

# ワイヤロープの性能に関する研究

( 中 間 報 告 )



## ワイヤロープの性能に関する研究

## I 試験担当者名

機械化部機械科長	上 田 実
機械化部機械科機械第1研究室長	柴 田 順 一
機械化部機械科機械第1研究室主任研究官	富 永 貢
元機械化部主任研究官	斉 藤 敏 彦(退職)

## II 試験目的

集材機や索道などの架空線集材装置は、山岳林の多いわが国にあっては、木材運搬手段のうちで重要な役割をはたしてきた。そして他の運搬手段が部分的にこれに換りつつある今日でもなお、架空線による方法は主要な役割をにっていることに変わりはない。集材機の索張り方式と、それにともなう附属機械器具の類は、時代の要求にこたえ改良を重ねつつ発展をつづけている。

これら架空線集材装置の主たる構成要素であるワイヤロープの使用にともなう劣化、とくに曲げ疲労について究明し、架空線集材装置に用いられるワイヤロープの選択と適切な使用方法、耐用限度の判断などに役立つ資料を得ることによって架線集材作業の安全性を高め、経済性の向上を計ろうとするのがこの研究課題の目的である。さらに、ワイヤロープあるいは架線集材作業に関連する器具についても、それぞれの性能・能力・特徴を明らかにすることもまた目的とするところである。

## III 試験の経過

当研究室においては、集材架線および索道の設計理論を中心に研究を進めて来た。その過程で架空線装置にあって中心となるワイヤロープの摩耗・腐蝕などの劣化の実態にたびたび接し、ワイヤロープの耐久性・使用限度の問題に注目し検討を始めた。実態調査・文献調査によって、ワイヤロープの疲れの問題は、鉾山関係を中心に過去に相当の成果が収められていることがわかった。しかし、林業におけるワイヤロープの使用状況を調べてみると、ワイヤロープの構成(種類)が異なり、さらに、それが受ける引張り応力と曲げ応力も大きく、過去の資料のみで



は不十分な点が多いことが明かになった。このことからワイヤロープの疲れ試験の必要性を確信するに至り、試験に着手した。

昭和37年に作業索用のワイヤロープS曲げ疲れ試験機を、つづいて38年には主索用のワイヤロープ小角度曲げ疲れ試験機を林試構内に設置し、それぞれの試験が開始された。

まず林業の架空線集材装置における場合に似せて、疲れ試験機におけるワイヤロープの負荷張力、曲げを与える滑車の径および曲げの形などの条件を設定し、ワイヤロープの疲れ特性を表現する方法を検討し、これに一定の成果を得た。つぎにこの結果をもとにして、製造メーカーの異なる同一規格のワイヤロープの比較試験を行ったところ、メーカーの間にその製品の性能において予想以上の差があることがわかった。(後掲文献1, 2, 3)。

そこで、より良い性能を持つワイヤロープを選択する方法を追求するという立場から、昭和41年長野営林局上松運輸営林署に林試と同じ疲れ試験機を設置し、42年度から国有林が購入したワイヤロープの中からサンプルを抽出して、継続的な疲れ試験を開始し、現在に至っている。この試験については、林業試験場機械第1研究室が計画と基礎的な試験を分担し、連絡を保ちながら試験結果のとりまとめも行っている。(文献5)。

一方、林業試験場機械第1研究室においては、さらにはは広くワイヤロープの疲れ試験の基礎資料の蓄積をはかるため、林業試験場が外部から依頼を受けて実施する試験の区分の中に、鋼索の寿命試験を設けて、ワイヤロープメーカーから供試ロープの提出を受けてその疲れ試験を実施して来た。これらの件数は現在まで47件を数え、結果は全て林業試験場試験成績書として提出されている。またこれと同時に研究室独自の目標を設定し試験を計画して、滑車溝底径がワイヤロープの寿命に及ぼす影響、ブリテンション効果、曲げ回数の増加にともなう強さの低下、などを実験的に究明している。

また、ワイヤロープの疲れ試験に関連して、事故を生じたワイヤロープの原因調査、使用されたワイヤロープの残留強さ試験、スプライスの効果、などの試験も機会を得ては実施してきた。

さらに、ワイヤロープに関連する機械器具の強さ試験・性能試験についても、必要に応じてあるいは林野庁、民間からの要求に応じて、試験方法を検討しながら実施して来た。

以上、研究課題についてその経過の概要を述べたが、かなりの年数を経過してその対象範囲が広がり、その内容に若干の変化もあるが、先に研究の目的にあげたように、ワイヤロープを中心とした架空線集材装置を構成する各々の機械器具について、試験・実験を通して具体的に役に立つ資料を得ることに主眼をおいて、この研究課題を継続している。

#### IV. 試験の成果

これまでに得られた成果は、次節Vに項目を一覧表として示すとおりである。これらの結果は全体を体系づけて集約されていない。これまでに蓄えたデータは内容を分類整理して適当な方法でとりまとめることは、ぜひ必要なことであり今後の課題となっている。

したがってここでは、これまでに得られた成果の中からいくつかを選んで、その概要を述べる。

##### 1. 素線断線の発生傾向と残留強さ

疲れ試験機におけるワイヤロープの寿命試験の結果は、同一規格のワイヤロープであっても相当にバラつきがある。数多くくり返してみると寿命値の標準偏差は、寿命値の平均値の10~20%となることは普通である。ここで寿命とはワイヤロープ1より長さの間に総素線数の10%の素線断線が生じる(1割断線とよぶ)までの、往復回数で表わしている。個々のワイヤロープについての寿命値を正確に推定することは容易ではない。しかし、ワイヤロープの構成(種類)ごとに見ると、その疲れの進行経過にはっきりした特徴を見出すことができる。ここでは、素線断線の発生傾向と寿命に達した時点における残留強さについて、その概要をみている。

##### (1) 素線断線の発生傾向

疲れの進行にともない素線断線の数は増加し、ついには1割断線に至り寿命に達したと見なされる。この断線数の増加の程度がワイヤロープの種類によりはっきり異なることが明らかとなった。1つは比較的早い時期に最初の素線断線(初断線)が現われ、それ以後しだいに断線数が増す傾向にあるものであり、いま1つは相当の往復回数を経た後に初断線を生じ、それ以後は急激に断線数が増加し寿命に至るものである。いま寿命をNL、初断線が発生した往復回数をN<sub>1</sub>とし、その比N<sub>1</sub>/NLで初断線の発生時期を表わし、これをワイヤロープの種類ごとに比較して示すと表1のようになる。

(表1) 初断線の発生時期(N<sub>1</sub>/NL)

ワイヤロープ構成	分布の範囲	頻度の高い範囲	平均値
作業索			
JIS 1号6×19	0.5~0.8	0.55~0.75	0.60
JIS 12号6×Fi(25)	0.6~0.95	0.65~0.85	0.75
JIS 11号6×W(19)	0.6~1.0	0.90	0.90
JIS 10号6×S(19)	0.85~1.0	0.95	0.95
主索			
JIS 1号6×7	0.6~0.95	0.75~0.95	0.80



寿命値についてみるとバラつきが大きく一概に表わせないが、その概略を比較すると、 $6 \times \text{Fi}(25)$ 、 $6 \times \text{W}(19)$ 、 $6 \times \text{S}(19)$ の寿命は、 $6 \times 19$ のそれのおよそ2倍である。

以上のことからつぎのことがいえよう。

- ①  $6 \times 19$ に比べ $6 \times \text{Fi}(25)$ 、 $6 \times \text{W}(19)$ 、 $6 \times \text{S}(19)$ は寿命がおおよそ2倍であり、初断線の発生時期はずっとおそい。しかし、
- ②  $6 \times \text{Fi}(25)$ 、 $6 \times \text{W}(19)$ 、 $6 \times \text{S}(19)$ の場合、とくに $6 \times \text{W}(19)$ 、 $6 \times \text{S}(19)$ にあっては、初断線が発生すると急激に断線数が増加し、すぐに寿命に達する。

## (2) 寿命に達したロープの残留強さ

1割断線が生じたワイヤロープの残留強さと寿命の関係の概略は表2のようにまとめられる。残留強さは新品の強さに対する比で示している。ワイヤロープの構成による残留強さの差が著しいことがわかる。

(表2) 寿命に達したロープの残留強さ

ワイヤロープ構成	分布の範囲	頻度の高い範囲
作業索		
JIS 3号 $6 \times 19$	0.38 ~ 0.91	0.70 ~ 0.80
JIS 12号 $6 \times \text{Fi}(25)$	0.19 ~ 0.80	0.30 ~ 0.40
JIS 11号 $6 \times \text{W}(19)$	0.0 ~ 0.38	0.05
JIS 10号 $6 \times \text{S}(19)$	0.0 ~ 0.44	0.05
主索		
JIS 1号 $6 \times 7$	0.66 ~ 0.95	0.80 ~ 0.90

これからつぎのことが言える。

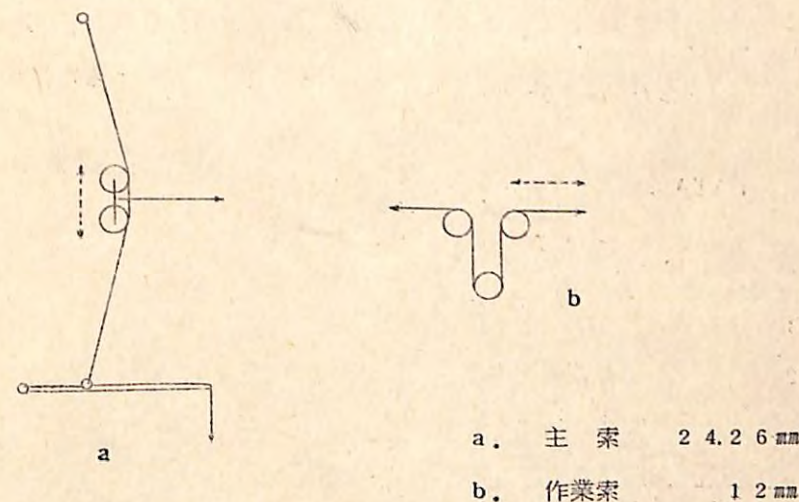
現行のワイヤロープ廃棄基準として示されている素線断線の項では、ロープの構成に関係なく10%の断線数となっている。しかし、断線の発生は上述のようにロープの構成ごとに一様でない。したがってつぎのような考慮が必要である。すなわち、廃棄基準に達した時点で残留強さ70~80%を保っている必要があるとすれば、 $6 \times 19$ 、 $6 \times 7$ については10%の断線、 $6 \times \text{Fi}(25)$ では5%の断線、 $6 \times \text{W}(19)$ 、 $6 \times \text{S}(19)$ では初断線が生じた時点廃棄を目やすとするがよいと考えられる。実際の集運材架線装

置にあっては、上にあげた数字が状況によって変りうるだろうが、少なくともこのようなワイヤロープの構成ごとの特徴は十分に考慮し、保守点検の必要があろう。

2. 上松運輸営林署における試験結果から上松運輸営林署におけるワイヤロープの疲れ試験を行った試料の数は、作業索として $6 \times 19$ (JIS 1号品)は11社283本、 $6 \times \text{Fi}(25)$ (JIS 12号)は10社220本、主索として $6 \times 7$ (JIS 1号)24~26mmは6社102本、特殊構成ロープ24~26mmは6社7種、310本の多くに達している。

作業索の疲れ試験は、試験条件として索張力350kg、滑車径190mmのS曲げ2回の試験条件を設定し、全てこの条件下で行っている。試験項目としては、寿命試験、一定回数往

図1. 疲れ試験



復後の残留強さ試験( $6 \times 19$ では4,000回、5,000回、 $6 \times \text{Fi}(25)$ では6,000回、8,000回)、引張試験、製品検査、素線検査を実施している。これまでにとりまとめた中から概要を示すとつぎのようになる。

寿命試験による寿命値の確率密度関数の型は対数正規分布とするのが最もよく適合することがわかった。ワイブル分布あるいは真数正規分布と見なしても大きな誤りはない。寿命と一定回数往復後の残留強さについて $6 \times 19$ と $6 \times \text{Fi}(25)$ を対比して示すと表3のとおり。

寿命試験および一定回数往復後の残留強さ試験の結果の全体を把握した上で、ワイヤロープメーカーの間の比較を、分散と平均値の差の検定により試みた。その結果はその性能が相対的に優れているもの、劣っているもののそれぞれに1~2のメーカーが有意な差を持って



(表3) 寿命と残留強さ

ワイヤロープ構成		6×19	6×Fi(25)
寿命	平均値	6,117回	9,560回
	標準偏差	1,050回	1,947回
残留強さ	平均値	4,000回往復後 $7.54 \times 10^3$ kg	8,000回往復後 $5.07 \times 10^3$ kg
	標準偏差	$0.726 \times 10^3$ kg	$0.218 \times 10^3$ kg

いることがわかった。ただしこの結果だけからメーカーの優劣を断定するには無理もあると考えられる。

ワイヤロープの耐疲労性に影響を及ぼす要因を、製品検査、素線検査の測定項目の中から探そうという試みは、これまでのところ明確な答を得られないでいる。

6×19の寿命値の分布図を図2に、主索の疲れ試験による寿命の分布図を図3に示す。

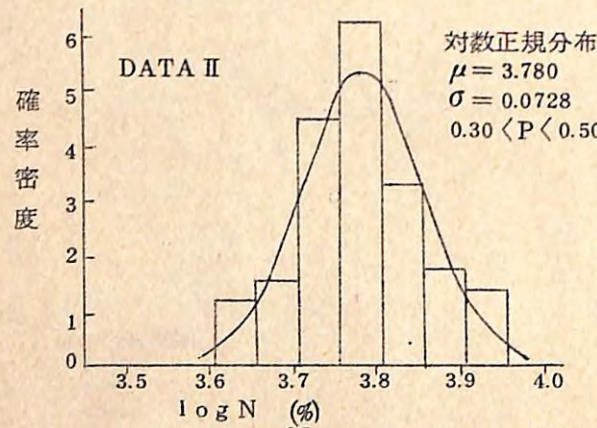
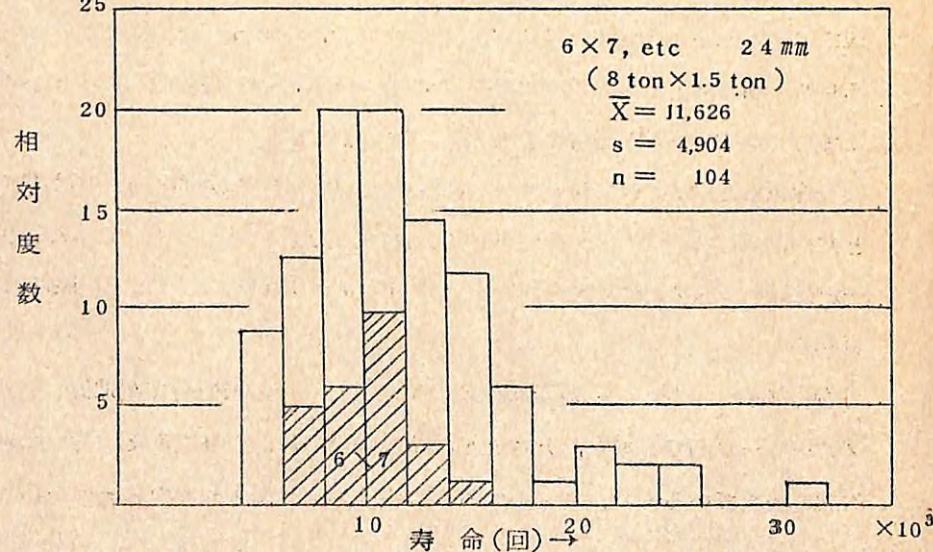


図-2 寿命値の分布



### 3. スプライス加工したワイヤロープの強さ試験

ショートスプライス、および台付ロープのアイススプライス加工したワイヤロープの引張破断強さを知るために実験を行った。

ワイヤロープのスプライス加工は、現行集材機作業基準ではロングスプライスで行うことを原則としているが、作業索についてはショートスプライスも可とされている。しかしショートスプライスでは、ドラムに巻込む場合に乱巻きによる型崩れを起すなど不都合なこともあり、改善策としてセミロングスプライスと呼ばれる方法が使われている。一方台付ロープに用いるアイススプライスも、6ストランドのロープを3ストランドに2分割して相互に組み込む巻き差しも簡便な方法として使用されている。

これらの試験を6×24%10mm, 12mm, 14mmのワイヤロープについて強さを求めた。その結果は、

#### ① ショートスプライスの場合

10mmロープでは	約5 ton
12mm "	" 7 ton
14mm "	" 9 ton

#### ② アイススプライスの場合

10mmロープでは	約5 ton
12mm "	" 7 ton
14mm "	" 9 ton

であった。

### 4. シャックルの強さに関する試験

青森営林局の依頼により、特殊シャックルの強さ試験を行った結果の概要はつぎのとおり。この特殊シャックルは、シャックルピンの脱着を片手で容易に操作できるように、シャックルピンとピン穴に工夫がなされたものである。

試験の方法は、シャックルにワイヤロープをかけ張力を増しながら、シャックル各部に変形が生じる荷重を求めた。同時に普通型のストレートシャックルも試験し比較した。供試品の寸法およびピンの変形が認められるに至った荷重は、それぞれ表4, 5のとおりであった。



(表4) 供試品の寸法

		シャックル本体 の径	シャックルピン ま たはボルトの径	シャックル本体 の内径
特殊シャックル	大 型	25	25	50
	小 型	20	24	31
普通型ストレート シャックル	大 型	25	25	50
	小 型	20	24	31

(単位 mm)

(表5)

		ピンまたはボルトが変形した荷重
特殊シャックル	大 型	5.0
	" (補強あり)	5.0
	小 型	8.0, 8.0
	" (補強あり)	8.5
普通型ストレート シャックル	大 型	5.5, 6.0
	小 型	9.5

(単位 ton)

引張荷重が増加すると、シャックルピンに変形が生じ、シャックル本体の内径がわずかに大きくなる。このために特殊シャックルでは安全ガードの開放が困難となり、ピンの着脱が困難となった。普通型のピンではボルトのネジが廻りにくくなった。いずれの場合にも、ピンまたはボルトの変形がまず生じており、ピン穴の変形は全くみられなかった。したがって、特殊シャックルのピン穴の周囲を補強したものも、シャックルとしての強さは、ほとんど同じと見られた。

## V これまでに公表した試験の結果

### 1. 研究報告

- (1) 鋼索の疲労に関する試験報告(1), 上田実・富永貢 第74回日本林学会大会講演集, 1963。
- (2) 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, 林業試験場研究報告第164号, 1964。

(3) 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, 上田実・斉藤敏彦・柴田順一, 林業試験場研究報告213号, 1968。

(4) ワイヤロープの伸び測定法, 富永貢, 第84回日本林学会大会講演集, 1973。

(5) 林業用鋼索の疲労に関する研究第3報作業索(6×19, JIS3号)の疲れ寿命試験, 機械第1研究室, 上松運輸営林署ロープ試験室, 林業試験場研究報告(300)

### 2. 林業試験場試験成績書

#### 鋼索の寿命試験

- |  |          |
|--|----------|
| (6) 6×19Q/O, 10mm, 2種, 大和工業製                 | 38. 4.17 |
| (7) 6×19Q/O普通より(40C), 大和工業製                  | 38. 6.28 |
| (8) 6×19Q/O, 10mm, 2種, 出原工業製                 | 38. 7. 5 |
| (9) 6×19Q/O, 10mm, 暁製鋼製                      | 39. 9.11 |
| (10) 6×19Q/O, 10mm, 西田製鋼製                    | 39.10.16 |
| (11) 6×19Q/O, 10mm, 鉛焼入れ, 暁製鋼製               | 39.12.25 |
| (12) 6×7C/L, 16mm, A種, イゲタ製鋼製                | 40.10.15 |
| (13) 6×Fi(19+6)Q/O, 10mm, A種, 暁製鋼製           | 40.10.15 |
| (14) 6×Fi(25)Q/O, 10mm, A種, Z捻り, 日本鋼線鋼索製     | 40.12.15 |
| (15) 6×19Q/O, 10mm, A種, Z捻り, 日本鋼線鋼索製         | 40.12.16 |
| (16) 6×19Q/O, 12mm, 朝日製鋼製                    | 41. 9.12 |
| (17) 6×19Q/O, 12mm, 朝日製鋼製                    | 41. 9.12 |
| (18) 6×Fi(25)Q/O, 12mm, 神鋼鋼線鋼索製              | 41. 9.12 |
| (19) 6×7C/L, A種, 川崎製鉄製                       | 42. 1.10 |
| " , 190kg/mm <sup>2</sup> , "                |          |
| " , 215kg/mm <sup>2</sup> , "                |          |
| (20) 6×19, 12mm, 裸, 普通捻, 中心麻芯入, 新大日製鋼製       | 42. 2.14 |
| (21) 6×Fi(25)Q/O, 12mm, イゲタ製鋼製               | 42. 2.14 |
| (22) 6×(1+9+14)G/O, 12mm, 東洋鋼線鋼索製            | 42. 4.11 |
| (23) 6×(1+9+14)Q/O, 12mm, 麻芯入り, 東洋鋼線鋼索製      | 42. 4.11 |
| (24) 6×Fi(25), 12mm, 裸, 普通捻り, 中心麻芯入, 日本鋼線鋼索製 | 42. 4.13 |
| (25) 6×7, 16mm, A種(スラフロープ), 昭和製鋼製            | 42. 5.16 |
| (26) ロックドコイル, LCR, B型, メッキ, 16mm, 東京製鋼製      | 42. 6.14 |



(27) サンロープ C/L, 16mm, 帝国産業製	42. 7.28
(28) SRAF 6×S, O/O, 12mm, 麻芯入り, 昭和製綱製	42.10.13
(29) SRAF 6×S, O/O, 12mm, 麻芯入り, 昭和製綱製	42.10.13
(30) SRAF 6×W, O/O, 12mm, 麻芯入り, 昭和製綱製	42.11. 4
(31) SRAF 6×FiO/O, 12mm, 麻芯入り, 昭和製綱製	42.12. 4
(32) 6×FiO/O, 12mm, 麻芯入, 昭和製綱製	42.12. 4
(33) サンロープ C/L, 16mm, A種, 帝国産業製	43. 4.12
(34) サンシール 6×S(19) O/O, 12mm, 帝国産業製	43. 4.19
(35) 6×S(19) O/O, 12mm, 帝国産業製	43. 4.19
(36) サンロープ 6×W(19), 12mm, A種, 帝国産業製	43. 7.10
(37) 6×W(19) O/O, 12mm, A種, 帝国産業製	43. 7.10
(38) 6×Fi(19+6), 麻芯, 12mm, 日本鋼線鋼索製	43. 7.11
(39) ロックドコイル B型, メッキ, 16mm, 東京製綱製	43.12. 3
(40) サン 6×Fi(25) O/O, 12mm, A種, 帝国産業製	44. 2.20
(41) 6×Fi(25) O/O, 12mm, A種, 帝国産業製	44. 2.20
(42) 6×S(25) O/L(A), 12mm, 朝日製綱製	44.11.13
(43) 6×Fi(17) C/L(A), 12mm, 朝日製綱製	45. 1.13
(44) 6×7 C/L(A), 12mm, 朝日製綱製	45. 3.31
(45) 6×19 O/O(A), 12mm, 朝日製綱製	45. 4.17
(46) 6×Fi(25) %A, 12mm, 日本鋼線鋼索製	45. 4.27
(47) 6×19 O/O(A), 12mm, 日本鋼線鋼索製	45. 4.27
(48) 6×W(16) C/O, 12mm, 朝日製綱製	45. 8.21
(49) 6×W(16) C/L, 12mm, 朝日製綱製	45. 9. 1
(50) シングルロープ 4×Fi(22+7) O/O, 12mm, 帝国産業製	45.10.20
(51) スラフロープ 6×Fi(25) O/O, 12mm, 日鉄ロープ製	50. 4.14
(52) 6×19, 12mm, ダイヤ工業製	52. 3.25
鋼索の残留強さ	
(53) ワイヤロープの残留強度試験(6×24, G/O, 14mm)	47. 9.29
鋼索に関連する器具の性能, スプライスの効果など	
(54) 三徳バイスSB4号の保持力	39. 9.26

(55) シメラー式ワイヤクリップの把持力試験ならびに試験後使用ワイヤロープの 残留強度試験	40. 1.18
(56) 特殊クランプ(金谷鉄工所製K凝)の把持力比較試験	40.11.11
(57) ヒールクランプ(丸山鉄工所製)の把持力と試験ロープの残留強度試験	41.12.19
(58) ワイヤロープストッパー(結束器)1型, 2型の把持力試験	42. 1.20
(59) ワイヤロープ用巻付グリップ(直真工業KK製WGD-10)の把持力試験	42. 6.13
(60) 改良型ブロック(丸山鉄工所製ユニバースブロック, UMV-56L型)の強度試験	42.12.11
(61) 鋼索の合金止めEye 加工(ナックロック)とさつま継ぎ法の性能比較	42. 9. 8
(62) 油圧プレス機(泉陽綱具KK製LH-16型, LD-32型)によるロック加工の強 さ試験	44. 8.18
(63) アイアングリップ(大幸産業KK製, BG-M-12, M-20, M-22, 25) とJIS型クリップの握索力比較試験	45. 3.14
(64) ZBブロック(7~12型)の破壊強度試験及び各荷重における変型度合	51. 6.30
機械器具の性能	
(65) シメラー式ワインダー	39. 2.12
(66) 合成樹脂製とびの柄の強度試験	41.10.26
(67) ロープ張力安全器(丸山工業KK製)の変動荷重に対する油漏の有無と精度試験	43. 1.25
(68) ワイヤロープ用テンションメーター(谷藤機械工業製)の変動荷重に対する油漏の 有無と精度試験	43. 1.25
(69) SKガイライン張線器(直真工業KK製)の引張強度並びに緊張能力	43. 1.25
(70) RS張力計(KK測機舎製, 容量5ton)の精度	43.10. 9
(71) RS-30張力計(KK測機舎製, 容量30ton)の精度	43.10.15
(72) 合成樹脂製とびの柄(ツバメ化学工業KK製)の強度試験	43.12. 2
(73) ローディングウェイトスィベルの引張り強さ試験	43.12.14
(74) 簡易張力計(測機舎製T2型)の張力計性能試験	45. 3.17
(75) ルーパー(象印チエンブロックKK製, 1.5ton)の耐力テストおよび定容量の 場合の手巻き力	46. 3. 3



- (76) ルーバー(象印チエンブロックKK製, 1.5 ton, 0.75 ton)の耐力試験および使用荷重と保持荷重におけるロープのすべり 48.10.24
3. 林野庁・営林局への報告書
- (77) 作業索の疲労度と塗油効果の確認,  $6 \times 19$ ,  $6 \times \text{Fi}(25)$ , 12mm, 旭川営林局へ回答 41. 9.12
- (78) ワイヤロープの破断原因調査結果, 前橋営林局への回答 42. 8.21
- (79) 集材機架線用アンカー(根株・立木・埋込み)の強度試験報告書, 東京営林局作業課 43.12.
- (80) ワイヤロープの適正な管理について, 林野庁業務課へ提出 46. 1.18
- (81) 人工アンカーの強さについての検討, 人工アンカー強さ試験報告書, 東京営林局作業課へ提出 48. 1.
- (82) 人工(組立て)アンカーの強さについて, 実地試験報告書, 東京営林局作業課へ提出 49.12.
- (83) シャックルの強さに関する試験報告書, 青森営林局へ回答 52. 7.
- (84) ワイヤロープの切断試験報告書, 東京営林局へ回答 52.11.

以 上