圧力をうけて変形した鋼索の強度について

佐　々　木　　功

Isao SASAKI

A Study on the Tensile Strength of the Wire Rope deformed by the Compressive Load

目　　次

1．はじめに…… 119
2．鋼索の変形の種類とその強度低下について従来の研究…… 119
3．本研究の目的…… 120
4．実験方法…… 120
(1) 主索用鋼索の実験法
(2) 作業索用鋼索の実験法
5．実験結果…… 122
(1) 主索用鋼索の実験結果
(a) 変形について
(b) 強度劣化について
(c) 素線の強度劣化について
(2) 作業索用鋼索の実験結果
6．実験結果に対する考察…… 128
(1) 主索用鋼索について
(2) 作業索用鋼索について
(a) 変形について
(b) 強度劣化について
7．おわりに…… 131
参考文献…… 131

1．はじめに

近時木材需要は工業原料，建築土木面において急速な増加を来たし，その上2次，3次産業の急激な発展に伴って森林作業労務者の逼迫とによって，わが国の林業は必然的に機械化による森林作業を行わなければならない立場となって来た。その林業の機械化の最たるものは木寄集材の部門であることは衆知のところである。すなわち集材機による架線運搬作業である。この作業は多量の鋼索を用いる特殊なものである関係上，技術・技能の未熟に原因する災害が現今の森林作業の全災害中で極めて高い割合を占めて来つつある。そこで昭和36年度政府は労働安全衛生規則の一部改制を行い，集・運材架線技士免許制度を設け，翌昭和37年度から施行し，災害の未前の防止と作業の安全を計ったのである。この災害の原因には急激な機械化のために作業に対する技術技能の未熟，鋼索に対する知識不足による不適当な使用法，あるいは不注意な取扱いなどが挙げられているが，鋼索を使用している中に種々な変形を起しその結果鋼索の強度の低下を来し，作業中の衝撃などの荷重をうけて災害を惹起しているものも多いと考えられる。根本的には鋼索の変形とその強度との関係が熟知されていないためについ不用意に使用して災害を起しているとも思われる。そこで鋼索の変形とその強度の低下について研究することは災害防止上重要なことと考えられる。

2．鋼索の変形の種類とその強度低下について従来の研究

森林内において鋼索を使用する作業――集材機による架線集材作業，架空索道による木材搬出作業，トラクタによる集材作業――において使用されている鋼索の現況をみると，搬器滑車を通じて搬

出荷重を支えると共にレールの役目をする主索は移動集中荷重をうけることによる摩耗と繰返し曲げ作用をうけ，主索の固定端においてはクランプ，クリップなどの緊結具によって圧縮作用をうける。また搬出荷重を吊揚げるリフチングライン（荷揚索），搬器を往復させたり循環させたりするホールライン（引寄索），ホールバックライン（引戻索），エンドレスライン（循環索），搬出材を縛るスリングライン（荷縛索）などの作業索は溝車・制動車または直径の小さい滑車を通過したり，集材機，トラクタのドラムに巻かれたり，とかれたりするために摩耗，繰返し曲げ，あるいは圧縮作用をうける。また索を木枠から解いたり，枠に巻替えたりなどの取扱の際の不注意によってキンクを起したり，長く風雨に曝されているための腐蝕作用をうける。

以上のように鋼索には種々な作用が働き，使用中には必然的に張力と曲げを受けまたその他の使用環境も作用するので，鋼索に最も頻発し，最も注意を払わなければならない変形の種類として当然断線，摩耗，疲労，圧縮および腐蝕変形が考えられる。そこで鋼索が変形をうけて強度の低下を来し，その結果安全性がどのようにおびやかされるかを知り，これに対する対策をたて，鋼索性能の向上，したがって鋼索寿命の延長をはかることになるので従来，変形についての研究が進められてきた。

すなわち鋼索素線の断線と強度に関しては巻上げ鋼索の断線と安全率について H. Herbst[1]の研究，上野他2名[2]の鋼索中における断線が影響する長さに関する研究，および吉野[3]，西岡[4]などの研究がある。摩耗に関しては A. Otto[5]の摩耗検査の方法，J. H. Grimwood[6]の摩耗鋼索の廃棄の研究および西岡[7]の実験などがある。鋼索の疲労については従来からきわめて多くの研究があり W. A. Scoble[8]，および R. Woermle[9]の研究は高く評価され，我が国においても水田[10]，上野[11]，伊達[12]，上田[13]などの実験がある。また鋼索の腐蝕による強度劣化については僅かに西岡[14]の研究があるだけである。さらに鋼索の圧縮変形による強度劣化についての研究はきわめて少く西岡[15]，幅野[16]の研究があるのみである。

3．本研究の目的

林業に用いられる鋼索は前述のようにその使用箇所，状態により種々な変形をうける。その変形と強度劣化の研究は極めて重要であるにかかわらず，林業面では極めて少なく，鋼索の使用歴の古い鉱業面において幾多の貴重な研究が行われ報告されている。これらの研究報告は直ちに林業の鋼索の使用にも研究にもその使用条件が同じと思われるために貴重な資料となると考えられる。しかるにこれらの研究の中でも鋼索がクリップ，クランプ等によって締付けられる際の変形，および集材機，トラクタのウインチドラムに巻かれる時の乱巻による変形，ならびに荷縛索における変形などとその鋼索の強度劣化の関係については鉱業面においても研究は極めて少く，林業界においては皆無といってよい。しかるに林業においてはこれらの部門に使用されていることが多く，ことに作業索，スリングロープなどの消耗量は著しく多量にのぼっている現況からみて，著者はこの面の研究を行い，林業における鋼索の耐用判定の資料とし，ひいては鋼索の破断による災害の予防に役立てるを目的としている。

4．実験方法

林業の木材搬出作業には鋼索を様々な状態，条件の下に使用しているので，種々な変形をうけるのであるが，この報告では前記のように索と索とが外方からの圧力によって圧し合うために変形する場合の強度劣化について実験的に研究するのであるから，主索用鋼索 6×7 構成のものにはクリップによる圧縮変形を対称とし，作業索用鋼索 6×19，6×24 構成のものには乱巻による圧縮変形を対称とした。したがって主索用および作業索用鋼索それぞれについて実験方法を異にするので以下順を追って記す。

(1) 主索用鋼索の実験法

主索がクリップで締付けられるような状態 Fig. 1 と同じ条件となるようにアムスラー万能試験機（竪形）秤量 4,000 kg を用いて対称とする鋼索を2本通したクリップのUボルトの頂部に圧力を加えるようにした。

実験に使用した鋼索は表1のような種類および性質のもので，鋼索に変形を与えた後にその引張り強度の劣化を調べるために，供試鋼索の長さは JIS の G3525-1959 により切断試験の際にツカミの間隔が鋼索径の 40 倍以上，ただし最大の長さは 2,000 mm になるようにした。なお変形後の鋼索の破断試験はアムスラー式引張試験機（横型）のもので秤量は 50,000 kg，100,000 kg の2種類を用いた。

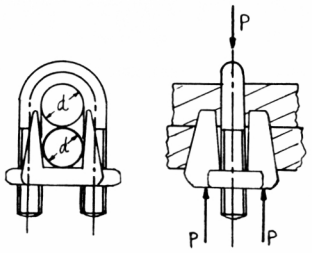

図1　実験において鋼索がクリップによって圧縮されている状態を示す

Fig. 1　Shows a diagram that two wire ropes are compressed by a clip in this experience.

表1　実験に使用した鋼索の要素
Table 1.　The parts of the testing wire ropes

construction	standard diameter	length of lay	breaking force specified	actual breaking force
6×7C/L	16.0㎜	128㎜	15.5 t	16.5 t
〃	18.0	144	19.6	20.5
〃	20.0	163	24.2	25.6
〃	24.0	197	34.9	37.3

なお圧縮力が鋼索の素線に如何なる変形を与え，かつ引張強度が如何に劣化するかをも調べるために鋼索を構成している素線に図2で示すような番号をつけて，それぞれの素線の変形と強度を測定したが，変形はほとんどなくただ互に素線間で押し合った痕跡があったのみで写真にも判然と撮れなかった。したがって強度劣化についてのみ実験を行う。切断試験は直径 16 mm，18 mm の鋼索の素線には秤量 1,000 kg の引張試験機を，直径 20 mm，24 mm の鋼索の素線には秤量 1,500 kg の引張試験機を使用した。

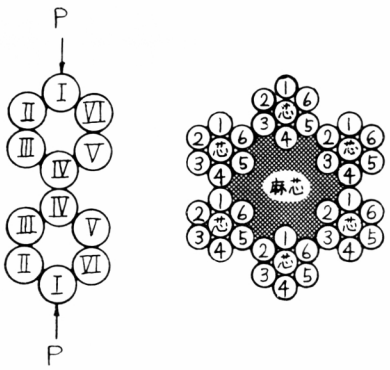

図2　本実験に使用した鋼索の構成と子縄および素線の番号を示す

Fig. 2　Shows the construction of the testing wire rope, and the number of the strands and wires

Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ……Ⅵ——strand
1，2，3……6——wire
芯　　——centre wire

(2) 作業索用鋼索の実験法

鋼索が巻揚機のドラムに乱巻されたり，またスリングロープの索と索とが互に圧合ったりする場合などの索変形と強度劣化の関係を研究するのが目的であるため，上記の場合の索の状態を観察すると次の2つの状態が想定される。

(a) ある角度をもって交わる下側の鋼索が上側の鋼索によって圧縮される場合

(b) 索径の何倍かの溝をある角度で横ぎっている鋼索を溝にそった他の鋼索によって圧縮される場合

これらの2種類の場合と同一の条件，状態にあるように実験を行うために図3のような鋳鋼製の器具を製作し，同種同径の鋼索をある角度で交わらせてこの器具に載せ，アムスラー式万能試験機（竪形）

秤量 4,000 kg によって圧縮して変形を与え，その変形量を測定し，またその変形した鋼索を油圧横形引張試験機（秤量 50,000 kg）によって切断強度を測定した。

この実験に試用した鋼索は表 2 の通りであり，この実験においては破断試験の際のツカミの間隔が 80 cm になるような長さとした。

表 2　実験に使用した鋼索の要素
Table 2. the parts of the testing wire ropes.

construction	standard diameter	breaking force specified	actual breaking force
6×19%	9mm	4.46 t	4.95 t
	10	5.50	5.87
	12	7.92	8.45
6×24%	9	4.20	4.90
	10	5.19	5.25
	12	7.47	7.80

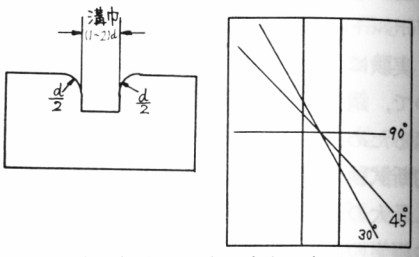

図 3　2 本の鋼索に所定の交角を与え，かつ極部曲げを与えるための器具
Fig. 3 Shows a tool to be clossed two wire ropes with some angle and to be bended the wire rope.

5. 実　験　結　果

主索用，作業索用鋼索について上記の実験方法によった結果を順を追って以下に記す。なお実験結果中に表記されている実測径，変形率，荷重比ならびに強度劣化率は以下に示すことを意味する。

実測径——鋼索の断面は常に正円なものではなく，したがってその直径は互に直角な 2 方向で測った場合に異なった値を示すので，互に直角な 2 方向の直径をマイクロメーターによって測ったものである。

変形率——η なる記号で示すが，次式より求める。

$$\eta=[1-(\text{変形後の径}/\text{変形前の径})]\times 100\%$$

荷重比——変形を与えるための圧縮荷重と鋼索の実際切断荷重との比である。

強度劣化率——λ なる記号で示すもので次式より求める。

$$\lambda=[1-(\text{変形後の切断強}/\text{変形前の切断強})]\times 100\%$$

(1)　主索用鋼索の実験結果

(a)　変形について

表 3　6×7 鋼索の変形についての結果
Table 3. the results of the deformation of 6×7 wire ropes

Standard diameter	actual diameter	volume of deformation	ratio of deformation (η)	compressive lord	load ratio
16mm	16.95±0.03mm	0.60±0.05mm	3.4%	1.0 t	0.06
		1.64±0.12	9.7	2.0	0.12
		2.24±0.11	13.2	3.5	0.21
18	18.75±0.09	0.49±0.12	2.6	1.0	0.05
		1.54±0.20	8.2	2.0	0.10
		2.18±0.16	11.6	3.5	0.17
20	20.79±0.10	0.48±0.09	2.3	1.0	0.04
		1.37±0.10	6.6	2.0	0.08
		2.08±0.13	10.0	3.5	0.14
24	24.64±0.06	0.30±0.07	1.2	1.0	0.03
		0.60±0.11	2.4	2.0	0.05
		0.99±0.08	4.0	3.5	0.09

(b) 強度劣化について

圧縮荷重が3.5 t の場合でも変形率は直径16 mm の鋼索で13% 強であり，直径24 mm の鋼索では僅かに4.0% であるので，3.5 t の圧縮荷重を加えて変形させた鋼索について強度劣化を調べた。その結果は表4に示す。

表4　6×7鋼索の強度についての結果
Table 4. the results of the breaking force of the deformed wire ropes (6×7)

standard diameter	breaking force before deformation	breaking force after deformation	decreasing ratio of breaking force (λ)
16mm	16.5 t	15.95 t	3.3%
18	20.5	19.90	2.9
20	25.6	25.00	2.3
24	37.3	36.55	2.0

(c) 素線の強度劣化について

変形を与えた鋼索の素線の変形は最大圧を加えた時でも素線間での圧痕がかすかに肉眼で識判できる程度であるので，写真でも判然としなかったので，3.5 t の圧縮力を加えて変形させた鋼索の素線の強度劣化について測定したので以下第5，6，7および8表に示す。

(2) 作業索用鋼索の実験結果

作業索用鋼索の変形ならびに強度劣化について実験を行った結果を表9，10，11，12，13および14に鋼索の構成別，直径別にして示す。この表中で変形の種類および索の交角という項があるが，変形

表5　変形した鋼索の素線強度についての結果
Table 5. the results of wire strength of the deformed wire rope
(breaking stress of wire before deformation : 172 kg/mm² compressive load 3.5 t)

standard diameter of wire rope	number of strand	number of wire	diameter of wire	breaking force of wire	breaking stress of wire	decreasing ratio of breaking stress	mean breaking stress of wire constructed a strand
mm			mm	kg	kg/mm²	%	kg/mm²
16	Ⅰ	1	1.78	410	165	3.1	169
		2	1.77	424	172	0.0	
		3	1.78	418	168	2.3	
		4	1.77	420	171	0.6	
		5	1.78	419	168	2.3	
		6	1.78	428	172	0.0	
		center wire	1.84	445	167	—	
	Ⅱ	1	1.78	424	170	1.2	170
		2	1.78	427	172	0.0	
		3	1.78	428	172	0.0	
		4	1.78	418	168	2.3	
		5	1.78	427	172	0.0	
		6	1.77	412	167	2.9	
		center wire	1.84	448	168	—	
	Ⅲ	1	1.77	414	168	2.3	170
		2	1.77	424	172	0.0	
		3	1.77	424	172	0.0	
		4	1.78	425	171	0.6	
		5	1.77	415	169	1.7	
		6	1.78	427	172	0.0	
		center wire	1.84	448	168	—	

表6　変形した鋼索の素線強度についての結果
Table 6. the results of wire strength of the deformed wire rope.
(breaking stress of wire before deformation : 173 kg/mm² compressive load 3.5 t)

standard diameter of wire rope	number of strand	number of wire	diameter of wire	breaking force of wire	breaking stress of wire	decreasing ratio of breaking stress	mean breaking stress of wire constructed a strand
mm			mm	kg	kg/mm²	%	kg/mm²
18	Ⅰ	1	2.00	525	167	3.5	169
		2	2.01	545	172	0.6	
		3	2.01	535	169	2.3	
		4	2.01	545	172	0.6	
		5	2.00	530	169	2.3	
		6	2.01	540	170	1.7	
		center wire	2.06	545	164	—	
	Ⅱ	1	2.00	540	172	0.6	170
		2	2.01	550	173	0.0	
		3	2.00	540	172	0.6	
		4	2.00	530	169	2.3	
		5	2.00	545	173	0.0	
		6	2.00	530	169	2.3	
		center wire	2.06	550	165	—	
	Ⅲ	1	2.00	535	170	1.7	171
		2	2.00	540	172	0.6	
		3	2.01	550	173	0.0	
		4	2.01	545	172	0.6	
		5	2.01	535	169	2.3	
		6	2.01	550	173	0.0	
		center wire	2.06	555	167	—	

表7　変形した鋼索の素線強度についての結果
Table 7. the results of wire strength of the deformed wire rope.
(breaking stress of wire before deformation : 175 kg/mm² compressive load 3.5 t)

standard diameter of wire rope	number of strand	number of wire	diameter of wire	breaking force of wire	breaking stress of wire	decreasing ratio of breaking stress	mean breaking stress of wire constructed a strand
mm			mm	kg	kg/mm²	%	kg/mm²
20	Ⅰ	1	2.24	670	170	2.9	172
		2	2.22	670	173	1.1	
		3	2.22	660	170	2.9	
		4	2.22	670	173	1.1	
		5	2.24	675	171	2.3	
		6	2.23	670	172	1.7	
		center wire	2.30	720	173	—	
	Ⅱ	1	2.23	680	174	0.6	173
		2	2.22	675	174	0.6	
		3	2.22	670	173	1.1	
		4	2.24	675	171	2.3	
		5	2.23	675	173	1.1	
		6	2.23	670	172	1.7	
		center wire	2.30	725	174	—	
	Ⅲ	1	2.22	670	173	1.1	174
		2	2.22	675	174	0.6	
		3	2.23	685	175	0.0	
		4	2.24	685	174	0.6	
		5	2.22	670	172	1.7	
		6	2.23	680	174	0.6	
		center wire	2.30	725	174	—	

表8　変形した鋼索の素線強度についての結果
Table 8. the results of wire strength of the deformed wire rope.
(breaking stress of wire before deformation : 179 kg/mm² compressive load 3.5 t)

standard diameter of wire rope	number of strand	number of wire	diameter of wire	breaking force of wire	breaking stress of wire	decreasing ratio of breaking stress	mean breaking stress of wire constructed a strand
mm			mm	kg	kg/mm²	%	kg/mm²
24	I	1	2.67	975	174	2.8	176
		2	2.66	985	177	1.1	
		3	2.67	980	175	2.2	
		4	2.67	990	177	1.1	
		5	2.66	970	175	2.2	
		6	2.67	995	178	0.6	
		center wire	2.75	1,025	173	—	
	II	1	2.66	985	177	1.1	176
		2	2.67	990	177	1.1	
		3	2.66	985	177	1.1	
		4	2.67	980	175	2.2	
		5	2.67	995	178	0.6	
		6	2.67	980	175	2.2	
		center wire	2.75	1,035	174	—	
	III	1	2.67	990	177	1.1	178
		2	2.67	1,005	179	0.0	
		3	2.67	1,000	179	0.0	
		4	2.67	995	178	0.6	
		5	2.67	990	177	1.1	
		6	2.67	1,000	179	0.0	
		center wire	2.75	1,035	174	—	

表9　鋼索の変形と強度についての結果
Table 9. the results of the deformation and strength of wire rope (ϕ9) consisted of 6×19 wires.

standard diameter	kind of deformation	crossing angle of wire rope	compressive load	load ratio	ratio of deformation (horizontal)	breaking force after deformation	decreasing ratio of breaking force
mm		°	t		%	t	%
(6×19) 9	plane	45	1.0	0.202	21.5	4.80	3.0
			2.0	0.404	27.3	4.75	4.0
			3.0	0.606	28.7	4.70	5.1
			3.5	0.707	32.2	4.70	5.0
		90	1.0	0.202	23.0	4.75	4.0
			2.0	0.404	30.2	4.65	5.4
			3.0	0.606	33.5	4.59	7.3
			3.5	0.707	39.3	4.48	9.5
	ditch (1 : 1)	45	1.0	0.202	24.2	4.79	3.3
			2.0	0.404	26.3	4.70	5.0
			3.0	0.606	33.1	4.70	5.0
			3.5	0.707	33.7	4.59	7.3
		90	1.0	0.202	29.5	4.18	15.5
			2.0	0.404	46.7	3.95	20.2
			3.0	0.606	57.0	3.81	23.0
			3.5	0.707	64.2	3.73	24.7
	ditch (1 : 2)	90	1.0	0.202	44.1	4.27	13.7
			2.0	0.404	57.7	3.98	19.5
			3.0	0.606	76.5	3.78	23.7
			3.5	0.707	84.3	3.50	29.3

表10　鋼索の変形と強度についての結果
Table 9. the results of the deformation and strength of wire rope (ϕ10) consisted of 6×19 wires.

standard diameter	kind of deformation	crossing angle of wire rope	compressive load	load ratio	ratio of deformation (horizontal)	breaking force after deformation	decreasing ratio of breaking force
mm		°	t		%	t	%
(6×19) 10	plane	45	1.0	0.170	20.5	5.73	2.3
			2.0	0.341	22.5	5.72	2.5
			3.0	0.511	26.7	5.61	4.5
			4.0	0.681	35.5	5.56	5.3
		90	1.0	0.170	22.0	5.67	3.4
			2.0	0.341	25.5	5.63	4.1
			3.0	0.511	30.2	5.62	4.3
			4.0	0.681	37.0	5.57	5.1
	ditch (1：1)	45	1.0	0.170	21.7	5.68	3.2
			2.0	0.341	27.0	5.58	4.9
			3.0	0.511	29.5	5.56	5.2
			4.0	0.681	33.1	5.38	8.3
		90	1.0	0.170	31.0	5.15	12.3
			2.0	0.341	42.5	4.95	15.7
			3.0	0.511	49.7	4.70	20.0
			4.0	0.681	63.2	4.40	25.1
	ditch (1：2)	90	1.0	0.170	41.3	5.05	14.0
			2.0	0.341	55.0	4.80	18.3
			3.0	0.511	73.2	4.44	24.3
			4.0	0.681	80.4	4.37	25.5

表11　鋼索の変形と強度についての結果
Table 11. the results of the deformation and strength of wire rope (ϕ12) consisted of 6×19 wires.

standard diameter	kind of deformation	crossing angle of wire rope	compressive load	load ratio	ratio of deformation (horizontal)	breaking force after deformation	decreasing ratio of breaking force
mm		°	t		%	t	%
(6×19) 12	plane	45	1.0	0.118	20.9	8.27	2.1
			2.0	0.237	21.1	8.20	3.0
			3.0	0.355	24.2	8.18	3.2
			3.85	0.456	26.5	8.11	4.0
		90	1.0	0.118	19.9	8.10	4.1
			2.0	0.237	24.4	8.12	3.9
			3.0	0.355	25.7	8.03	5.0
			3.85	0.456	29.1	7.88	6.7
	ditch (1：1)	45	1.0	0.118	22.0	8.11	4.0
			2.0	0.237	24.7	8.05	4.7
			3.0	0.355	27.8	8.04	4.9
			3.85	0.456	30.1	7.93	6.1
		90	1.0	0.118	24.7	7.42	12.2
			2.0	0.237	32.5	7.14	15.5
			3.0	0.355	42.0	7.07	16.3
			3.85	0.456	46.9	6.69	20.8
	ditch (1：2)	90	1.0	0.118	35.3	7.39	12.5
			2.0	0.237	43.9	7.22	14.6
			3.0	0.355	54.6	6.76	20.0
			3.85	0.456	65.3	6.58	22.1

表12　鋼索の変形と強度についての結果
Table 12. the results of the deformation and strength of wire rope (ϕ9) consisted of 6×24 wires.

standard diameter	kind of deformation	crossing angle of wire rope	compressive load	load ratio	ratio of deformation (horizontal)	breaking force after deformation	decreasing ratio of breaking force
mm		°	t		%	t	%
(6×24) 9	plane	45	1.0	0.204	13.7	4.87	0.6
			2.5	0.510	17.3	4.80	2.0
			3.0	0.612	19.6	4.78	2.5
			3.5	0.714	22.0	4.75	3.1
		90	1.0	0.204	17.6	4.85	1.1
			2.5	0.510	19.6	4.76	2.9
			3.0	0.612	20.3	4.72	3.6
			3.5	0.714	22.4	4.69	4.2
	ditch (1：1)	45	1.0	0.204	20.0	4.68	4.5
			2.5	0.510	34.0	4.61	6.0
			3.0	0.612	39.5	4.56	7.0
			3.5	0.714	44.3	4.48	8.5
		90	1.0	0.204	30.7	4.24	13.4
			2.5	0.510	42.3	4.10	16.3
			3.0	0.612	48.0	4.05	17.4
			3.5	0.714	53.1	3.92	19.9
	ditch (1：2)	90	1.0	0.204	37.4	3.99	18.5
			2.5	0.510	51.7	3.88	20.9
			3.0	0.612	55.3	3.87	21.0
			3.5	0.714	58.3	3.77	23.1

表13　鋼索の変形と強度についての結果
Table 13. the results of the deformation and strength of wire rope (ϕ10) consisted of 6×24 wires.

standard diameter	kind of deformation	crossing angle of wire rope	compressive load	load ratio	ratio of deformation (horizontal)	breaking force after deformation	decreasing ratio of breaking force
mm		°	t		%	t	%
(6×24) 10	plane	45	1.0	0.190	14.2	5.17	1.5
			2.0	0.381	17.3	5.15	1.9
			2.5	0.476	18.9	5.14	2.1
			3.85	0.733	21.0	5.08	3.3
		90	1.0	0.190	16.1	5.15	1.9
			2.0	0.381	16.3	5.12	2.5
			2.5	0.476	18.7	5.09	3.0
			3.85	0.733	22.6	5.03	4.1
	ditch (1：1)	45	1.0	0.190	17.5	5.04	4.0
			2.0	0.381	29.1	4.93	6.1
			2.5	0.476	32.0	4.92	6.3
			3.85	0.733	43.3	4.74	9.7
		90	1.0	0.190	31.0	4.55	13.3
			2.0	0.381	36.6	4.48	14.6
			2.5	0.476	42.5	4.41	16.0
			3.85	0.733	53.0	4.19	20.1
	ditch (1：2)	90	1.0	0.190	36.0	4.29	18.3
			2.0	0.381	44.9	4.25	19.1
			2.5	0.476	47.5	4.16	20.7
			3.85	0.733	60.5	4.04	23.0

表14　鋼索の変形と強度についての結果
Table 14. the results of the deformation and strength of wire rope (ϕ12) consisted of 6×24 wires.

standard diameter	kind of deformation	crossing angle of wire rope	compressive load	load ratio	ratio of deformation (horizontal)	breaking force after deformation	decreasing ratio of breaking force
mm		°	t		%	t	%
(6×24) 12	plane	45	1.0	0.128	13.5	7.70	1.3
			1.5	0.192	15.9	7.68	1.5
			2.5	0.321	17.3	7.67	1.7
			3.85	0.494	18.1	7.64	2.1
		90	1.0	0.128	14.9	7.68	1.5
			1.5	0.192	16.5	7.67	1.7
			2.5	0.321	17.6	7.64	2.0
			3.85	0.494	19.3	7.61	2.5
	ditch (1：1)	45	1.0	0.128	17.3	7.57	3.0
			1.5	0.192	19.7	7.48	4.1
			2.5	0.321	25.3	7.47	4.2
			3.85	0.494	34.6	7.26	6.9
		90	1.0	0.128	27.1	6.92	11.3
			1.5	0.192	29.7	6.74	13.6
			2.5	0.321	36.3	6.71	14.0
			3.85	0.494	44.0	6.52	16.4
	ditch (1：2)	90	1.0	0.128	33.7	6.40	18.0
			1.5	0.192	36.9	6.39	18.1
			2.5	0.321	42.6	6.22	20.3
			3.85	0.494	52.1	6.07	22.2

の種類とは前記の溝を作った鋳鋼製の器具を用いず平面上で圧縮力を加えた場合と溝のある器具を用いた場合とによって平面と曲げとに別けたものであり，また索の交角とは下側の鋼索と上側の同径同構造の鋼索との中心軸の交わる角度を示めしている。

6．実験結果に対する考察

主索用，作業索用鋼索に圧縮を与えて変形させた場合に，その鋼索が変形した量ならびに変形後の強度について実験した結果について順を追って以下考察を進める。

(1)　主索用鋼索について

実験には林業における集運材作業に主索として最もよく利用される6×7型鋼索を使用した結果，クリップ，クランプなど主索を締付けて固定する方法であれば，鋼索は圧縮荷重が増すにしたがって，変形量および変形後の強度劣化は大きくなり，かつ鋼索径の小さいほど大きくなることは当然であるが，圧縮荷重が3.5 t の場合――実際人力でクリップ，クランプなどを締付けてもこの圧縮荷重になるか疑問である――鋼索径が16 mm のもので変形率は13.2%，強度劣化率は3.3%，24 mm にもなれば変形率は4.0%，強度劣化率は2.0% と極めて小さい。

また内部素線の強度劣化も鋼索の強度劣化とほとんど同様であり，変形はほとんど認められず，ただかすかに圧痕がみられる程度である。ただ，鋼索，素線とも破断試験の場合に認められたのは何れの鋼索も変形点において切断し，かつ鋼索は前記のⅠかⅡ番までの子縄が切断していることは注意をひく。しかしながら前記したように鋼索の強度劣化は極めて小さいため作業の安全性の面からみても全く危惧する必要はないと考えられる。

(2) 作業索用鋼索について

実験には森林内での集材，運材作業に作業索用として非常によく使用されている6×19型と6×24型構成の鋼索で公称径9，10および12 mmのものについて試験した結果について考察してみる。

(a) 変形について

実験結果から判明するように索の種類によって同一条件（圧縮荷重，変形を与える器具）下にあっては索の構成が6×24型のものが変形量が少ない。これは鋼索の構成上多数の素線6×24本が6つの子縄（strand）に作られているため横圧縮荷重による各素線の圧縮応力が小さくなるためであると考えられる。

つぎに索の種類を同じものとして索の交角による変形をみると本実験の範囲においては溝1：2交角90°，1：1交角90°，1：1交角45°，平面90°，平面45°の順に変形率が小さくなっている。この結果より考えられることは平面での圧縮は90°の索交角の場合が最大で交角が小になるにしたがって索の接触面積が大となることから当然考えられる。また実験中に観察していると索の撚角にも関係がないだろうかと思った。というのは索交角を最初種々にして行う積りであったが予備実験の際に索交角45°～60°位までは交索しうるが，45°以下の30°になると，加圧中に索と索とが滑り合って所定の交角で変形を与えることができなかった事である。これは索の撚角約60°であれば索の撚りによる山と谷とが接触しやすい状態となるから接触面が大きくなるためではないだろうかと思う。

また交角90°で溝が1：1，1：2の巾の場合では溝1：2の場合に変形率が大きい。これはわれわれが最初予想していたのは1：1の場合の方が極部弯曲による変形があるから大きくなるのではないかという予想に反していた。このことについて実際加圧中の実験を観察していると溝の肩の部分で負荷するような状態を呈し小径の曲げ作用が少いようにみられた。これに反して溝1：2の場合は索が完全に溝に入り込み，溝の中央部で完全な偏平圧縮変形を，溝の両端部では極部小径曲げの作用をうけて変形するためであると思われる。また索の種類が同じであり，かつその他の変形を与える条件が相対的に同一であれば索の直径に関係なく荷重比と索変形率との関係は同様な傾向を呈する。

(b) 強度劣化について

鋼索の変形による強度は変形の項で記したと同様の順位で劣化を呈する。すなわち変形率に応じて強度劣化を来しているが，本実験の範囲の荷重比では最大30％以下であった。鋼索の構成上からいえば6×19が6×24の型のものよりも大きい強度低下を来している。

引張破断試験を行なっている際に気付いたことであるが，素線切断が最初に現われるのは6×7構成の主索用鋼索の場合と同様，索と索との接触した面，すなわち変形点からであり，その面には圧縮荷重によって可成り傷跡がみられる。

溝1：2，索交角90°の場合が索の種類の如何にかかわらず最大の強度劣化を呈するので，その場合の変形率と強度劣化率との関係を表15，16に示す。

表15 変形率と強度劣化の関係（6×19鋼索）
Table 15. the relation between the ratio of deformation and the decreasing ratio of breaking force of wire rope consisted of 6×19 wires.

ratio of deformation (horizontal)	decreasing ratio of breaking force
65％～85％	20％～30％
30％～65％	10％～20％
20％～30％	2％～10％

表16 変形率と強度劣化の関係（6×24鋼索）
Table 16. the relation between the ratio of deformation and the decreasing ratio of breaking force of wire rope consisted of 6×24 wires.

ratio of deformation (horizontal)	decreasing ratio of breaking force
30％～60％	15％～25％
10％～30％	0.5％～15％

この結果よりみて変形が可成り進行していても強度低下は約1/3であるので，林業労働についての安全衛生規則に規制されている作業索の安全係数6からみてみると，変形後の作業索の安全係数は4となるが，これでも十分とはいかなくても可成りの強度的に安全性があるものと考える。

以上で実験結果についての考察を終るが，この実験においては圧縮荷重をうける対象の鋼索が緊張されていない点が実際における状態と異にする。この緊張状態で実験を行うことは危険でもあり，また多大の実験装置のための経費を要するので今回は行えなかったが，何等かの機会に実験したいものと思っている。しかしながら，対象鋼索に緊張力を与えていなくても一応の強度劣化の判定には十二分に参考資料となると考える。

なお鋼索が緊張されている状態において圧縮荷重をうけた場合には鋼索の子縄および素線にどのような力が働らくかを理論的に考えてみよう。

いま図4のような構成をもった鋼索が，引張力 T_R で緊張されているものとすれば，子縄の数を Z とすれば，その1本に働く張力 T_S は次式(1)によって与えられる。

$$T_S=\frac{T_R}{Z\cos\alpha}\quad\cdots\cdots(1)$$

$\alpha(=90°-\beta)$：子縄の撚角

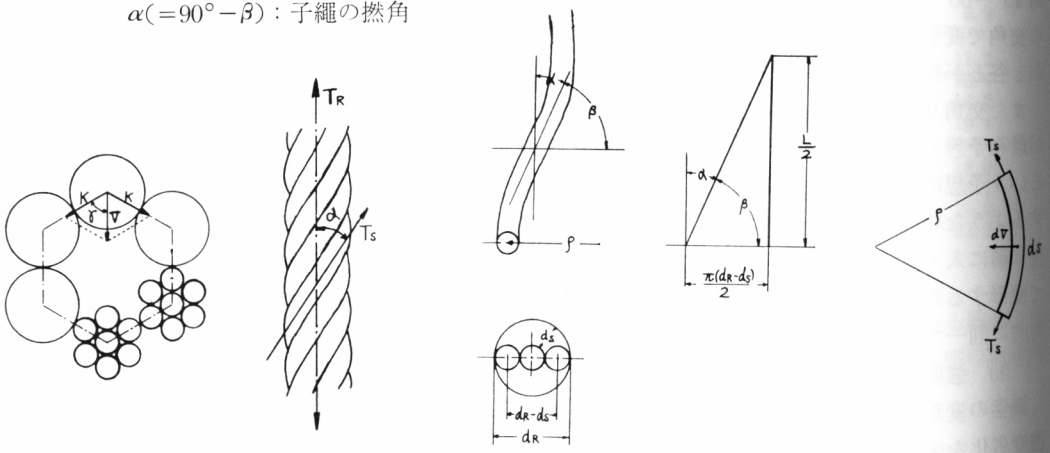

図4　緊張力をうけた鋼索の子縄に働く力を示す

Fig. 4　shows the forces worked in the strand of a pulling wire rope.

この張力によって子縄は鋼索の中心に向う圧縮力が生じる。（図4）この圧縮力 V は子縄の螺線曲率半径を ρ とし，子縄の微小部分 ds をとれば式(2)より求まる。

$$V=\int dV=\int\frac{T_S}{\rho}ds=\frac{T_S}{\rho}\int ds\cdots\cdots(2)$$

$\int ds$ を単位長にとれば

$$V=\frac{T_S}{\rho}\cdots\cdots(3)$$

となる。

また子縄間に互に押合う力が生じる。この力 K は力 K と圧力 V との交角を γ とすれば式(4)で与えられる。

$$K=\frac{V}{2\cos\gamma}\cdots\cdots(4)$$

$$=\frac{T_R}{2\rho Z}\ \frac{1}{\cos\alpha\cdot\cos\gamma}\quad\cdots\cdots(4)'$$

しかるに上式では子縄の螺線曲率半径 ρ が入っているので，ρ を求める式は図4を参照して，鋼索が子縄の撚角 α をもった平面で切断された場合に生じる楕円の曲率 ρ より誘導される。よって ρ の式は次式(5)で与えられる。

$$\rho=\frac{d_R-d_S}{2\sin^2\alpha}=\frac{d_R-d_S}{2\cos^2\beta}=\frac{L^2+\pi^2(d_R-d_S)^2}{2\pi^2(d_R-d_S)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

前式(4)′に式(5)を代入して相隣る子縄間の圧縮力が計算しうる。式(4)′より判るように鋼索の緊張力 T_R が大きければ大きいほど K は大きくなるので，鋼索の子縄の一部に集中荷重が加わっても，この K の力より大きな力が加わらなければ変形はしないことになる。すなわちこの K は鋼索を変形させようとする外力に抵抗して，鋼索を変形せしめないように働くから，鋼索に緊張力がない場合よりも変形は緊張力がある場合の方が少くなる。しかし子縄そのものには大きな圧縮力が生じるから子縄の強度劣化は大きくなることは確かである。今後この点について実験を進めてみたいと考えている。

7．おわりに

本研究に当り適切な助言をいただいた杉原教授に対し，さらに実験に際し多大の補佐をうけた岩川講師，神崎助手，芦生演習林の職員，ならびに実験材料の提供，破断試験に際し協力をいただいた東京製鋼K. K.，東洋製鋼K. K.，興国鋼索K. K.の各位に対しこの稿をかりて深甚な謝意を表します。

また本研究は文部省科学研究費の援助によって行ったもので，併せて関係各位に感謝いたします。

参考文献

1) H. Herbst : Zur Bewertung von Drahtbrüchen für die Sicherheit von Förderseilen, Der Bergbau. 1934
2) 上野・他2：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
3) 吉野・他2：安全率と鋼索の引張曲げ疲労との関係，第6回，ワイヤロープ研究会講演集
4) 西岡多三郎：鉱山用鋼索の断線と切断荷重の研究，日本鉱業会誌，第73巻814号
5) A. Otto : Über ein verfahren zur Prüfung von Förderseilen auf Rost und Verschleiss, Der Bergbau. 1937
6) J. H. Grimwood : When do you change wire rope Cables? Iron and Steel engineer. June 1958
7) 西岡多三郎：鋼索の製造
8) W. A. Scoble : First～fifth Report of wire rope Research Committee : Proc, Inst, mech Eng. Vol. 115, 119, 123, 125 and 130.
9) R. Woermle : "Drehtseilforschung" Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure. Bd. 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79 und 83.
10) 水田準一：立坑巻索の安全率について，旅順工大紀要，12巻5号
11) 上野勲：鋼索の疲労と断線，第5回，ワイヤロープ研究会講演集，1955
12) 伊達・他1：新しく設計したワイヤロープ疲労試験機ならびにその試験結果，第5回，ワイヤロープ研究会講演集
13) 上田・他1：林業用鋼索の疲労に関する研究—作業索の繰返し引張り曲げ試験—，全国集運材架線技士協会，1964
14) 西岡多三郎：4）と同じ
15) 西岡多三郎：鉱山用鋼索の型崩れと切断荷重の研究，日本鉱業会誌，73巻，828号
西岡多三郎：巻綱のキンクに関する研究，日本鉱業会誌，67巻756号
西岡多三郎：鉱山用鋼索の切断荷重と伸びの研究，日本鉱業会誌，74巻841号
16) 幅野禎太郎：ワイヤロープの劣化とその対策に関する研究，1962

Résumé

This report deals with a research on the tensile strength of wire ropes deformed by the copressive load, as a contribution to the safety of the logging operation which the wire ropes are used.

The method and condition of this experiment are as follows:

1) Wire rope used in the experiment:
   (1) Wire rope construction: 6×7 wires, Langlay
       Standard diameter : 16, 18, 20 and 24 mm
   (2) Wire rope construction: 6×19, 6×24 wires, Ordinarylay
       Standard diameter : 9, 10 and 12 mm
2) Testing conditions:
   The conditions of deformation given to the wire rope are as follows:
   (1) In the case of 6×7 wire rope.
       (a) Two wire ropes are compressed by a clip.
       (b) Compressive load: 1.0~3.5 ton
   (2) In the case of 6×19 or 6×24 wire rope.
       (a) Two crossing wire ropes are compressed on the tool.
       (b) Compressive load: 1.0~3.85 ton
       (c) Crossing angle of wire rope: 45°, 90°
       (d) Tool: plane, ditchs (1× and 2× standard diameter of wire rope)
3) The results in this experiment.
   (1) In the case of 6×7 wire rope.
       The deformation is little and the decreasing of breaking force is about 3%.
   (2) In the case of 6×19, 6×24 wire rope.
       (a) The deformation of 6×24 wire rope is little than 6×19 wire rope under the same compressive load, and the decreasing of the breaking force is so. (Look Table 15 and 16)
       (b) The more the crossing angle of wire rope is, the more the deformation is, and so is the decreasing of the breaking force.
   (3) In the case of the ditch (2× standard diameter of wire rope), the deformation and decreasing of the breaking force of wire rope are greater than the other case.