		0.65	60.5	36	〃	
16		0.65	60.5	37	〃		0.65	59.5	37	〃	
17		0.65	62.5	38	〃		0.65	60.0	37	〃	
18		0.65	61.5	37	〃		0.65	61.0	38	〃	

3. ワイヤロープ切断試験成績表

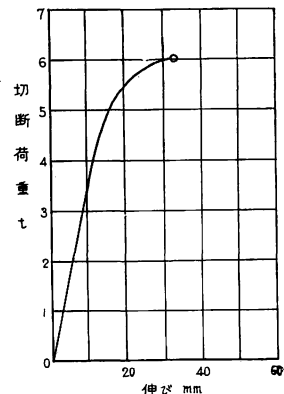
試験片の長さ m	1.0	切断ストランド数	3
規 長 mm	800	伸 長 mm	33
切 断 荷 重 t	6.03	伸 長 率 %	4.13

4. 使用線材 60C

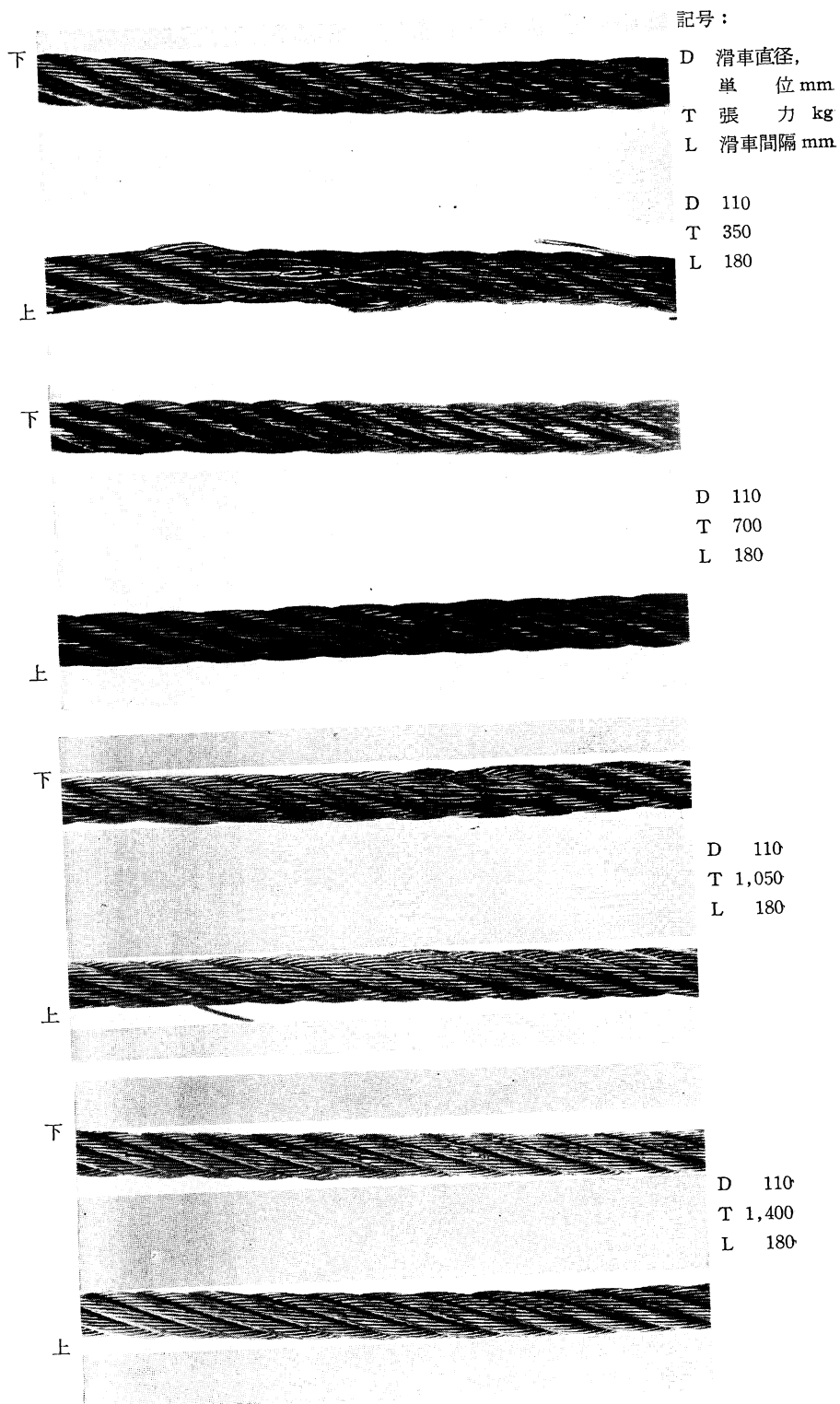
成分	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr
%	0.65	0.44	0.25	0.014	0.020	0.09	0.05	0.09

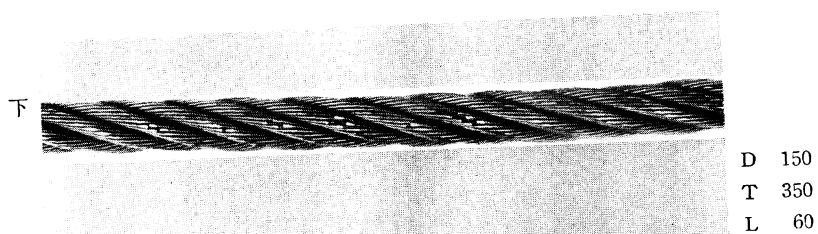
5. ワイヤ成績表

種	径	引 張 強 さ		捻 回	
		$\bar{X}$	R	$\bar{X}$	R
焼 入 前	mm	kg/mm ²	—	—	—
焼 入 後	1.78	151	—	—	—
伸 線 後	1.78	99	10	—	—
	0.65	185	15	36	4



付録 2. 各種条件下における1割断線したロープの外観写真





D 150
T 700
L 180

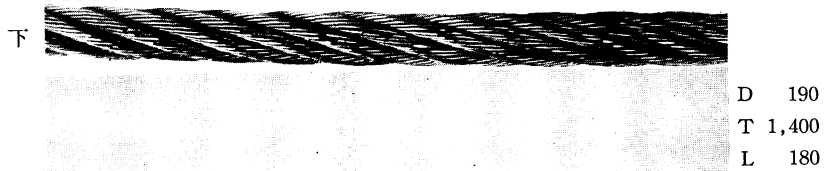
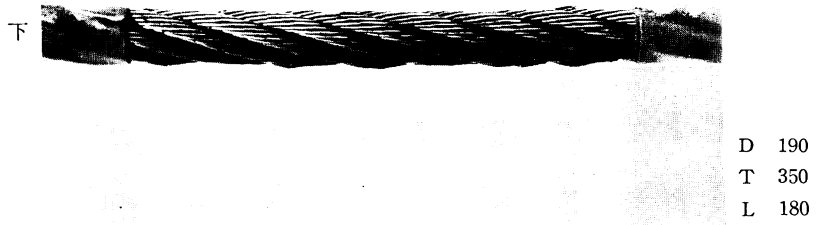


D 150
T 1,050
L 60



D 150
T 1,400
L 60

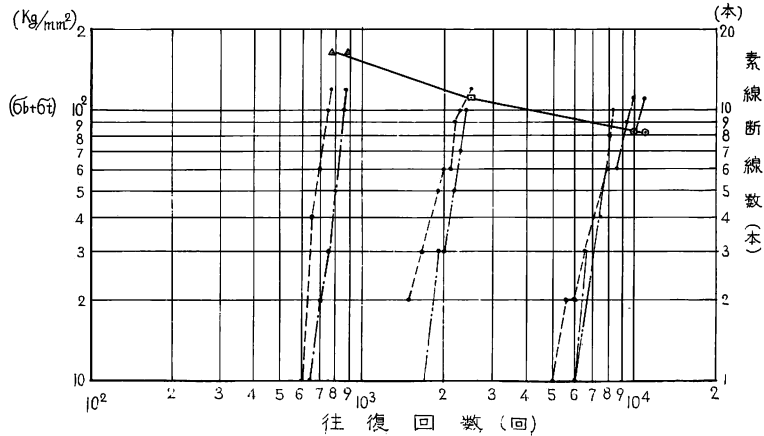




付録 3. 各社性能比較試験成績表

付表 3—1 A 社

試験 順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撚り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
3	190	350	10	73	64.8	10.25	9.60	0.88	5,000(1本)	8,500(10本)	—	—	8 1	1
4	190	350	10	73	64.8	10.35	9.80	1.12	6,000(1本)	10,000(11本)	3.3	59.0	10 1	
5	190	350	10	73	64.8	10.30	9.80	1.04	6,000(1本)	11,000(11本)	3.1	55.4	5 1	5
1	150	700	20	92	64.8	10.20	9.60	0.48	1,500(2本)	2,400(11本)	4.3	76.8	9 2	
2	150	700	20	92	65.3	10.25	9.55	0.80	1,700(1本)	2,500(12本)	—	—	8 3	1
6	110	1,400	40	126	65.4	10.15	9.40	1.44	600(1本)	775(12本)	—	—	2 7	3
7	110	1,400	40	126	65.3	10.15	9.45	1.36	650(1本)	875(12本)	4.35	77.7	1 4	7



備考 1. 新品切断荷重 5.6t
2. 試験期間 昭 38.9.3~9.17
3. S-N 曲線式

(1) 式 $N = \frac{1.226}{S^{2.78}} \times 10^9$

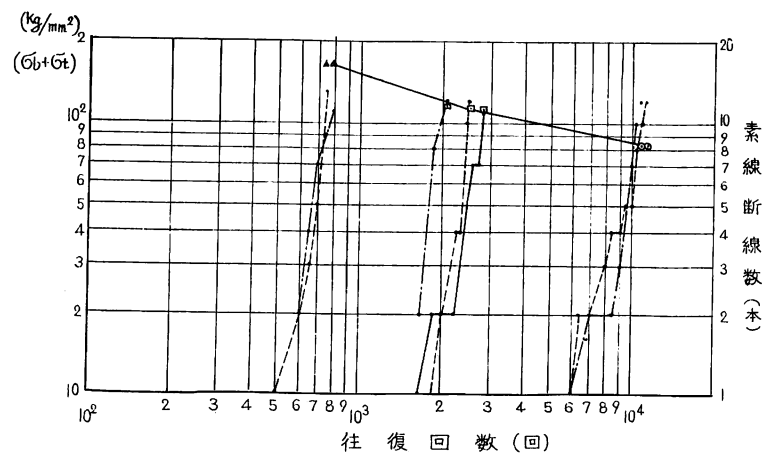
$\left. \begin{array}{l} S=166, N=825 \\ S=112, N=2450 \end{array} \right\} \text{とする。}$

(2) 式 $N = \frac{2.23}{S^{4.86}} \times 10^{13}$

$\left. \begin{array}{l} S=112, N=2450 \\ S=83, N=10500 \end{array} \right\} \text{とする。}$

付表 3—2 B 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態			
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 下			
													山	谷		
2	190	350	10	73	68.1	10.25	9.65	0.82	6,000(1本)	11,500(12本)	3.9	70.3	9	1	2	
3	190	350	10	73	68.2	10.25	9.70	0.71	6,000(1本)	11,000(12本)	—	—	7	4	1	
1	150	700	20	92	68.3	10.20	9.60	0.82	1,700(1本)	2,550(12本)	3.3	59.5	4	4	4	
6	150	700	20	92	68.3	10.25	9.60	0.60	1,700(2本)	2,100(12本)	—	—	8	3	1	
7	150	700	20	92	68.1	10.00	9.60	0.70	1,700(1本)	2,850(11本)	—	—	5	4	1	1
4	110	1,400	40	126	67.8	10.10	9.50	0.99	500(1本)	750(13本)	4.3	77.5	1	5	7	
5	110	1,400	40	126	68.2	10.00	9.00	1.22	500(1本)	800(11本)	—	—	3	5	3	



- 備考 1. 新品切断荷重 5.55 t
 2. 試験期間 昭 38.8.14~8.23
 3. S-N 曲線式

$$(1) \text{ 式 } N = \frac{9.28}{S^{3.19}} \times 10^9$$

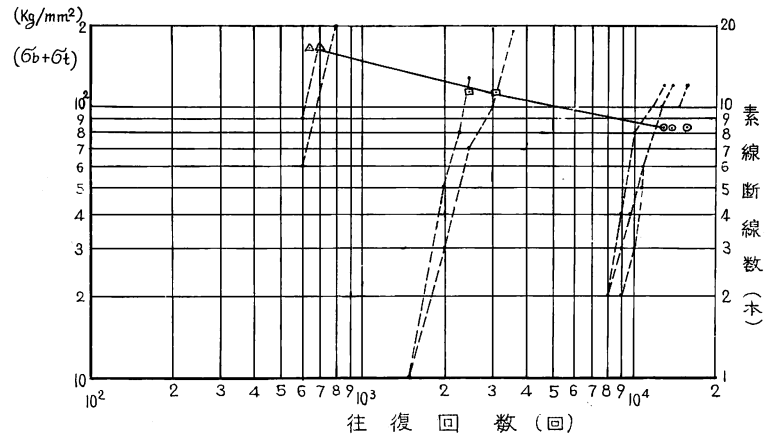
$$\left. \begin{array}{l} S=166, N=770 \\ S=112, N=2700 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

$$(2) \text{ 式 } N = \frac{1.554}{S^{4.76}} \times 10^{13}$$

$$\left. \begin{array}{l} S=112, N=2700 \\ S=83, N=11250 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

付表 3—3 C 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
2	190	350	10	73	—	10.55	10.00	1.60	9,000(2本)	16,000(12本)	2.35	38.5		
7	190	350	10	73	65.5	11.00	10.30	2.24	8,000(1本)	13,000(12本)	2.5	41.0		
5	190	350	10	73	65.5	10.80	10.05	1.92	7,000(1本)	14,000(12本)	—	—		
1	150	700	20	92	—	10.60	9.80	1.28	1,500(1本)	2,500(13本)	4.0	65.5		
6	150	700	20	92	—	10.50	9.75	1.36	1,500(1本)	3,100(12本)	—	—		
3	110	1,400	40	126	—	10.00	9.50	1.84	600(6本)	800(20本以上)	3.6	59.0		
4	110	1,400	40	126	—	10.30	9.50	1.76	600(9本)	700(17本)	3.5	57.5		



- 備考 1. 新品切断荷重 6.1t
2. 試験期間 昭 38.5.27~6.4
3. S—N 曲線式

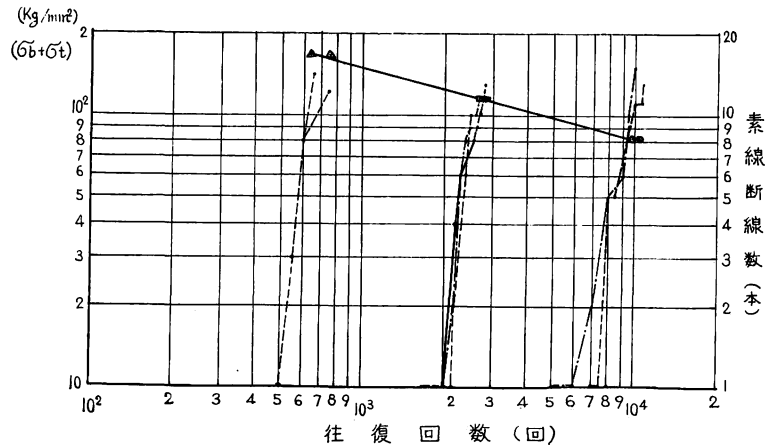
$$(1) \text{ 式 } N = \frac{6.65}{S^{3.6}} \times 10^{10}$$
$$\left. \begin{array}{l} S=166, \quad N=640 \\ S=112, \quad N=2800 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

$$(2) \text{ 式 } N = \frac{3.954}{S^{5.44}} \times 10^{14}$$
$$\left. \begin{array}{l} S=112, \quad N=2800 \\ S=83, \quad N=14300 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

4. 心綱 サイザル

付表 3-4 D₁ 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
3	190	350	10	73	66.4	10.00	9.80	0.48	7,000(1本)	10,000(11本)	4.1	71	9 2	
6	190	350	10	73	66.8	10.10	9.80	0.64	5,000(1本)	10,000(15本)	—	—	11 2	1 1
1	150	700	20	92	65.8	10.00	9.65	0.80	1,700(1本)	2,700(12本)	4.2	73	5 3	1 3
2	150	700	20	92	64.6	10.05	9.40	0.72	1,700(1本)	2,750(13本)	—	—	6 4	1 2
7	150	700	20	92	—	10.20	9.60	0.47	1,700(1本)	2,700(11本)	4.1	71	7 2	2
4	110	1,400	40	126	66.2	9.80	9.10	0.72	500(1本)	650(14本)	4.1	71	1 3	10
5	110	1,400	40	126	66.2	10.10	9.20	0.80	500(1本)	740(12本)	—	—	1 7	4



備考 1. 新品切断荷重 5.75 t

2. 試験期間 昭 38.7.23~7.29

3. S—N 曲線式

$$(1) \text{ 式 } N = \frac{2.92}{S^{3.43}} \times 10^{10}$$

$$\left. \begin{array}{l} S=166, \quad N=700 \\ S=112, \quad N=2700 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

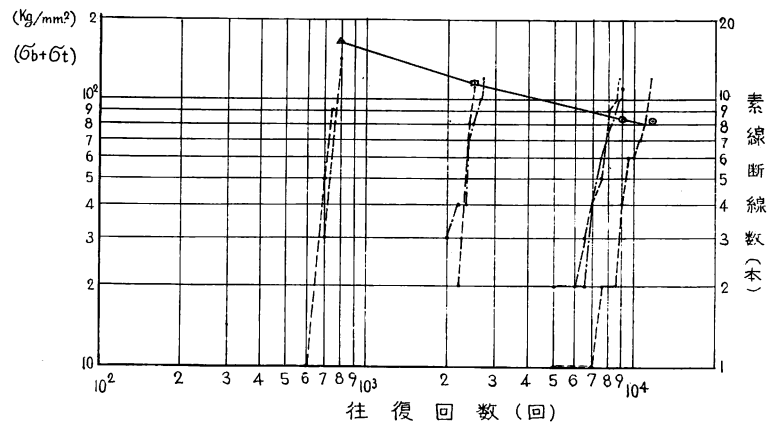
$$(2) \text{ 式 } N = \frac{2.46}{S^{4.87}} \times 10^{12}$$

$$\left. \begin{array}{l} S=112, \quad N=2700 \\ S=83, \quad N=10000 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

4. 心綱 サイザル

付表 3—5 D₂ 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
1	190	350	10	73	67.6	10.35	9.90	0.56	6,000(2本)	8,700(12本)	3.9	68.4	7 4	1
2	190	350	10	73	68.2	10.30	9.90	0.64	5,000(1本)	11,500(12本)	3.55	62.3	8 1	2 1
3	190	350	10	73	68.4	10.25	9.90	0.64	5,000(2本)	8,900(11本)	4.1	71.9	8 2	5 1
4	150	700	20	92	68.2	10.20	9.90	0.48	2,200(2本)	2,700(12本)	3.8	66.7	5 9	
5	150	700	20	92	68.3	10.20	9.75	0.56	1,750(1本)	2,500(11本)	4.3	75.4	6 5	
6	110	1,400	40	126	65.7	10.05	9.55	1.28	700(3本)	800(14本)	4.0	70.2	9	5
7	110	1,400	40	126	68.2	10.15	9.70	1.04	600(1本)	800(14本)	4.3	75.4	8	6



備考 1. 新品切断荷重 5.7 t

2. 試験期間 昭 38.9.26~10.2

3. S—N 曲線式

$$(1) \text{ 式 } N = \frac{5.50}{S^{3.08}} \times 10^9$$

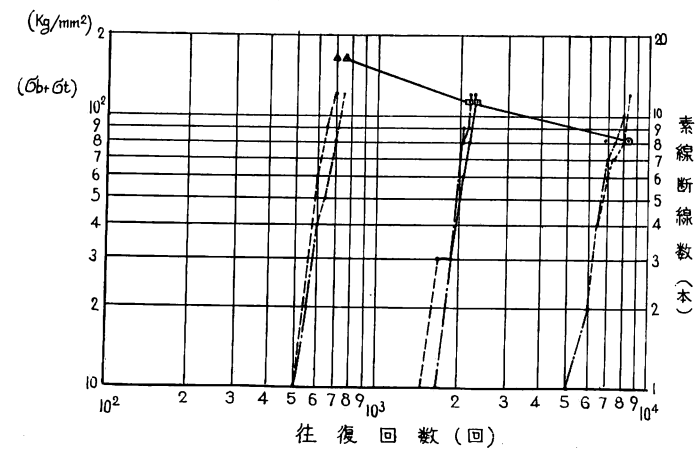
$$\left. \begin{array}{l} S=166, \quad N=770 \\ S=112, \quad N=2600 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

$$(2) \text{ 式 } N = \frac{2.477}{S^{4.39}} \times 10^{12}$$

$$\left. \begin{array}{l} S=112, \quad N=2600 \\ S=83, \quad N=9700 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

付表 3-6 E 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撚り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
2	190	350	10	73	66.4	10.25	9.80	0.64	6,000(2本)	8,500(12本)	4.3	75.4	11	1
6	190	350	10	73	66.4	10.25	9.70	0.81	5,000(1本)	8,500(12本)	—	—	12	
3	150	700	20	92	66.6	10.30	9.50	0.72	1,500(1本)	2,250(12本)	4.4	77.2	9 2	1
4	150	700	20	92	65.6	10.25	9.50	0.96	1,500(1本)	2,250(11本)	—	—	9 2	
7	150	700	20	92	65.3	10.15	9.60	0.48	1,500(1本)	2,300(12本)	—	—	9 3	
1	110	1,400	40	126	65.6	10.10	9.25	1.04	500(2本)	700(12本)	4.5	79.0	4 5	3
5	110	1,400	40	126	66.4	10.30	9.00	1.20	500(1本)	750(11本)	—	—	3 5	4



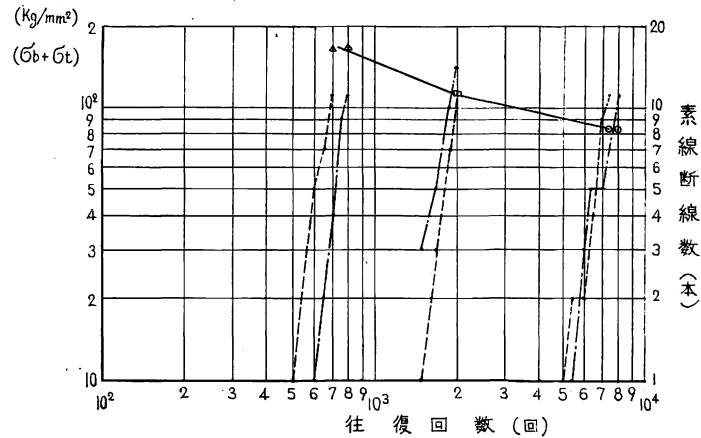
備考 1. 新品切断荷重 5.7 t
 2. 試験期間 昭 38.8.7~8.14
 3. S—N 曲線式

(1) 式 $N = \frac{2}{S^{2.9}} \times 10^9$
 $\left. \begin{matrix} S=166, & N=725 \\ S=112, & N=2250 \end{matrix} \right\} \text{とする。}$

(2) 式 $N = \frac{2.83}{S^{4.44}} \times 10^{12}$
 $\left. \begin{matrix} S=112, & N=2250 \\ S=83, & N=8500 \end{matrix} \right\} \text{とする。}$

付表 3—7 F 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上	
													山	谷
1	190	350	10	73	66.3	10.25	9.70	0.92	4,000(1本)	7,500(11本)	4.2	71.2	5	3 3
2	190	350	10	73	67.2	10.35	9.80	0.48	5,500(1本)	8,250(11本)	—	—	6 4	1
5	150	700	20	92	66.6	10.15	9.70	0.72	1,500(3本)	2,000(14本)	4.0	67.8	5 7	2
6	150	700	20	92	66.5	10.30	9.80	0.88	1,500(1本)	2,050(11本)	—	—	4 6	1
3	110	1,400	40	126	67.2	10.20	9.30	1.20	500(1本)	700(11本)	4.3	72.9	3 4	4
4	110	1,400	40	126	67.0	10.25	9.60	1.12	500(1本)	800(11本)	—	—	3 4	4



備考 1. 新品切断荷重 5.9t

2. 試験期間 昭 38.8.26~8.30

3. S—N 曲線式

$$(1) \text{ 式 } N = \frac{5.7}{S^{2.67}} \times 10^8$$

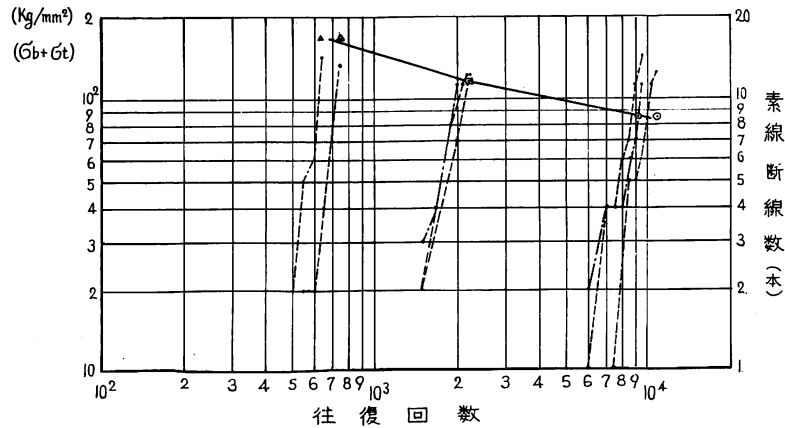
$$\left. \begin{array}{l} S=166, \quad N=750 \\ S=112, \quad N=2050 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

$$(2) \text{ 式 } N = \frac{1.04}{S^{4.75}} \times 10^{13}$$

$$\left. \begin{array}{l} S=112, \quad N=2050 \\ S=83, \quad N=7875 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

付表 3—8 G 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
1	190	350	10	73	66.4	10.50	10.10	0.88	7,500(1本)	11,000(12本)	4.4	72	8 3	1
2	190	350	10	73	67.2	10.40	10.10	0.72	6,000(1本)	9,000(11本)	—	—	9 5	
3	190	350	10	73	67.4	10.55	10.10	0.88	6,000(2本)	9,500(11本)	—	—	7 1	3
6	150	700	20	92	66.7	10.30	9.75	0.72	1,500(2本)	2,250(12本)	4.6	75	5 5	1 1
7	150	700	20	92	66.8	10.30	9.85	0.88	1,500(2本)	2,000(11本)	—	—	2 8	1
8	150	700	20	92	67.2	10.25	9.90	0.72	1,500(3本)	2,200(12本)	4.7	77	8 4	
4	110	1,400	40	126	68.6	10.30	—	1.28	500(2本)	650(14本)	4.5	74	2 8	4
5	110	1,400	40	126	66.6	10.30	9.70	0.96	550(2本)	750(13本)	—	—	8	5



- 備考 1. 新品切断荷重 6.1t
 2. 試験期間 昭 38.7.2~7.9
 3. S—N 曲線式

$$(1) \text{ 式 } N = \frac{2.32}{S^{3.84}} \times 10^{11}$$

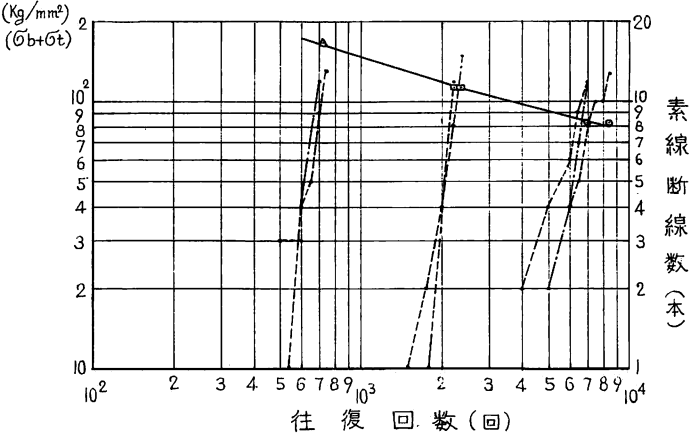
$$\left. \begin{array}{l} S=166, \quad N=700 \\ S=112, \quad N=2200 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

$$(2) \text{ 式 } N = \frac{2.2}{S^{4.88}} \times 10^{13}$$

$$\left. \begin{array}{l} S=112, \quad N=2200 \\ S=83, \quad N=9500 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

付表 3—9 H₁ 社

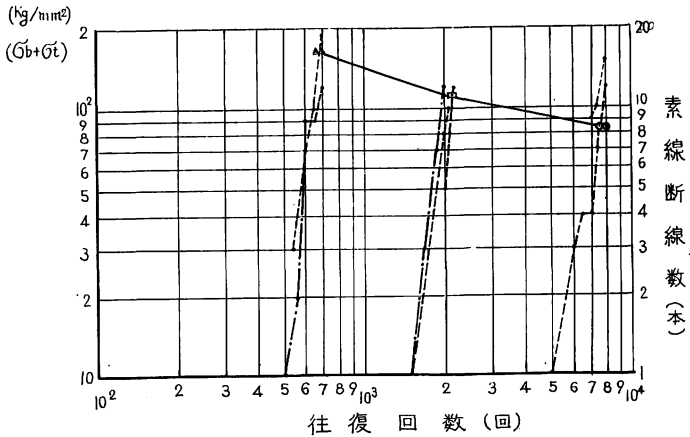
試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
1	190	350	10	73	72.8	10.25	9.7~9.9	0.88	6,000(4本)	8,500(13本)	4.5	74		
2	190	350	10	73	73	10.20	〃	0.56	4,000(2本)	7,000(12本)	—	—		
7	190	350	10	73	72.6	10.45	9.8	0.64	5,000(2本)	7,000(13本)	5.05	83		
5	150	700	20	92	72.4	10.35	9.7	0.72	1,600(1本)	2,400(15本)	4.5	74		
6	150	700	20	92	73.2	10.20	〃	0.64	1,500(1本)	2,250(12本)	—	—		
3	110	1,400	40	126	72.6	10.10	9.3~9.4	0.56	500(3本)	716(12本)	4.9	80		
4	110	1,400	40	126	72.6	9.75	〃	0.64	550(1本)	750(13本)	—	—		



- 備考 1. 新品切断荷重 6.1 t
2. 試験期間 昭 38.6.20.~6.27
3. S—N 曲線式
- (1) 式 $N = \frac{1.69}{S^{2.87}} \times 10^9$
- $S=166, N=728$
 $S=112, N=2250$ } とする。
- (2) 式 $N = \frac{3.91}{S^{4.02}} \times 10^{11}$
- $S=112, N=2250$
 $S=83, N=7500$ } とする。

付表 3—10 H₂ 社

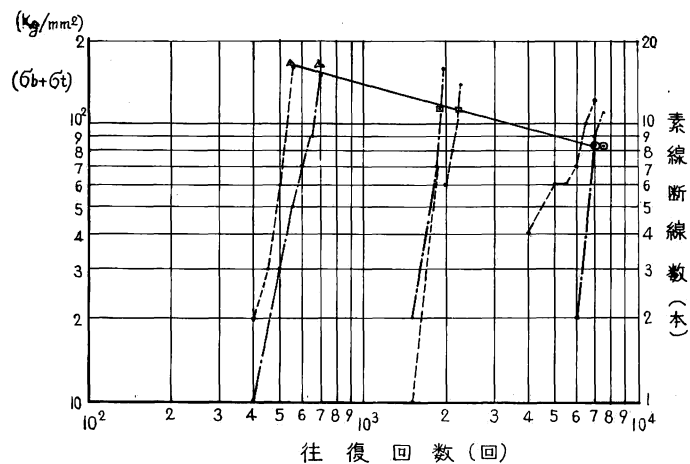
試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態		
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上		
													山	谷	山
1	190	350	10	73	70.4	10.20	9.90	0.72	7,000(9本)	7,600(12本)	—	—	8	1	6
2	190	350	10	73	70.2	10.20	9.90	0.64	5,000(1本)	8,000(12本)	5.0	83.4	10	1	1
5	150	700	20	92	70.8	10.20	9.60	0.64	2,000(5本)	2,200(12本)	4.5	75.0	6	6	
6	150	700	20	92	71.4	10.05	9.60	1.00	1,500(1本)	2,150(11本)	—	—	6	7	
7	150	700	20	92					1,500(1本)	2,000(12本)	4.7	78.3			
3	110	1,400	40	126	68.0	10.10	9.30	1.04	550(3本)	660(12本)	4.3	71.7	3	7	9
4	110	1,400	40	126	71.2	10.15	9.30	0.64	500(1本)	700(12本)	—	—	1	4	7



- 備考 1. 新品切断荷重 6t
2. 試験期間 昭 38.7.17~8.7
3. S—N 曲線式
- (1) 式 $N = \frac{1.59}{S^{2.87}} \times 10^9$
- $\left. \begin{array}{l} S=166, N=680 \\ S=112, N=2100 \end{array} \right\} \text{とする。}$
- (2) 式 $N = \frac{2.0}{S^{4.38}} \times 10^{12}$
- $\left. \begin{array}{l} S=112, N=2100 \\ S=83, N=7800 \end{array} \right\} \text{とする。}$

付表 3—11 I₁ 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
1	190	350	10	73	68.8	10.35	10.00	0.64	6,000(2本)	7,500(11本)	4.6	84	10 1	
2	190	350	10	73	68.6	10.20	9.95	0.24	4,000(4本)	7,000(12本)	—	—	8 3	1
5	150	700	20	92	69.0	10.25	—	0.56	1,500(1本)	2,000(22本)	3.6	65	10 8	1 3
6	150	700	20	92	68.0	10.30	9.70	0.60	1,500(2本)	1,950(16本)	—	—	5 8	2 1
7	150	700	20	92	68.4	10.30	9.70	0.56	2,000(6本)	2,300(14本)	3.7	67	5 6	1 2
3	110	1,400	40	126	69.6	10.25	9.30	0.56	400(1本)	700(15本)	3.6	65	5	4
4	110	1,400	40	126	68.0	10.25	9.40	1.36	400(2本)	550(16本)	—	—	9	7



備考 1. 新品切断荷重 5.5 t

2. 試験期間 昭 38.7.11~22

3. S—N 曲線式

$$(1) \text{ 式 } N = \frac{3.70}{S^{3.06}} \times 10^9$$

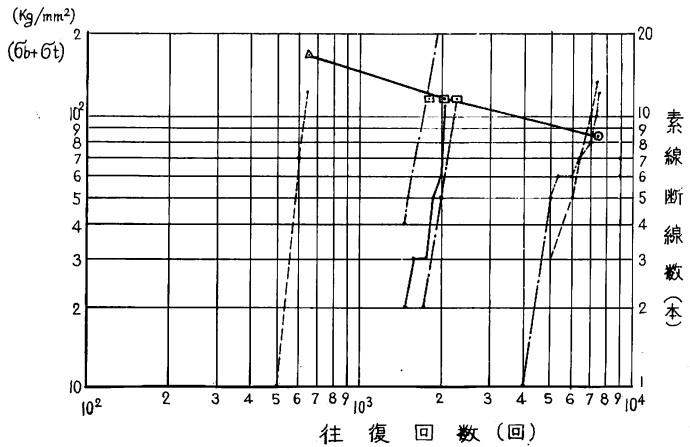
$$\left. \begin{array}{l} S=166, \quad N=600 \\ S=112, \quad N=2000 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

$$(2) \text{ 式 } N = \frac{1.28}{S^{4.3}} \times 10^{12}$$

$$\left. \begin{array}{l} S=112, \quad N=2000 \\ S=83, \quad N=7250 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

付表 3-12 I₂ 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	捻り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
2	190	350	10	73	68.3	10.30	10.00	0.72	5,000(3本)	7,500(13本)	4.5	82.6	9	4
3	190	350	10	73	68.6	10.25	9.95	0.48	4,000(1本)	7,750(12本)	—	—	11	1
4	150	700	20	92	68.4	10.20	9.85	0.56	1,750(2本)	2,300(11本)	4.1	75.3	10 1	
5	150	700	20	92	68.4	10.20	9.80	0.56	1,500(1本)	2,100(11本)	4.5	82.6	8 2	1
1	110	1,400	40	126	68.7	10.15	9.40	0.88	500(1本)	650(12本)	—	—	9	3



備考 1. 新品切断荷重 5.45 t

2. 試験 期間 昭 38.9.16~9.25

3. S—N 曲線式

$$(1) \text{ 式 } N = \frac{5.29}{S^{3.11}} \times 10^9$$

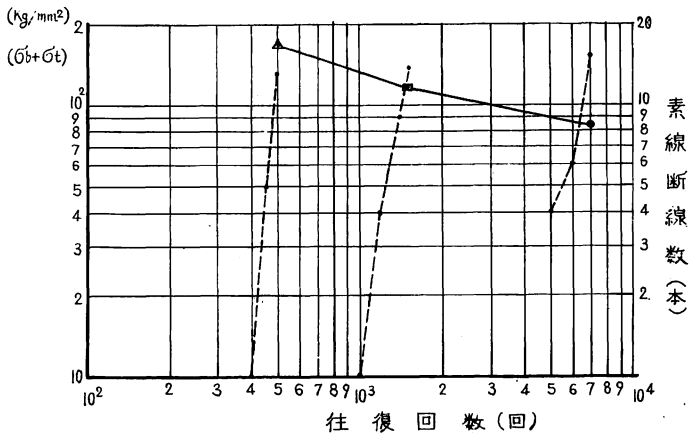
$$\left. \begin{array}{l} S=166, \quad N=650 \\ S=112, \quad N=2200 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

$$(2) \text{ 式 } N = \frac{5.29}{S^{4.09}} \times 10^{11}$$

$$\left. \begin{array}{l} S=112 \quad \}, \quad N=2200 \\ S=83 \quad \}, \quad N=7500 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

付表 3—13 J₁ 社

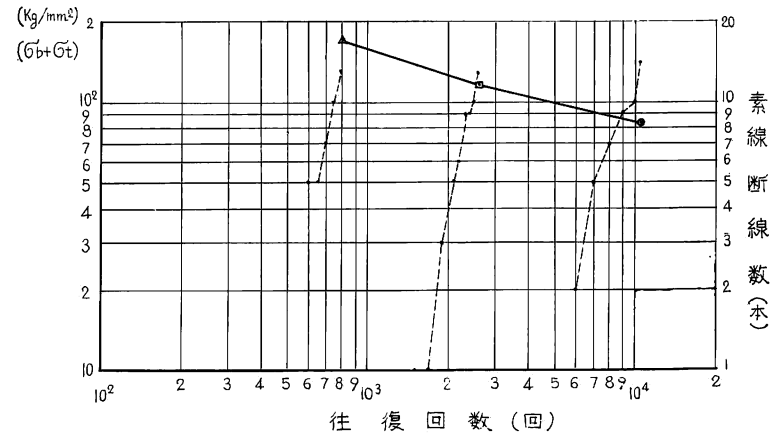
試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	撓り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
1	190	350	10	73	65.0	10.35	10.15	0.48	5,000(5本)	7,000 (15本以上)	4.7	78		
3	150	1,050	30	92	〃	10.30	9.65	0.96	1,000(1本)	1,500(14本)	4.7	78		
2	110	1,400	40	126	〃	10.25	9.50	1.44	400(1本)	500(13本)	4.5	75		



- 備考 1. 新品切断荷重 6t
2. 試験期間 昭 38.2.14~2.18
3. S—N 曲線式
- (1) 式 $N = \frac{3.975}{S^{3.56}} \times 10^{10}$
- $\left. \begin{array}{l} S=166, N=500 \\ S=122, N=1500 \end{array} \right\} \text{とする。}$
- (2) 式 $N = \frac{3.31}{S^4} \times 10^{11}$
- $\left. \begin{array}{l} S=122, N=1500 \\ S=83, N=7000 \end{array} \right\} \text{とする。}$

付表 3-14 J₂ 社

試験順序	滑車直径 (mm)	張 力 (kg)	引張応力 σ_t (kg/mm ²)	曲げ応力 σ_b (kg/mm ²)	捻り長 (mm)	鋼索直径(mm)		伸び率(%) (1割 断線時)	往 復 回 数		強 度		断 線 状 態	
						試験前	試験後		初期断線まで	1割断線まで	切断荷重 (t)	残留強度率 (%)	上 山 谷	下 山 谷
1	190	350	10	73	65.5	10.35	9.95	1.44	6,000(2本)	10,500 (14本)	3.1	50	5	9
3	150	700	20	92	65.7	10.25	9.90	1.04	1,500(1本)	2,600 (13本)	4.5	75	5 5	2 1
2	110	1,400	40	126	66.7	10.10	9.50	0.96	600(5本)	800 (13本)	3.9	65	6	1 6



備考 1. 新品切断荷重 6 t

2. 試験期間 昭 38.11.25~11.27

3. S-N 曲線式

$$(1) \text{ 式 } N = \frac{3.75}{S^3} \times 10^9$$

$$\left. \begin{array}{l} S=166, \quad N=780 \\ S=112, \quad N=2550 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

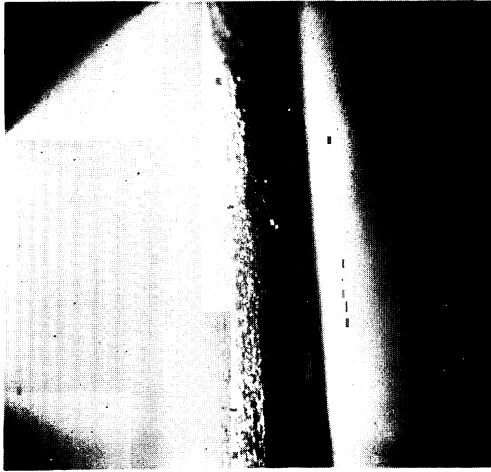
$$(2) \text{ 式 } N = \frac{6.49}{S^{4.59}} \times 10^{12}$$

$$\left. \begin{array}{l} S=112, \quad N=2550 \\ S=83, \quad N=10100 \end{array} \right\} \text{ とする。}$$

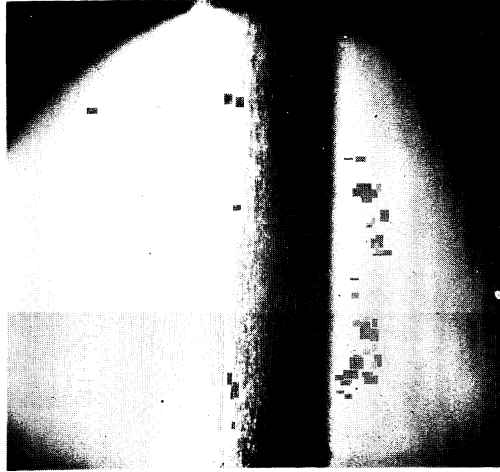
付録 4. 素線の表面あらさ写真

処理: ベンジンをガーゼに浸し軽く拭く

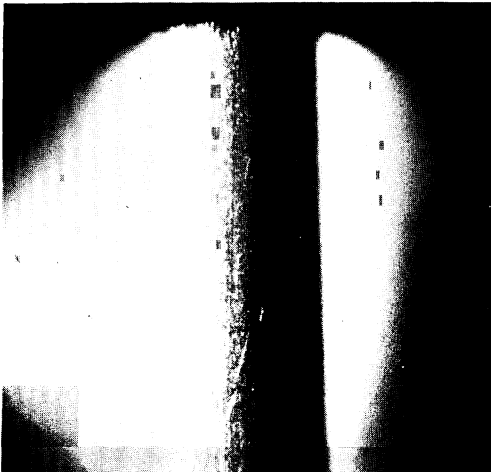
倍率: 顕微鏡倍率 40 倍



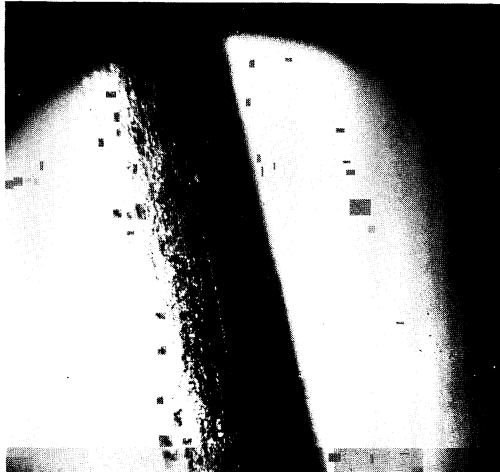
付録 4—1 A 社



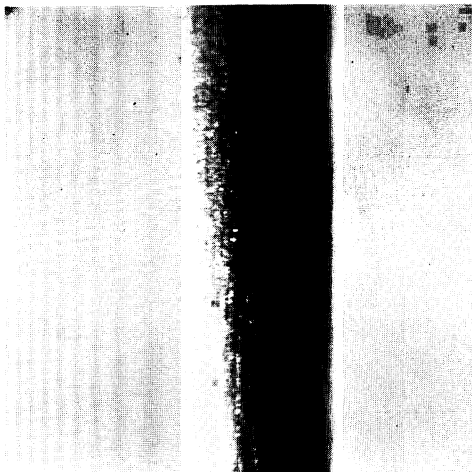
付録 4—2 B 社



付録 4—3 C 社



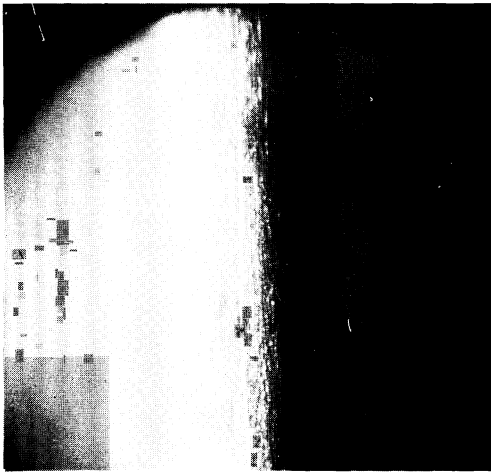
付録 4—4 D₁ 社



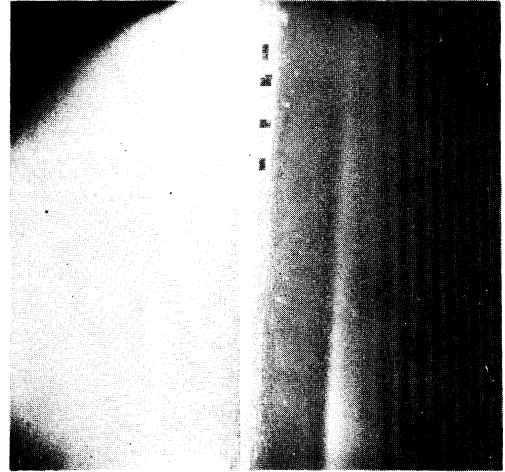
付録 4—5 D₂ 社



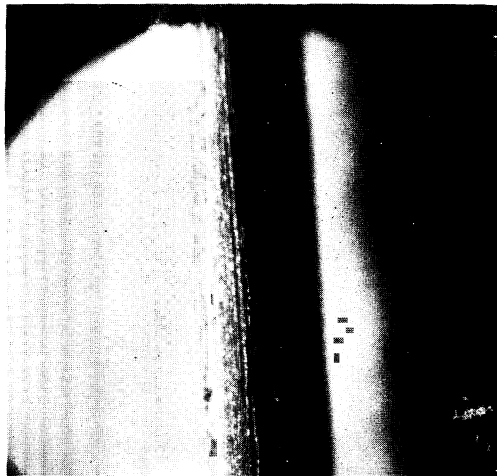
付録 4—6 E 社



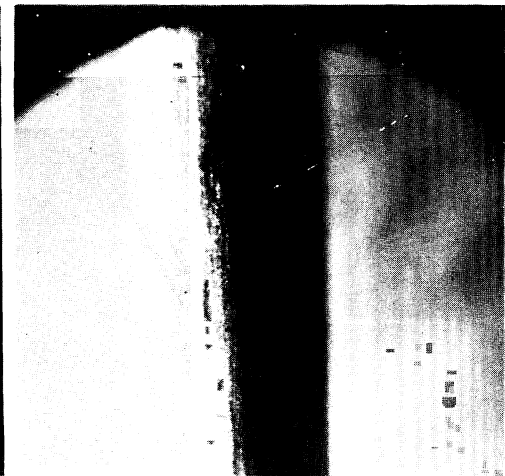
付録 4—7 F 社



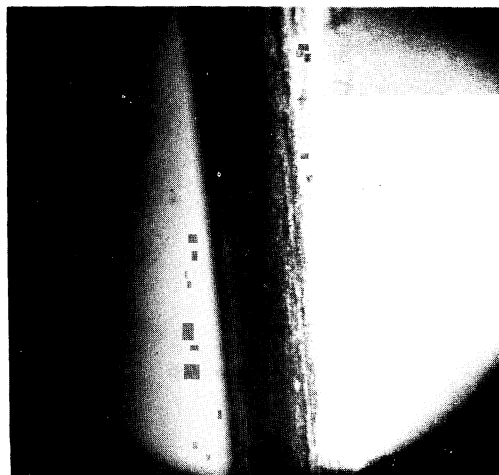
付録 4—8 G 社



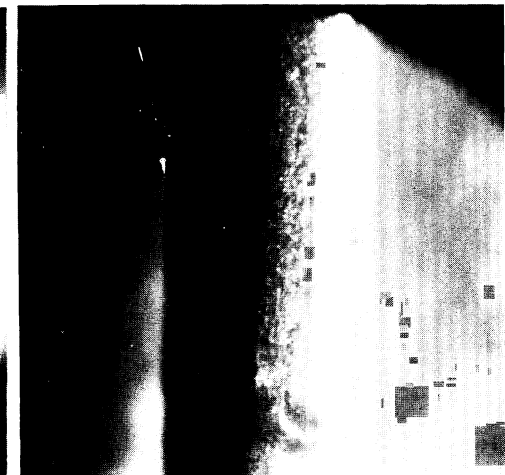
付録 4—9 H₁ 社



付録 4—10 H₂ 社



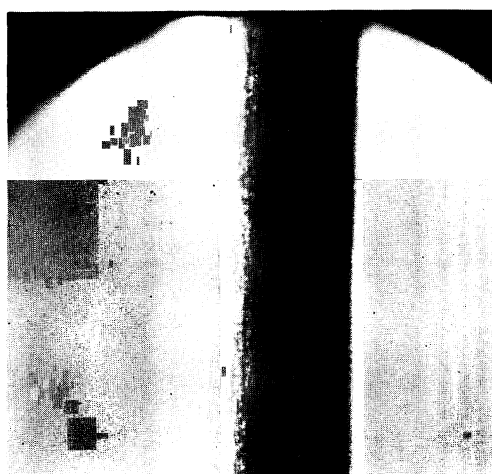
付録 4—11 I₁ 社



付録 4—12 I₂ 社



付録 4—13 J₁ 社

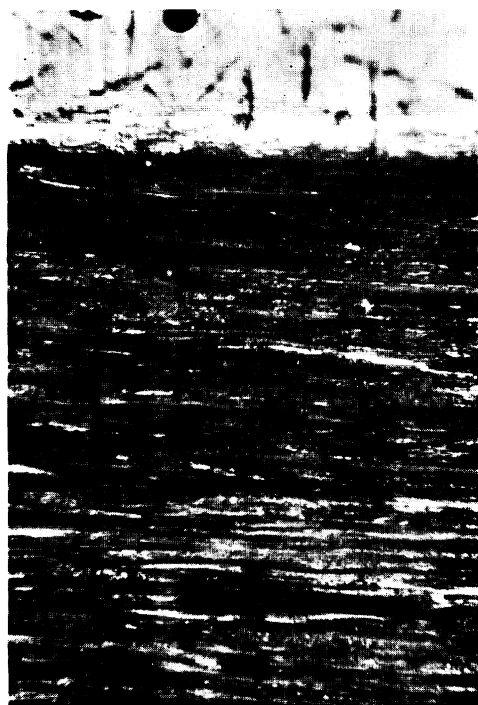


付録 4—14 J₂ 社

付録 5. 素線の顕微鏡組織写真

腐蝕: 5% ピクリン酸アルコール溶液

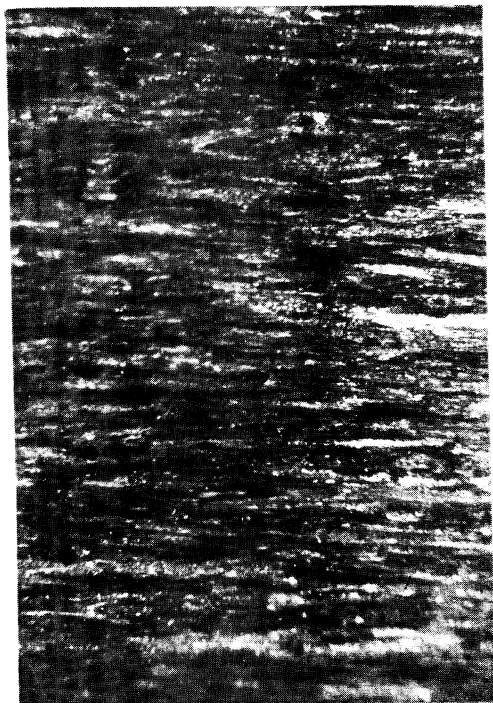
倍率: 顕微鏡倍率 200 倍



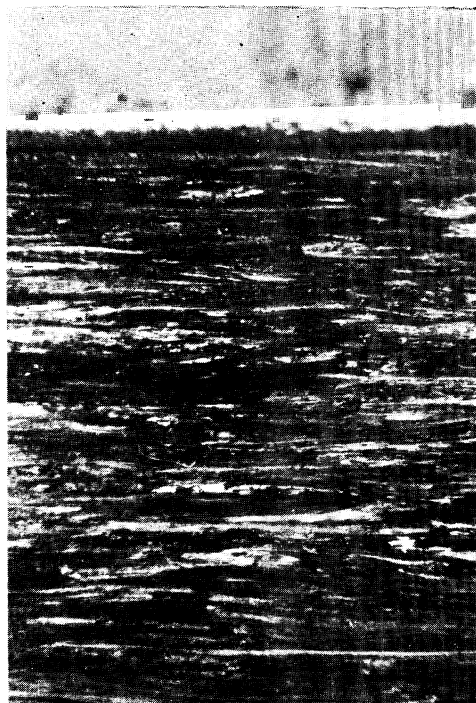
付録 5—1 A 社



付録 5—2 B 社



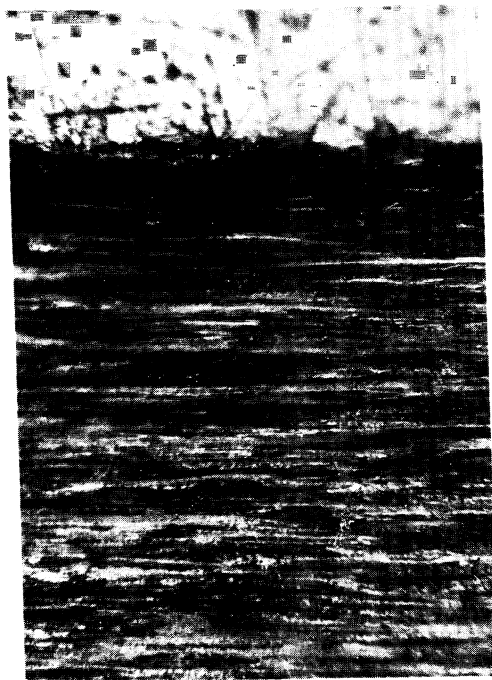
付録 5—3 C 社



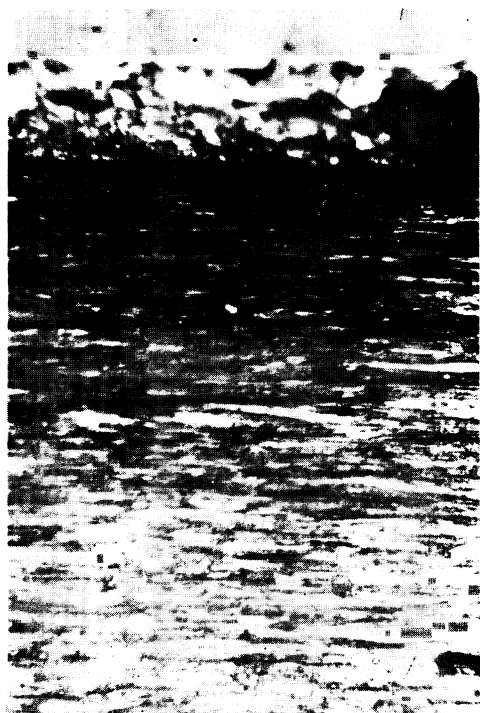
付録 5—4 D₁ 社



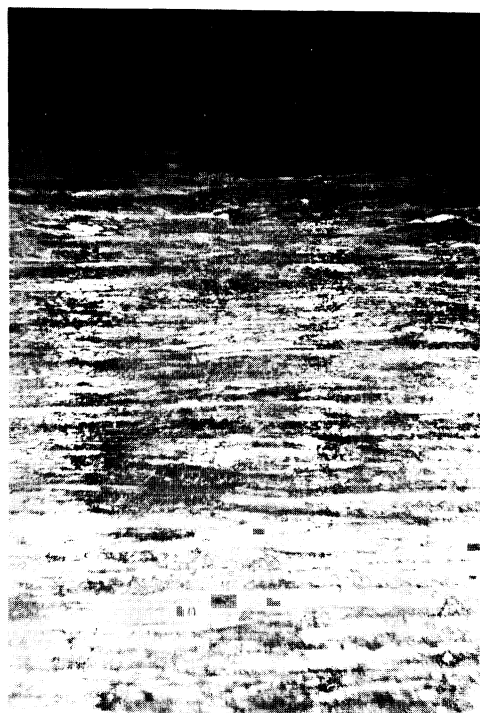
付録 5—5 D₂ 社



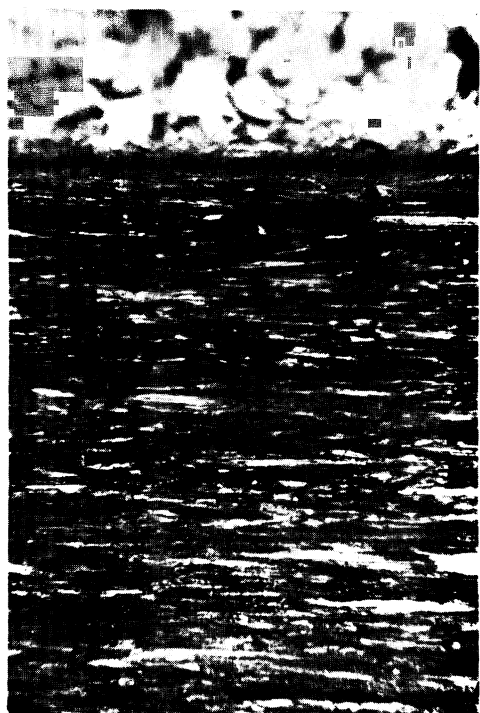
付録 5—6 E 社



付録 5—7 F 社



付録 5—8 G 社



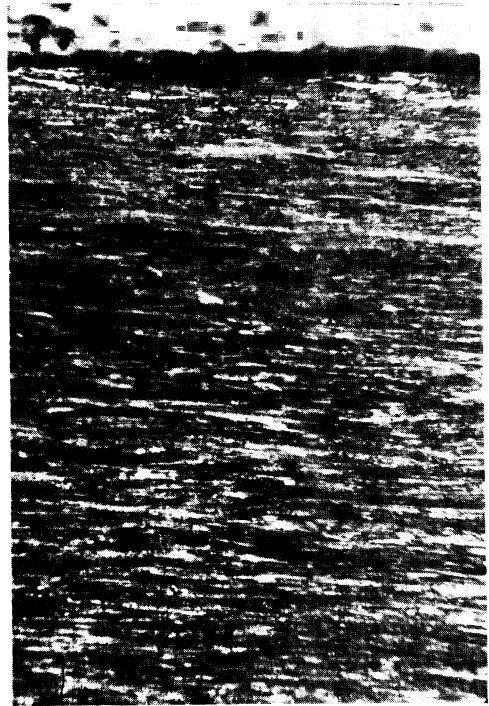
付録 5—9 H₁ 社



付録 5—10 H₂ 社



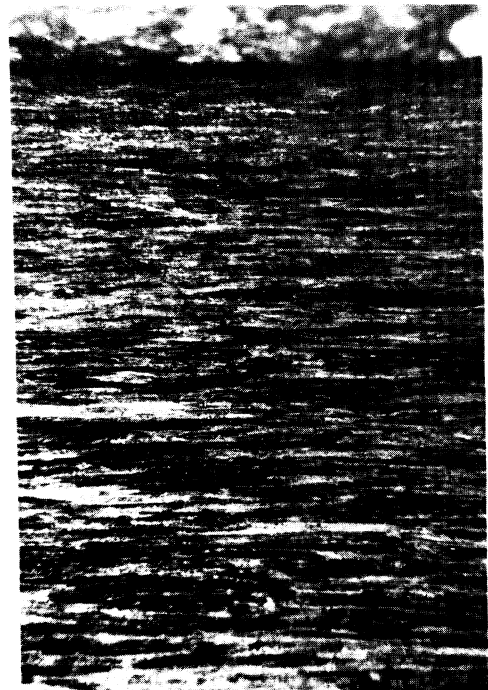
付録 5—11 I₁ 社



付録 5—12 I₂ 社



付録 5—13 J₁ 社



付録 5—14 J₂ 社