

耐熱アルミ合金および アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線の高温特性

The Properties of Heat-Resistant Aluminium Alloy and Its Conductor
"AS" Wire Reinforced at Elevated Temperature

川 西 六 郎* 山 路 賢 吉**
Rokurō Kawanishi Kenkichi Yamaji
下 堀 幸 夫* 田 中 昭*
Sachio Shimobori Akira Tanaka

内 容 梗 概

耐熱アルミ合金線の高温特性を電気用アルミ線と比較検討し、150°Cにおける耐熱アルミ合金線の特性は、電気用アルミ線の90°Cと等価以上であることを確認した。さらに、アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線330 mm²の実規模のヒートサイクル試験(導体温度:150°C)を30回行ない、伸び、各付属品の温度上昇、引張り強さの低下率の測定から、150°Cで使用しても実用上問題がないことを確認した。

なお、耐熱アルミ合金線を使用した送電線の経済比較をする場合に、アルミ被鋼線を鋼心にした耐熱アルミ合金より線の電力損失は鋼心アルミより線とほぼ同等であり、鋼心耐熱アルミ合金より線より経済的に有利であることを明らかにした。

1. 緒 言

最近の電力需要の増加に伴い、既設の送電線の送電容量が不足し、また新設発電所の設備容量が巨大化して短時間のピーク負荷や事故時の健全回線への過負荷送電などに対して電線の電流容量が十分性能をもつかどうか重要な問題となってきた。

一方、送電線の導体最高許容温度は90°Cと規定されており、当然、過負荷送電に対しては新しい送電用材料またはその構成を考慮する必要がある。

これらの事情により、送電用材料としては耐熱性が高く、また導電率の良好な電気用アルミ合金の開発がのぞまれたわけである。

アルミニウムの再結晶温度をあげるには、どのような添加元素がもっとも効果的であるかについては詳細な研究がある⁽¹⁾⁻⁽¹²⁾。これらの研究成果から再結晶温度に効果的な添加元素として、ジルコニウム(Zr)、ベリリウム(Be)、クロム(Cr)および鉄(Fe)があげられる。

しかし、送電線材料としては、耐熱性以外に、電気抵抗機械的強さ、耐食性についても考慮する必要がある。

これらの点から検討した結果、耐熱性導電用アルミ合金はAl-Zr系合金が良好な性能をもっていることがわかった。この耐熱性導電用アルミ合金の常温における諸特性についてはすでに報告⁽¹³⁾した。

架空送電線の構成は導電材としての、アルミニウムまたはその合金と、Tension memberとしての亜鉛メッキ鋼線またはAS線より構成されている。したがって、過負荷送電による導体温度の上昇を考えると、導電用材料としての耐熱アルミ合金の高温特性を検討するとともに、Tension memberである、亜鉛メッキ鋼線またはAS線の高温特性も調査する必要がある。

本報告は送電線材料としての各素線の高温特性を比較検討するとともに、330 mm²アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線を試作し、実負荷を一定時間繰返し負荷した場合の導体、付属品の温度上昇および電線の伸びなどを測定した結果をまとめたものである。

2. 高 温 特 性

試験に使用した線種は、耐熱アルミ合金線(T-Al) 電気用アルミ

* 日立電線株式会社電線工場

** 日立電線株式会社電線工場 工博

第1表 供試材の諸性能

試料	外 径 (mm)	引張り強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	導 電 率 (IACS %)
電気用アルミ線	3.98	18.2	3.6	62.1
耐熱アルミ合金線	3.98	18.5	3.5	59.0
亜鉛メッキ鋼線	3.11	145.5	6.6	9.3
A S 線	3.27(0.35)*	122.2	5.6	29.8

* () 内の値は被覆アルミ厚を示す。

線(H-Al)、亜鉛メッキ鋼線(G. Steel)およびAS線の4種類である。

第1表は供試材の一般的性能をしめしたものである。

耐熱アルミ合金線の最高使用温度をいくりにするかは材料の特性(引張り強さと電気抵抗)、高温での保持時間、線路の電力損失などがからみあうので、一方的に決定することはむずかしい。しかし耐熱アルミ合金線を使用する線路では、ピーク負荷や過負荷を定常負荷の50%増しに考えていることが多く、この場合の導体温度は最悪条件時には150°C程度となる。したがって耐熱アルミ合金の高温特性は150°Cの値について検討を行なう必要がある。以上の点から試験温度としては最高150°Cをえらんだ。

2.1 試 験 方 法

(a) 高温引張り試験

鳥津製作所製高温引張り試験機を使用し、試料を90、130および150°Cの温度に一定時間保持した後その温度のまま引張り試験を行ない、機械的強さの変化を求めた。ただし、亜鉛メッキ鋼線、AS線は150°Cのみについて行なった。

第1図は高温引張り試験装置を示す。

(b) 繰返し加熱試験

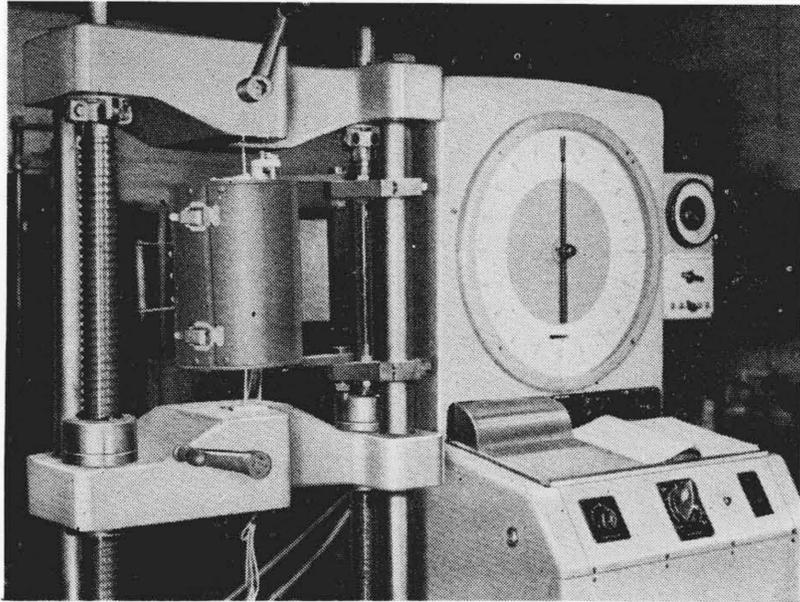
電気用アルミ線は90±2°C、耐熱アルミ合金線、亜鉛メッキ鋼線およびAS線は150±2°Cの恒温槽に3時間保持後、室温まで水冷または空冷し、これを繰返ししたときの、繰返し回数と機械的強さの関係をしらべた。

(c) 長時間連続加熱試験

電気用アルミ線は90±2°C、耐熱アルミ合金線、亜鉛メッキ鋼線およびAS線は150±2°C恒温槽に保持し、一定時間ごとに試料をとりだし、機械的性能を測定した。

(d) 軟 化 試 験

電気用アルミ線の最高許容温度は電気協同研究会⁽¹⁴⁾により



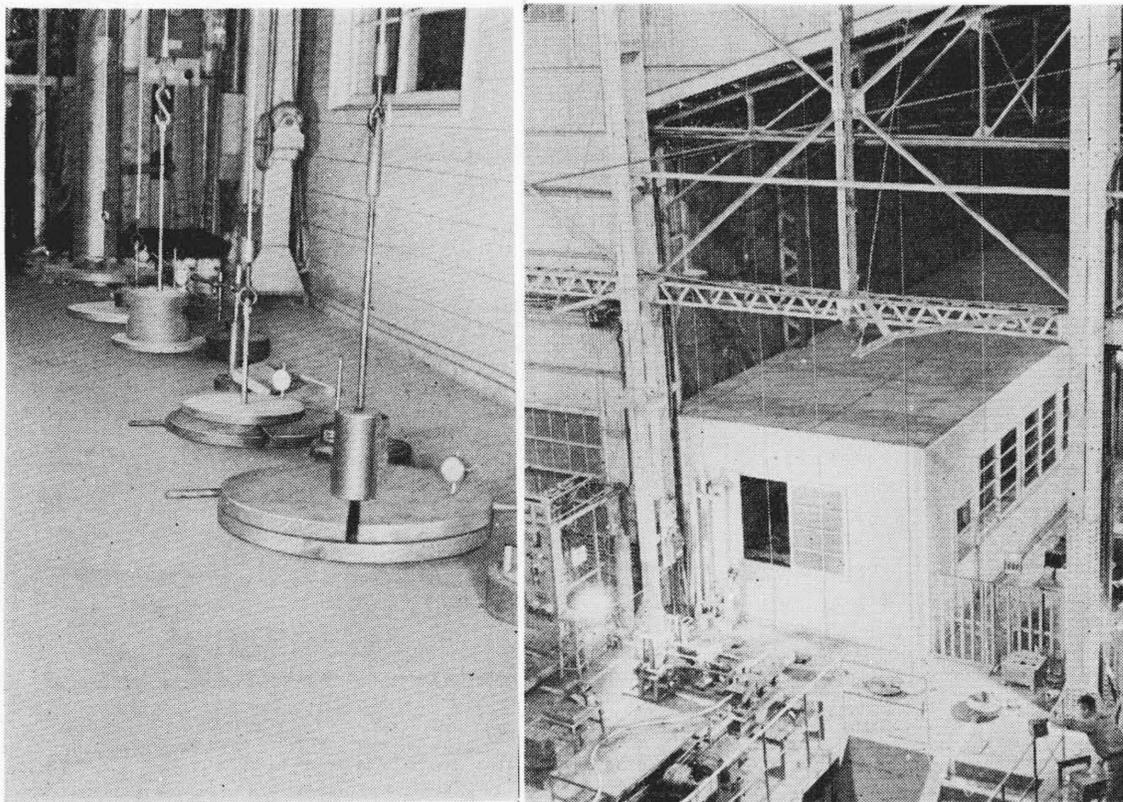
第1図 高温引張り試験装置

第2表 供試材に負荷した引張り応力

試料	応力 (kg/mm ²)	温度 (°C)
耐熱アルミ合金線	4.0	18
電気用アルミ線	4.0	
亜鉛メッキ鋼線	13.0	
A S 線	13.0	

第3表 供試材に負荷した引張り応力

試料	応力 (kg/mm ²)	温度 (°C)
電気用アルミ線	2.6	105
	2.3	150
耐熱アルミ合金線	2.6	105
	2.3	150
亜鉛メッキ鋼線	24.5	105
	21.6	150
A S 線	24.5	105
	21.6	150



第2図 クリープ試験状況

(e) クリープ試験

(i) 常温クリープ試験

一端を固定した約8mの供試材の他端にそれぞれ所定の引張り応力に相当する荷重を負荷した。伸びの測定にはダイヤルゲージを使用した。試験期間中の温度の変化(15~22°C)による熱膨張の影響は、電気用アルミ線、耐熱アルミ合金線では1kg/mm²、亜鉛メッキ鋼線、AS線では4kg/mm²の引張り応力に相当する荷重を負荷したものの伸びを測定して補正した。

第2図は試験状況を示したものである。

第2表は供試材に負荷した引張り応力を示したものである。

(ii) 高温クリープ試験

試験温度は105°C、150°Cとし、試験機には横形3連式線材高温クリープ試験機を使用した。試料の一端を固定し、他端にはレバーにより所定の荷重を負荷した。加熱方法には通電方法を採用し、温度測定は標点距離150cm

内の中央部および両端の3点を横河製温度校正用電位差計によって測定した。なお、伸びはダイヤルゲージによって測定した。

第3図は試験状況を示したものである。

第3表は供試材に負荷した引張り応力を示したものである。

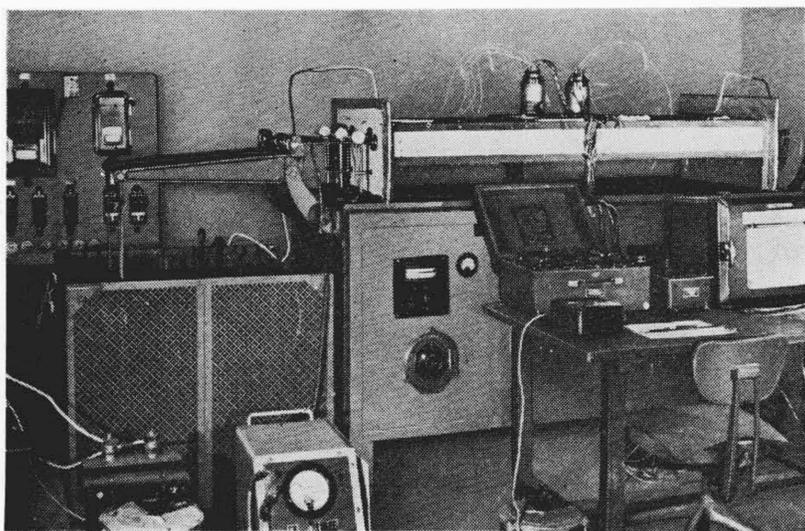
2.2 試験結果

(a) 高温引張り試験

第4,5図はそれぞれ1時間、10時間加熱後の高温引張り強さを示したものである。

第6図は試験温度を90°C、150°Cと一定にしたときの加熱時間と引張り強さの低下率の関係を示したものである。

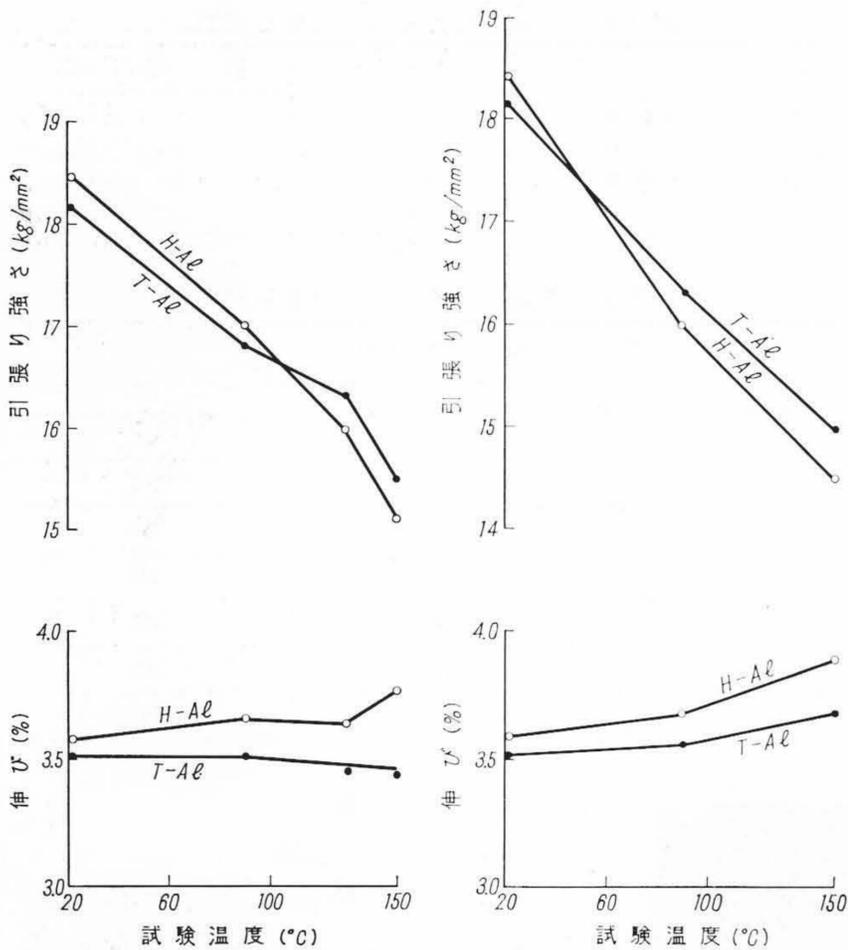
これらの図よりわかるとおり、電気用アルミ線は加熱時間につれて、90°Cの場合でも引張り強さは徐々に低下し80時間以上になると耐熱アルミ合金線の150°Cの場合より低下率が大きくなっていることがわかる。送電線の寿命は約30年間といわれている。この期間に対し、100時間程度の時間範囲はきわめて短時間であるが、電気用アルミ線が90°Cの使用温度から考えて、耐熱アルミ合金線は150°Cの温度でも、常時でなければ十分使用できることが推定される。



第3図 高温クリープ試験状況

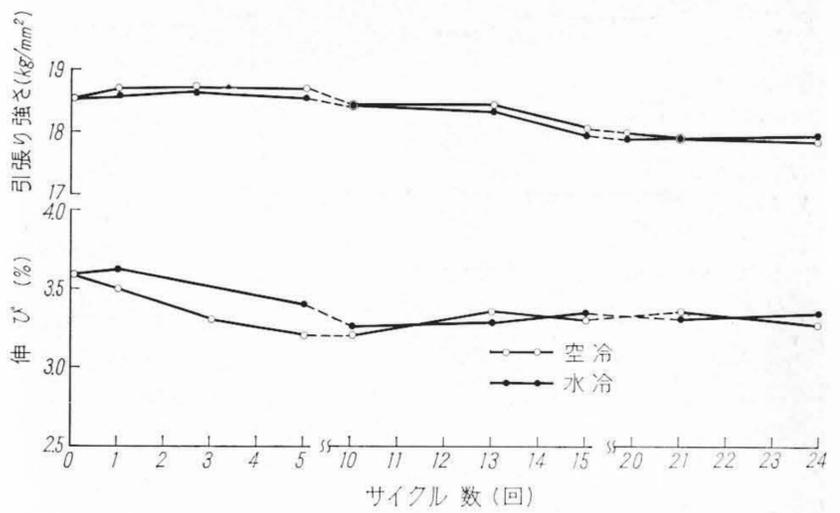
90°Cと定められているが、このときの軟化試験と類似の方法により、耐熱アルミ合金の軟化の程度をしらべた。

方法は所定温度に保持した塩浴炉およびオイル浴中に短時間(1秒~60分)浸漬した後室温まで冷却し、引張り試験により、強さの変化をしらべた。

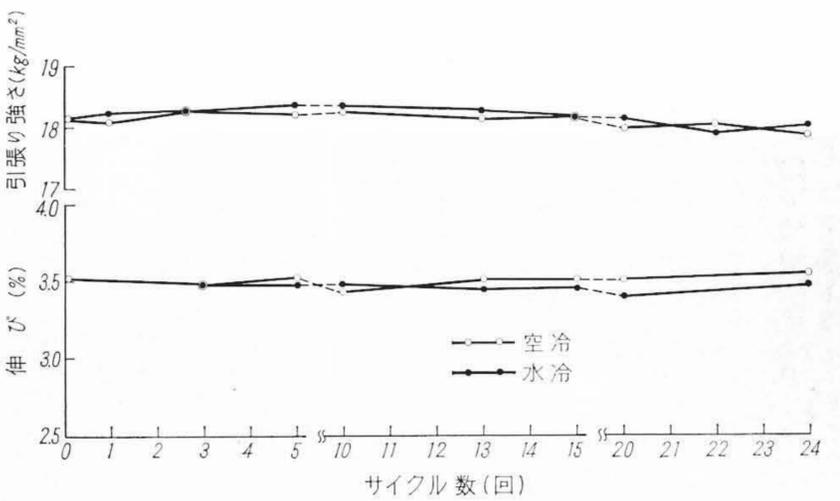


第4図 1時間加熱後の高温引張り強さ

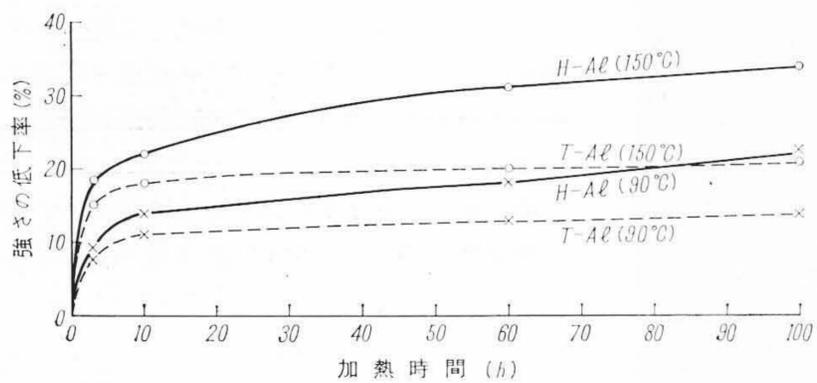
第5図 10時間加熱後の高温引張り強さ



第7図 繰返し加熱(90°C)による電気用アルミ線の機械的強さの変化



第8図 繰返し加熱(150°C)による耐熱アルミ合金線の機械的強さの変化



第6図 耐熱アルミ合金線, 電気用アルミ線の高温引張り強さと加熱時間の関係

第4表 AS線, 亜鉛メッキ鋼線の高温(150°C)引張り強さと保持時間の関係

試料	保持時間(h)	引張り強さ		伸び	
		kg/mm ²	低下率(%)	%	低下率(%)
亜鉛メッキ鋼線	0	145.5	0	6.6	0
	60	145.2	0.2	6.4	3.0
	150	141.5	2.7	6.4	3.0
AS線	0	122.2	0	5.6	0
	60	122.1	0.8	5.6	0
	150	118.4	3.1	5.2	7.1

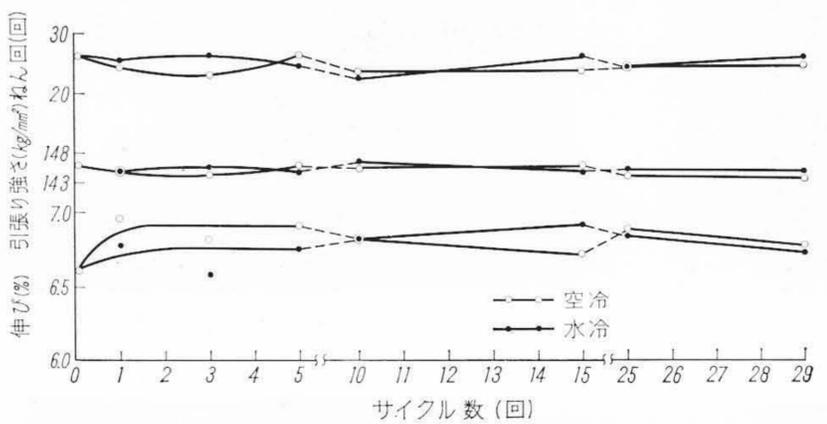
第4表はAS線, 亜鉛メッキ鋼線の150°Cで長時間加熱した場合の高温引張り強さを示したものである。

この結果にみられるとおり, 両者ともに特に大きな低下はみとめられない。

(b) 繰返し加熱試験

第7,8図は電気用アルミ線, 耐熱アルミ合金線の機械的強さの変化と繰返し回数の関係を示したものである。

この結果よりわかるとおり, 電気用アルミ線は繰返し回数が多くなるにつれて次第に軟化している。これに対し耐熱アルミ合金の軟化はきわめて低いことがわかる。



第9図 繰返し加熱(150°C)による亜鉛メッキ鋼線の機械的強さの変化

たとえば繰返し回数24回(加熱時間:72時間)で前者(試験温度:90°C)は約4.5%の低下に対し, 後者(試験温度:150°C)はほとんど低下していない。

なお, 冷却速度の影響はみとめられない。

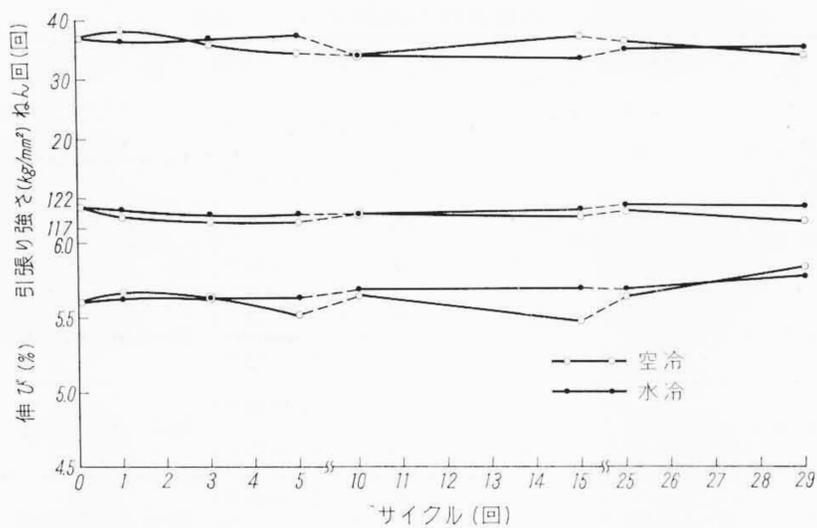
第9,10図は亜鉛メッキ鋼線, AS線の機械的強さと繰返し回数の関係を示したものである。

図にみられるとおり, ともに性能の低下は認められず, 冷却方法による差もみられない。

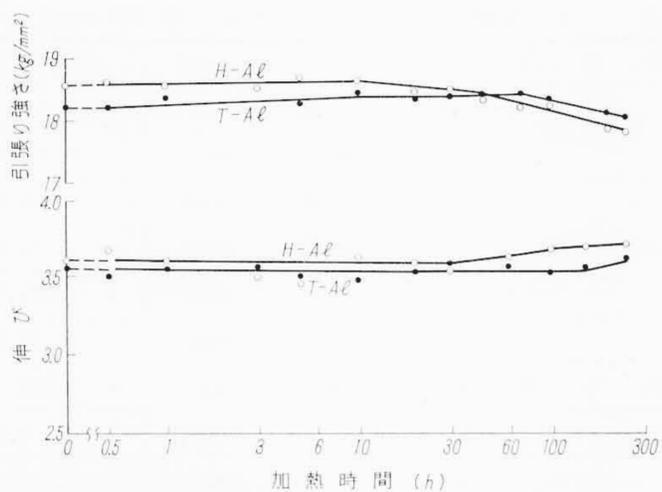
(c) 長時間連続加熱試験

第11図は電気用アルミ線, 耐熱アルミ合金線の加熱時間と機械的強さの関係を示したものである。

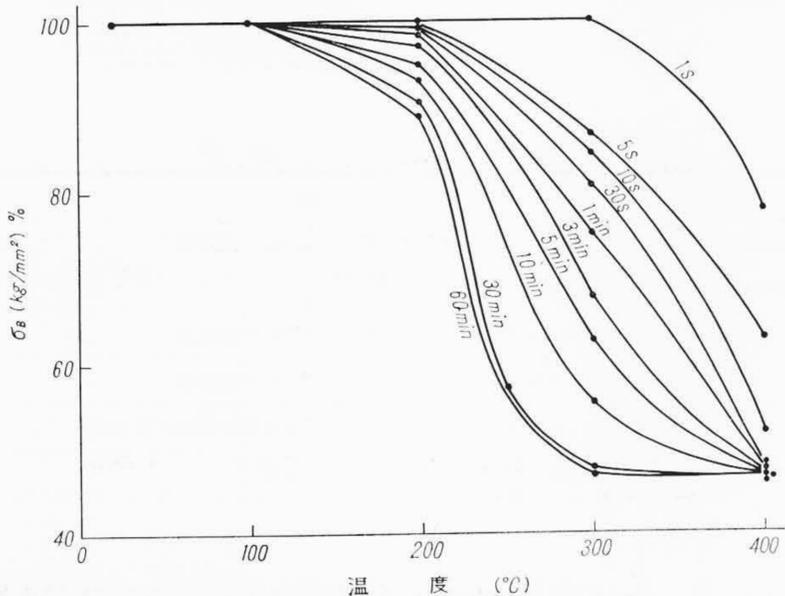
材料の軟化は所定温度に保持された時間に影響されるから, 当然, 前述の繰返し加熱試験結果より推定されたとおり, 電気用アルミ線の軟化は耐熱アルミ合金線よりも大きいことがわかる。また, 軟化の傾向も第7,8図に示した結果と類似している。



第10図 繰返し加熱(150°C)によるAS線の機械的強さの変化



第11図 連続長時間加熱による電気用アルミ線(90°C)、耐熱アルミ合金線(150°C)の機械的強さの変化



第12図 電気用アルミ線の軟化曲線

(d) 軟化試験

第12,13図は電気用アルミ線、耐熱アルミ合金線の軟化曲線を示したものである。なお、縦軸は処理前と処理後の引張り強さの比を示している。

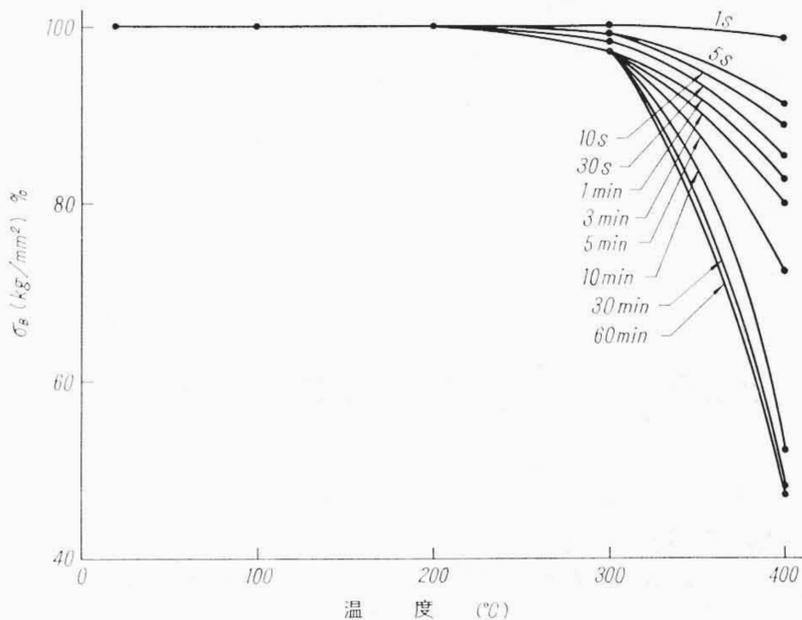
本試験結果により得た、電気用アルミ線の軟化曲線(第12図)は、アルミ裸線電流容量専門委員会⁽¹⁴⁾が電気用アルミ線の軟化曲線について発表した結果とまったく同一であり、この結果より、電気用アルミ線の最高使用温度を90°Cと決定した結論を考慮すれば、耐熱アルミ合金線の最高使用温度を150°Cにしても十分であることがわかる。

しかし、上記の結果は単純に加熱後の引張り強さの変化だけであり、しかも、加熱時間は最大1時間という短いものである。

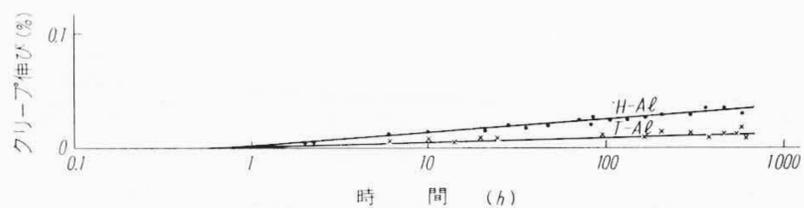
第5表 各種試料の常温クリープ速度

試料	応力 (kg/mm ²)	温度 (°C)	クリープ速度 (%/h)	備考
電気用アルミ線	4.0	18	5.5×10 ⁻⁵	70~300時間の値
耐熱アルミ合金線	4.0	18	3.4×10 ⁻⁵	70~300時間の値
亜鉛メッキ鋼線	13.0	18	2.0×10 ⁻⁶	70~300時間の値
A S 線	13.0	18	2.2×10 ⁻⁶	70~300時間の値
99.6% Al* (H-18)	5.6	32.2	7.2×10 ⁻⁵	100~1,000時間の値

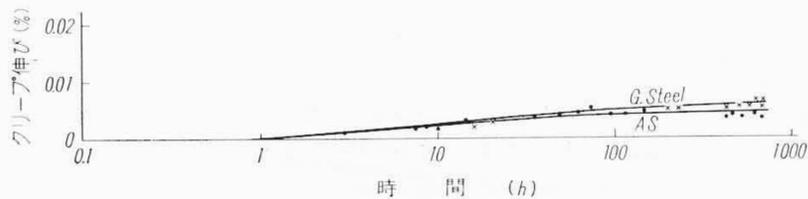
* J.E.Dorn, O.D.Sherdy: Trans.Am.Soc.Metals., 43, 611 (1951)



第13図 耐熱アルミ線の軟化曲線



第14図 電気用アルミ線および耐熱アルミ合金線の常温クリープ曲線 (応力: 4 kg/mm²)



第15図 亜鉛メッキ鋼線およびAS線の常温クリープ曲線 (応力: 13 kg/mm²)

また、実際、送電線として使用される場合には、クリープの問題もあり、これらの点から簡単に150°Cまで十分保証できると決定するには問題がある。

(e) クリープ試験

(i) 常温クリープ試験

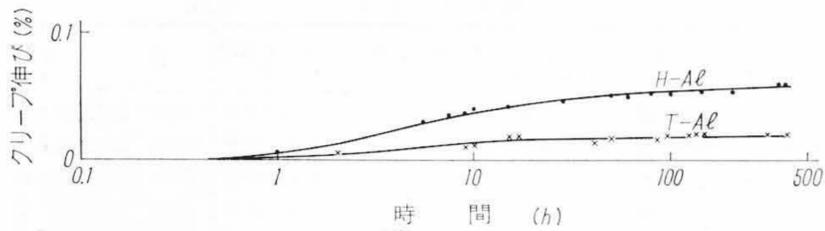
第14,15図はそれぞれ電気用アルミ線、耐熱アルミ合金線と亜鉛メッキ鋼線、AS線のクリープ曲線を示したもので、第5表は上記のクリープ曲線より求めたクリープ速度を示したものである。

(ii) 高温クリープ試験

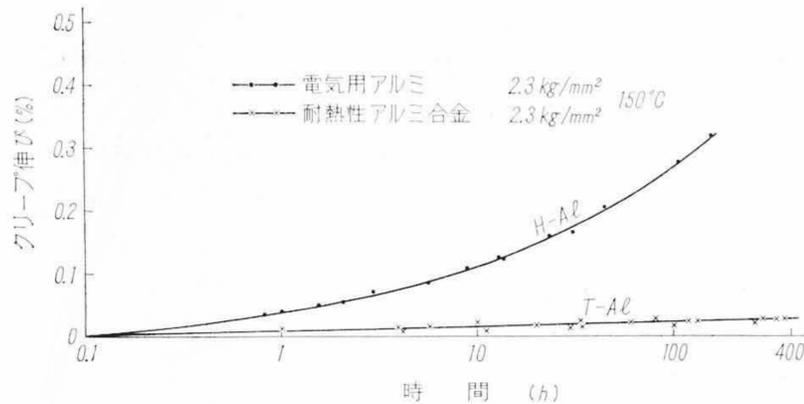
第16~19図はそれぞれ各供試材のクリープ曲線を示したもので、第6表は上記のクリープ曲線より求めたクリープ速度を示したものである。

以上のクリープ試験結果をみるとわかるように、注目すべきことは高温でのクリープ速度は耐熱アルミ合金線は電気用アルミ線に比較して小さいこと。

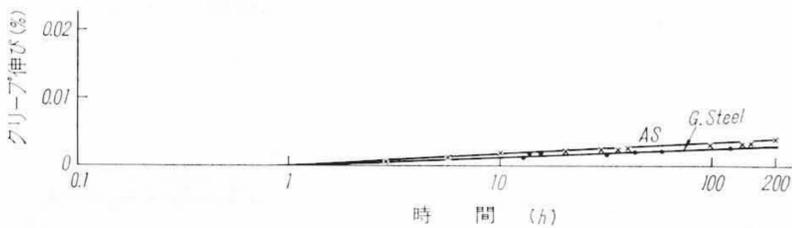
また、AS線のクリープ速度は亜鉛メッキ鋼線と同等なものである。



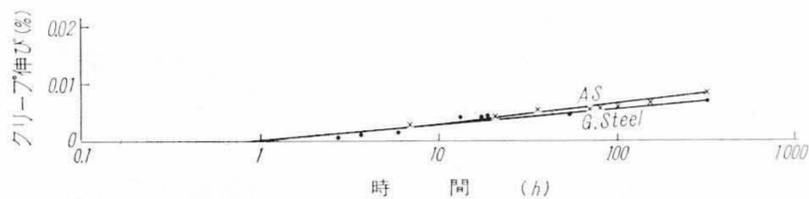
第 16 図 電気用アルミ線および耐熱アルミ合金線の高温クリープ曲線 (試験温度: 105°C, 応力: 2.6 kg/mm²)



第 17 図 電気用アルミ線および耐熱アルミ合金線の高温クリープ曲線 (試験温度: 150°C, 応力: 2.3 kg/mm²)



第 18 図 亜鉛メッキ鋼線および AS 線の高温クリープ曲線 (試験温度: 105°C, 応力: 24.5 kg/mm²)



第 19 図 亜鉛メッキ鋼線および AS 線の高温クリープ曲線 (試験温度: 150°C, 応力: 21.6 kg/mm²)

3. アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線の繰返し加熱試験

前述の素線の高温特性試験結果にみられるとおり、耐熱アルミ合金線の 150°C における各種特性は、90°C における電気用アルミの特性と比較し良好な性能を保持しており、前者の 150°C は後者の 90°C と十分等価的に考えることができる。

送電線の経済性はできるだけ電力損失を少なくすることである。したがって耐熱アルミ合金線を使用する、耐熱アルミより線の構成は、Tension member である材料自体が導電性であれば、交流抵抗が小さく、電力損失が小さくなる。この点 AS 線は、亜鉛メッキ鋼線上にアルミを圧接被覆したものでありそれだけ、導電性がよく、亜鉛メッキ鋼線より利点があることになる。

上記の利点を加味して、より線の構成は 330 mm² アルミ被鋼心耐熱アルミより線につき実負荷を一定時間加えてこれを 30 回繰返し、電線および付属品の温度上昇、電線の伸びと付属品からのす

第 6 表 各種試料の高温クリープ速度

試料	応力 (kg/mm ²)	温度 (°C)	クリープ速度 (%/h)	備考
電気用アルミ線	2.6	105	5.1×10 ⁻⁴	70~150時間の値
	2.3	150	1.2×10 ⁻³	
99.6% A1* (H-18)	3.5	100	2.2×10 ⁻⁴	100~1,000時間の値
	2.45	149	1.3×10 ⁻³	100~500時間の値
耐熱アルミ合金線	2.6	105	1.4×10 ⁻⁵	70~150時間の値
	2.3	150	5.2×10 ⁻⁵	
亜鉛メッキ鋼線	24.5	105	1.5×10 ⁻⁵	70~150時間の値
	21.6	150	4×10 ⁻⁵	
A S 線	24.5	105	2×10 ⁻⁵	70~150時間の値
	21.6	150	4.5×10 ⁻⁵	

* J.E.Dorn, O.D.Sherby: Trans. Am. Soc. Metals., 43, 611 (1951)

第 7 表 アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線 330 mm² の性能

公称断面積	mm ²	330/53
より線構成	耐熱アルミ線	mm 26/ 4.0
	アルミ被鋼線	mm 7/ 3.1(0.25)
計算断面積	耐熱アルミ線	mm ² 326.8
	アルミ被鋼線	mm ² 52.84
	合計	mm ² 379.6
外径	mm	25.3
引張り荷重 (最小値)	kg	10,930
直流電気抵抗 (20°C)	Ω/km	0.0863
重量	kg/m	1.239
等価弾性係数	kg/mm ²	7,450
等価線膨張係数	/°C	20.3×10 ⁻⁶
電流量 (気温 40°C)	90°C	A 725
	150°C	A 1,155

第 8 表 付属品の種類

品名	備考
圧縮形直線スリーブ (標準形)	JIS C 3705 の規定品
圧縮形直線スリーブ (長尺形)	標準形のアルミスリーブ長を 10% 大きくしたもの
懸垂クランプ (SNA-8033)	JIS C 3701 の規定品
アルミ内張り耐張クランプ (TNA-13533)	JIS C 3701 の規定品
アルミ内張り耐張クランプ (NST-242)	ボルト 2 本並列に押さえる方式
くさび形引留クランプ (MAT-1027)	アルミ合金製

べり出し量、および加熱試験後の引張り強さを測定し、電線と付属品の性能の変化率を求め、実用上の問題点につき検討を行なった。

3.1 試験方法

供試材はアルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線 330 mm² (以下より線という) とその付属品として、圧縮形直線スリーブ、懸垂クランプ、アルミ内張り耐張クランプおよびくさび形引留クランプを使用した。

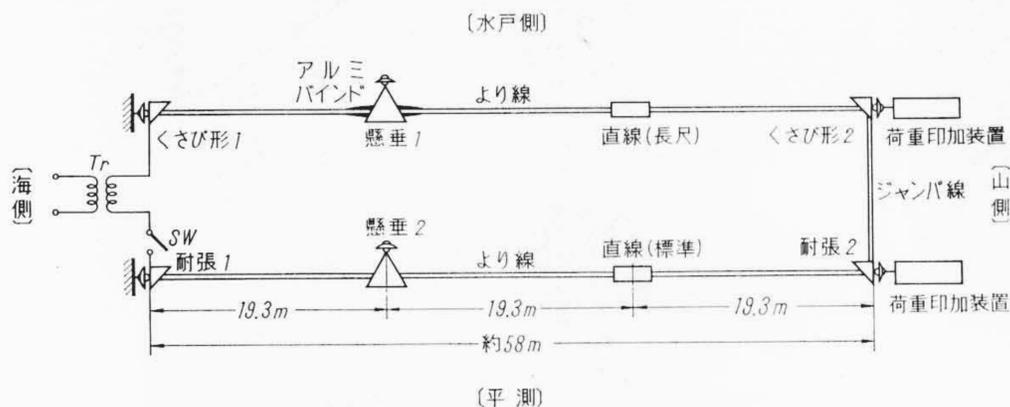
第 7, 8 表はより線の性能および付属品の種類を示したものである。

3.1.1 ヒートサイクル試験

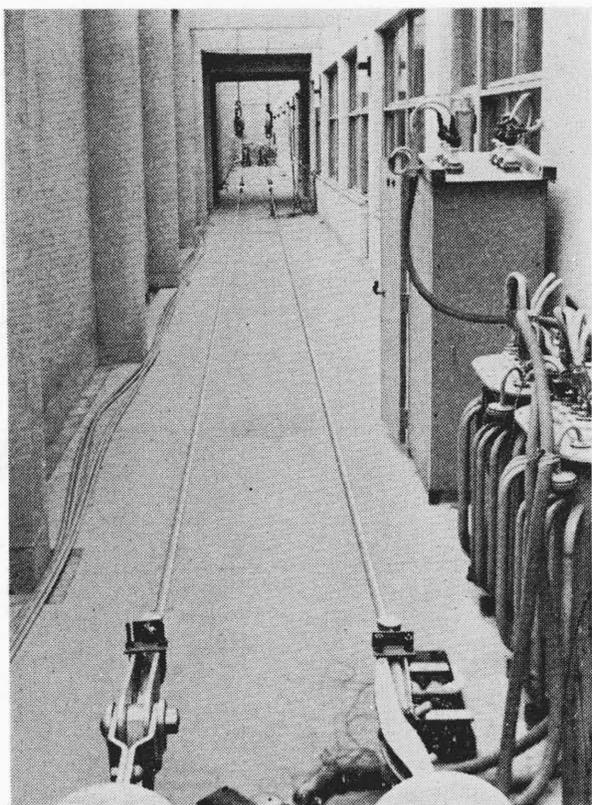
試験は日立電線株式会社日高工場研究本館のピット内に所要のより線を設置し行なった。

第 20 図は試験設備の概要を示す。約 58m のより線をピット内に、10 インチの懸垂がい子各 1 個を介して 2 条並列に架線し、水戸

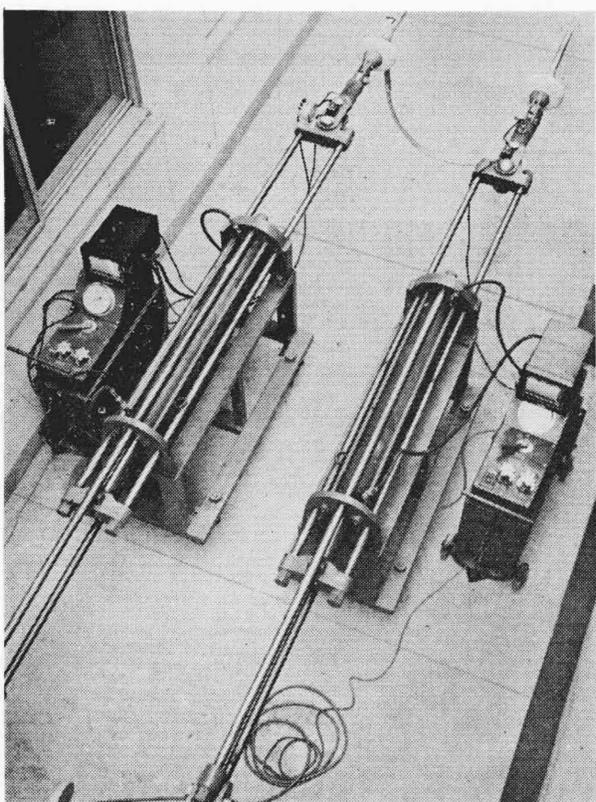
側はくさび形引留クランプ(MAT-1027), 平側はアルミ内張りクランプ1形(TNA-13533)および同2形(NST-242)で引きとめた。スパンの海側端より約1/3のところに懸垂クランプ(SNA-8033)をそれぞれがい子1個を介して釣車から下げ, 電線をは持した。なお, 水戸側の電線には軟アルミ線2.3mmを懸垂クラン



第20図 ヒートサイクル試験設備概要



第21図 試験設備全景



第22図 30 t 油圧式荷重負荷装置

プを中心に約2m バインドしてアーマロッドを模擬した。また, スパンの山側端より約1/3のところに圧縮形直線スリーブを入れたが, 水戸側は長尺のもの, 平側は標準寸法のものを使用した。

試験は100kVA変圧器2台を使用して交流50c/sの電流約1,300Aを通電して, より線が150°Cに上昇した後, 1.5時間保持する。ついで電流を遮断して1.5時間保持してこれを1サイクルとして30回繰り返した。各部分の測定点の温度はピット内を吹く風によって変化するので, 150±10°Cの範囲内でON-OFF制御を行なった。

第9表は付属品の温度測定点を示す。

なお, 温度測定には銅-コンスタンタン熱電対を使用し, 試験期間中自記記録するようにした。

より線に張力をつけるには30t油圧式負荷装置を使用し常温で2,000kgとし, 通電直後の温度上昇とともに徐々に張力を減らして150°Cになったとき1,500kgになるようにした。電流遮断時にはその逆に次第に張

力をあげて行き, 20°Cで2,000kgになるよう調節した。

なお, 付属品からの電線のすべり出し量は付属品に取り付けたダイヤルゲージで測定した。

第21~26図は試験状況を示したものである。

3.1.2 引張り試験

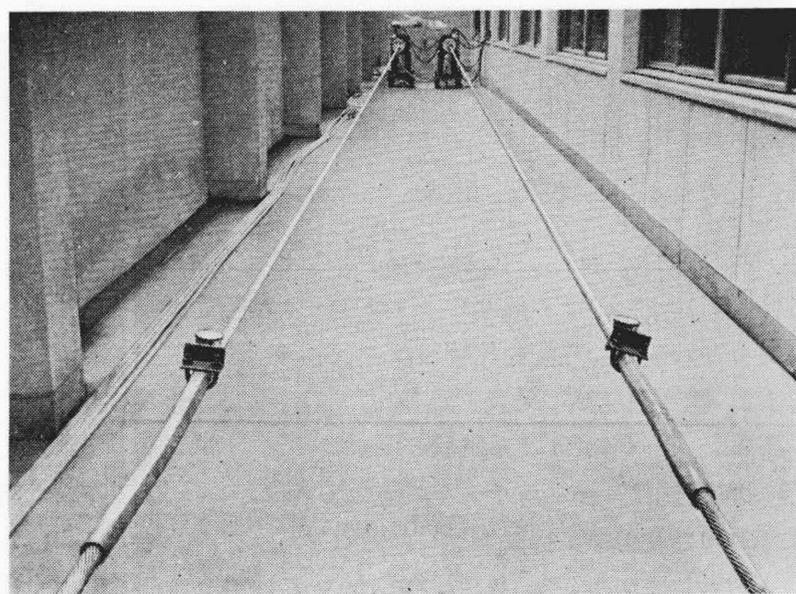
ヒートサイクル試験後より線を架線したまま, ジャンパ線を切りとり, 荷重負荷装置で張力を7,800kgまで上げ, そのときのクランプからの電線のすべり出し量をダイヤルゲージによって測定した。

第27~29図は測定状況を示したものである。

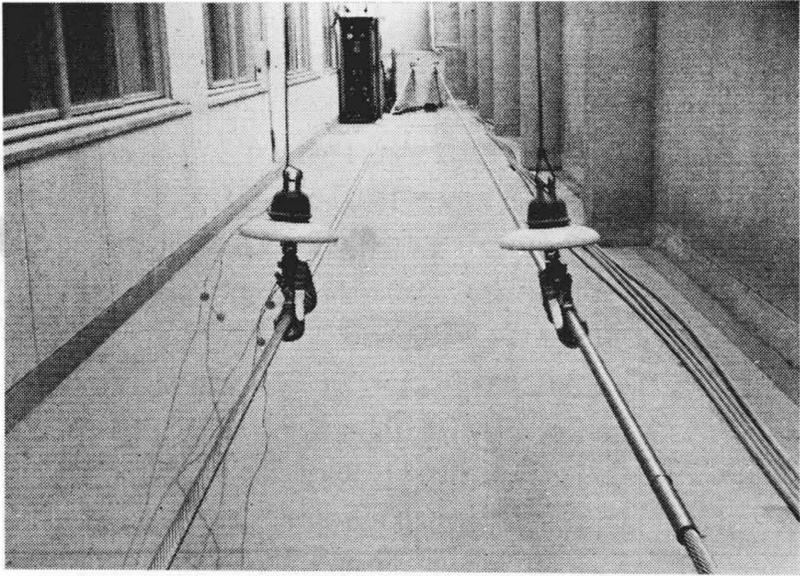
その後, より線を適当長さに切断し30t引張り試験機を用いてクランプ類とより線の掌握力試験と引張り試験を行なった。なお, 掌握力試験の際の電線のすべり出し量はダイヤルゲージで測

第9表 付属品の温度測定点

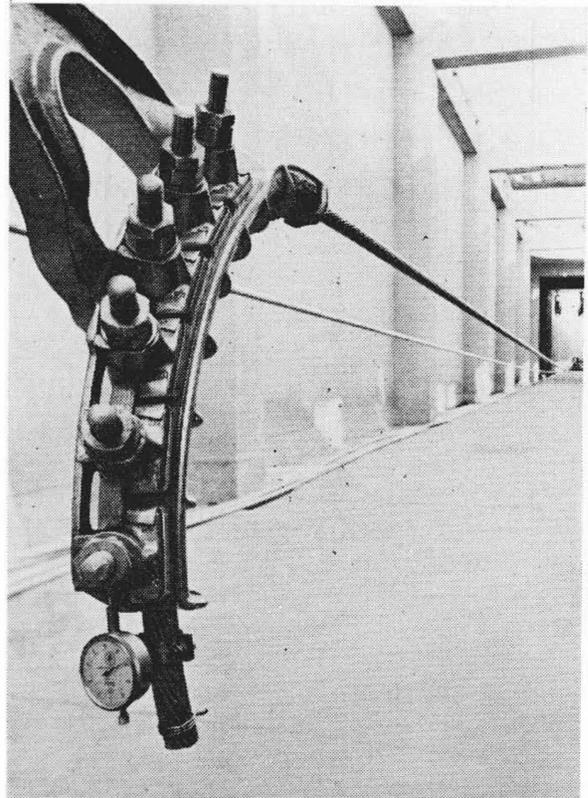
品名	測定点	
直線スリーブ	① 標準スリーブ中央部表面 ② 標準スリーブロ元より線との接触点	③ 長尺スリーブ中央部表面 ④ 長尺スリーブロ元より線との接触点
	① クランプ中央のより線との接触点 ② クランプロ元のより線との接触点	③ がい子連結クレビスリンク表面 ④ がい子かさ部表面 ⑤ がい子根元金具表面 ⑥ アルミバインド線表面
耐張クランプ	① クランプ中央のより線との接触点 ② クランプロ元のより線との接触点	③ がい子連結クレビスリンク表面 ④ がい子根元金具表面
くさび形クランプ	① クランプ中央表面 ② クランプロ元のより線との接触点	③ がい子連結クレビスリンク表面 ④ がい子根元金具表面



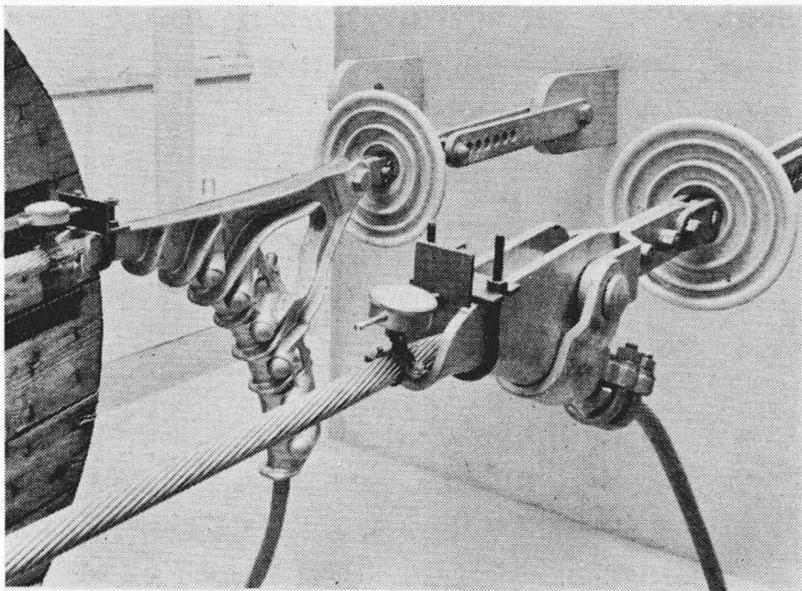
第23図 直線スリーブ (左側: 長尺, 右側: 標準)



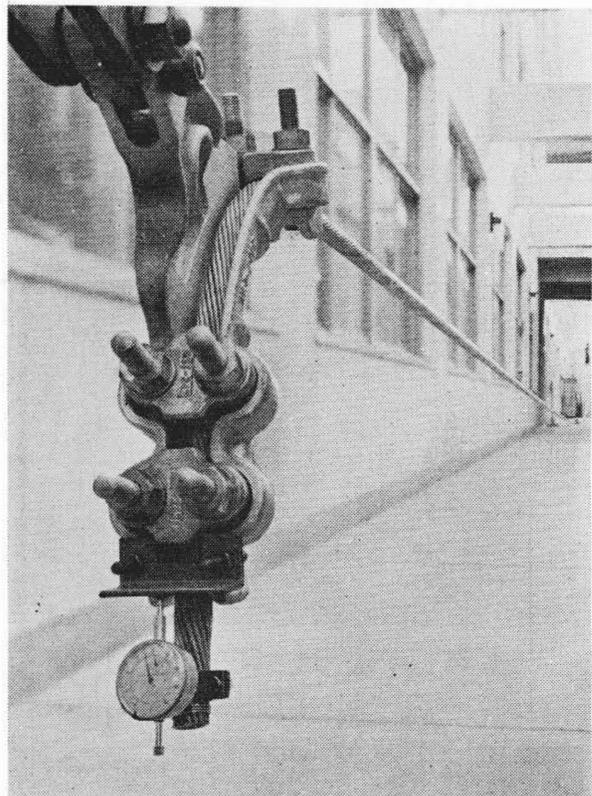
第24図 懸垂クランプは持部
(右側：アルミ線バインド)



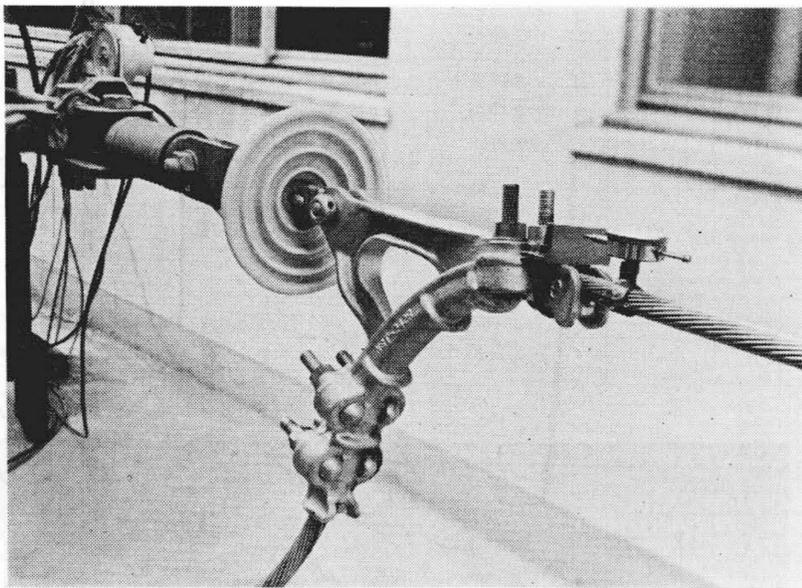
第27図 耐張クランプ1形のすべり測定状況



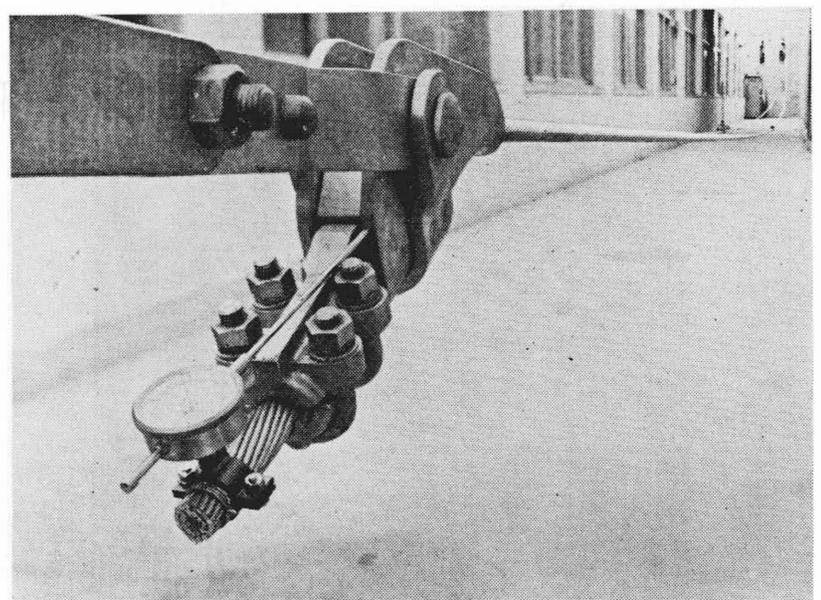
第25図 耐張クランプ1形(左側)とくさび形
クランプ(右側)



第28図 耐張クランプ2形のすべり測定状況



第26図 耐張クランプ2形



第29図 くさび形クランプのすべり測定状況

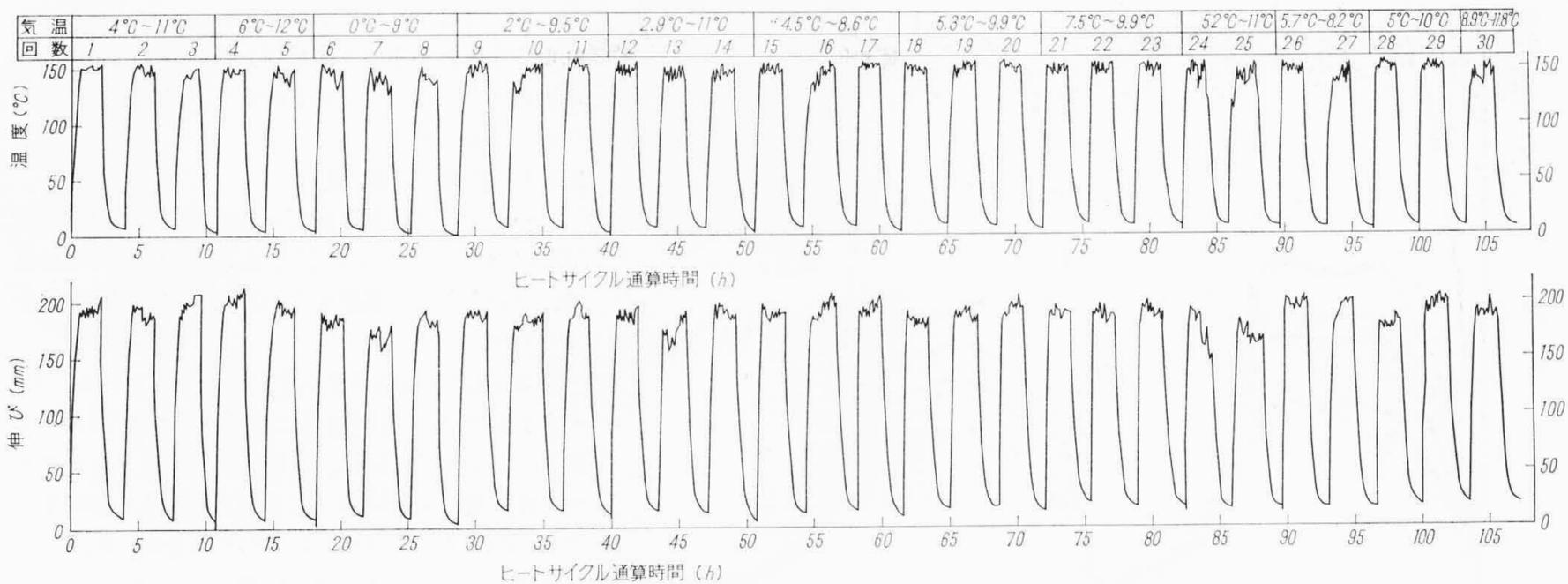
定した。また、より線はヒートサイクル試験前後の試料についてより戻し素線の性能を比較した。

3.2 試験結果

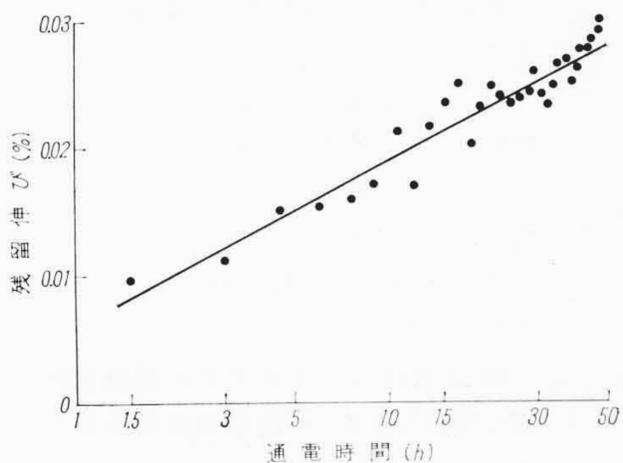
3.2.1 ヒートサイクル試験

第30図はヒートサイクル試験の各サイクルごとの電線の温度上昇と伸びの測定結果を示したものである。

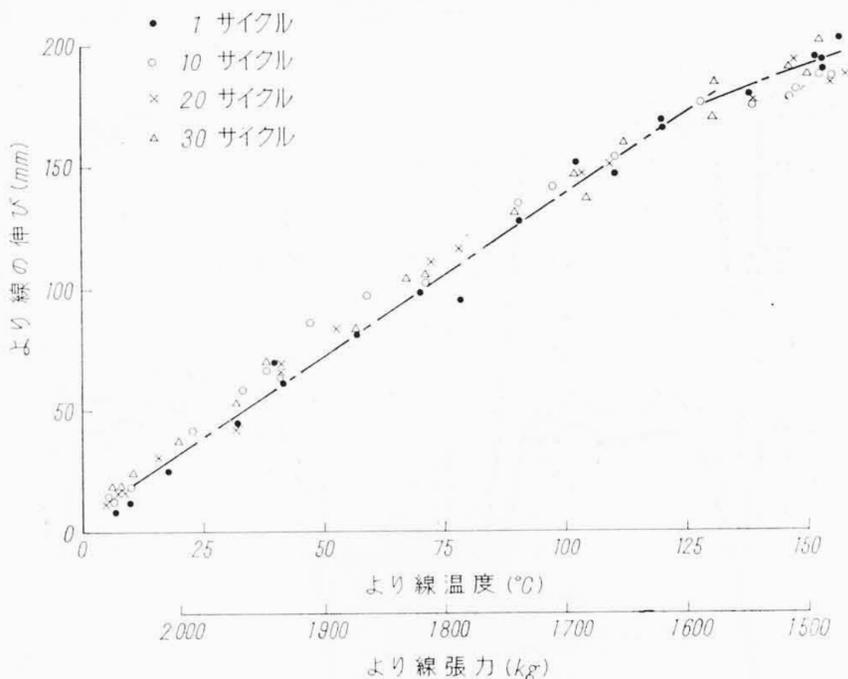
通电してからより線の温度が150°Cになるまでの時間および電流を遮断してから、より線の温度が20°Cになるまでの時間はサ



第30図 より線のヒートサイクルによる温度上昇および伸び一時間曲線



第31図 より線の残留伸びと通電時間の関係



第32図 より線の温度と伸びの関係

第10表 より線, 各付属品の最高温度比較表

付属品名	サイクルNo.	より線温度(°C)	測定位置*						気温(°C)
			①	②	③	④	⑤	⑥	
直線スリーブ	1	158	75.5	97.0	57.5	82.0	—	—	4 ~ 11
	2	159	70.0	88.0	54.0	75.5	—	—	4 ~ 11
	4	153	73.5	95.0	55.5	80.5	—	—	6 ~ 12
	5	153	61.5	81.5	47.0	70.0	—	—	6 ~ 12
懸垂クランプ	18	153	79.5	88.0	30.0	10.0	10.0	—	5.3 ~ 9.9
	19	155	84.0	95.0	27.0	11.5	10.0	—	5.3 ~ 9.9
懸垂クランプ (アルミバインド付)	24	152	74.0	74.5	22.5	11.0	10.0	143.5	5.2 ~ 11
	26	156	71.5	80.5	27.0	10.0	9.0	134.5	5.7 ~ 8.2
1形耐張クランプ	4	153	69.5	109.5	13.5	8.5	—	—	6 ~ 12
	5	153	71.0	112.0	14.5	11.0	—	—	6 ~ 12
2形耐張クランプ	12	155	75.5	107.0	15.5	9.5	—	—	2.9 ~ 11
	13	153	72.0	101.5	15.0	9.5	—	—	2.9 ~ 11
くさび形クランプ	1	158	30.0	66.0	12.5	12.5	—	—	4 ~ 11
	2	159	36.0	70.0	13.5	12.0	—	—	4 ~ 11
	9	155	32.0	68.5	7.5	5.5	—	—	2 ~ 9.5
	10	155	31.5	67.0	10.0	6.5	—	—	2 ~ 9.5

* 第9表の測定点を参照

サイクルによって異なるが大体20~40分である。

より線の伸びの状況はより線の温度に準じて変化していることがわかる。なお、150°Cになってからのより線の温度曲線がのこぎり歯状波の形状を示しているのは、ピット内を吹く風によって、導体温度が変化するのをスイッチのON-OFFにより制御し

ているからである。したがって、これに相当する、より線の伸びの変化曲線ものこぎり歯状波を示している。

高温時の伸びは、サイクル数が増しても増加する現象はなく、150°C、1,500 kgの印加時で160~210 mm、平均で約190mmである。この値はスパン58 mの0.33%に相当する。

第31図はより線が常温になったときの残留伸びを示したものである。

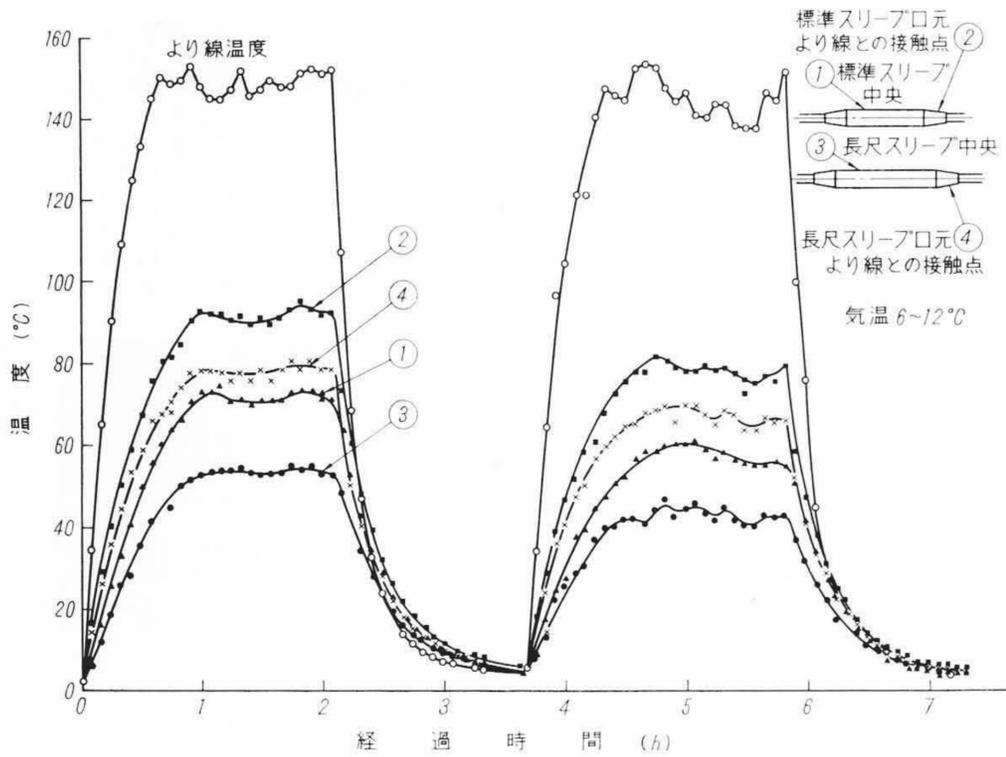
この図よりわかるように、残留伸びは対数グラフ上で直線的に増加している。たとえば7サイクル(10.5時間)で0.02%、30サイクル(45時間)では0.028%となっている。

第32図はより線の温度と伸びの関係を代表的な4種類について示したものである。なお、張力は前述したように1,500~2,000 kgの間を温度により変えたことを横軸に温度に対応して示した。

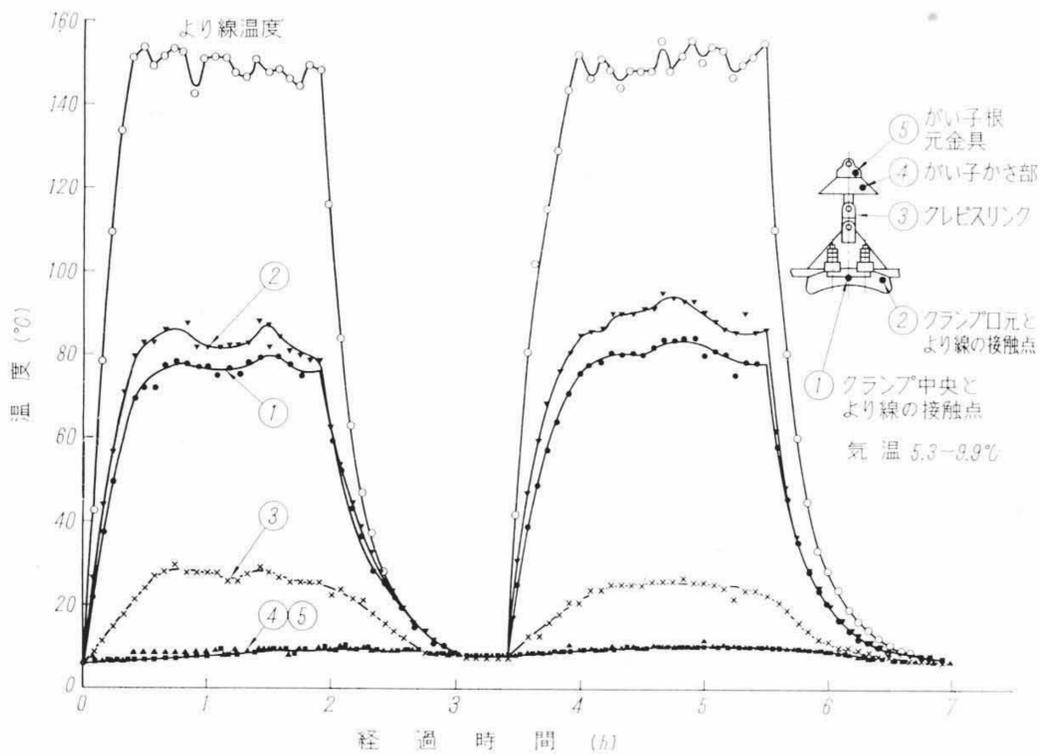
これをみると、サイクルによって伸びには若干のバラツキはあるが、大体直線的な関係があり、しかも125°C付近で直線のこう配が変化していることがわかる。

第33~36図は付属品の温度測定結果の一例を示し、第10表はより線と各付属品について測定した最高温度をまとめたものである。

これらの結果にみられるとおり、付属品の温度はいずれもより線より低くなっている。たとえば、懸垂クランプではより線と接触する②の位置で約60°Cも低く、また、軟アルミ線をバインド



第33図 直線スリーブの温度測定結果 (4~5 Cycle の測定値)



第34図 懸垂クランプの温度測定結果 (8~19 Cycle の測定値)

してアーマロッドの模擬とした場合にはさらに低い温度を示している。また、クレビスリンクへの熱伝導は30°C以下であり、がい子の温度上昇は問題にならなかった。

耐張クランプは1形、2形とも大差はなく、口元で約110°Cであり、この場合もがい子への熱伝導はわずかであった。

くさび形クランプは他の金具に比べて温度上昇が約30~40°C小さい。これはアルミ合金製であるため鉄損が可鍛鉄に比べて小さく、熱容量が小さい(アルミは鉄の約70%)ことによる。

第11表はヒートサイクルによる電線のすべり出し量を各付属

第11表 ヒートサイクルによる電線のすべり出し量

付 属 品 名	試 験 前 (mm)	試 験 後 (mm)	すべり出し量 (mm)	
直線スリーブ	標準	0.143	0.204	0.061
	長尺	0.148	0.438	0.021
耐張クランプ	1形	0.037	0.191	0.154
	2形	0.915	1.630	0.715
くさび形クランプ	1形	0.040	0.508	0.468
	2形	0.268	0.465	0.197

品について測定した結果をまとめたものである。これを見るとわかるようにヒートサイクルによる電線のすべり出しは、すべて1mm以下であり問題ではないことがわかる。

3.2.2 引張り試験

ヒートサイクル試験後ピット内で油圧式荷重負荷装置により、より線の張力を7,800 kgまで増加させ、そのときの付属品からの電線のすべり出し量をもとめた。

第37図は試験結果を示す。耐張クランプは5 t、くさび形クランプは4 tをこえると1 mm以上のすべり出しを生じている。またくさび形クランプのすべり出し量は大きい、くさびと電線は一体になっておりほとんどすべりは起こしていなかった。

直線スリーブのすべり出し量はもっとも小さいが、圧縮形の場合のは持力が一番大きいことから考えて当然である。

第12表はより線および付属品の引張り試験結果を示したものである。

これらの結果から、破断荷重の規格値以下のものは耐張クランプだけである。これは引張り試験のさいのS-S曲線をみると、アルミ素線が一度に切れなかったため、ヒートサイクル、また破断試験前に7.8 tの張力を負荷した影響も表われているものと思われる。

第13表はヒートサイクル試験前後の各構成素線の機械的強さ、導電率の変化を示したものである。

第14表は330 mm² ACSRを同じ条件で6回ヒートサイクルを行なったときの、各構成素線の機械的強さの変化を示したものである。

これらの表にみられるとおり、耐熱アルミ合金より線の各素線の機械的強さの低下率が2~3%に対し、普通アルミより線の低下率は6回のヒートサイクルで20~25%と大きい値を示しており前者の耐熱性がすぐれていることがわかる。

3.3 結果の考察

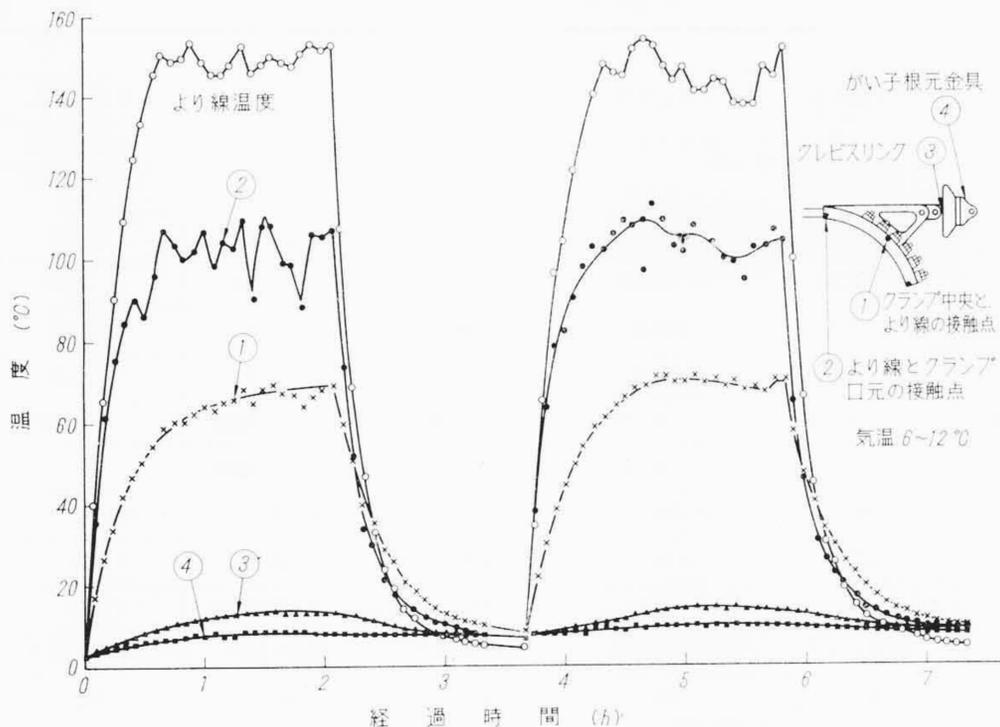
3.3.1 温度上昇によるACSRの応力分担

ACSRの応力分担に関しては、近年素材の応力緩和、クリープの概念が導入され、従来の初期分担応力の考え方では不十分であることが明確になってきた。すなわち、ACSRはアルミ線と鋼線

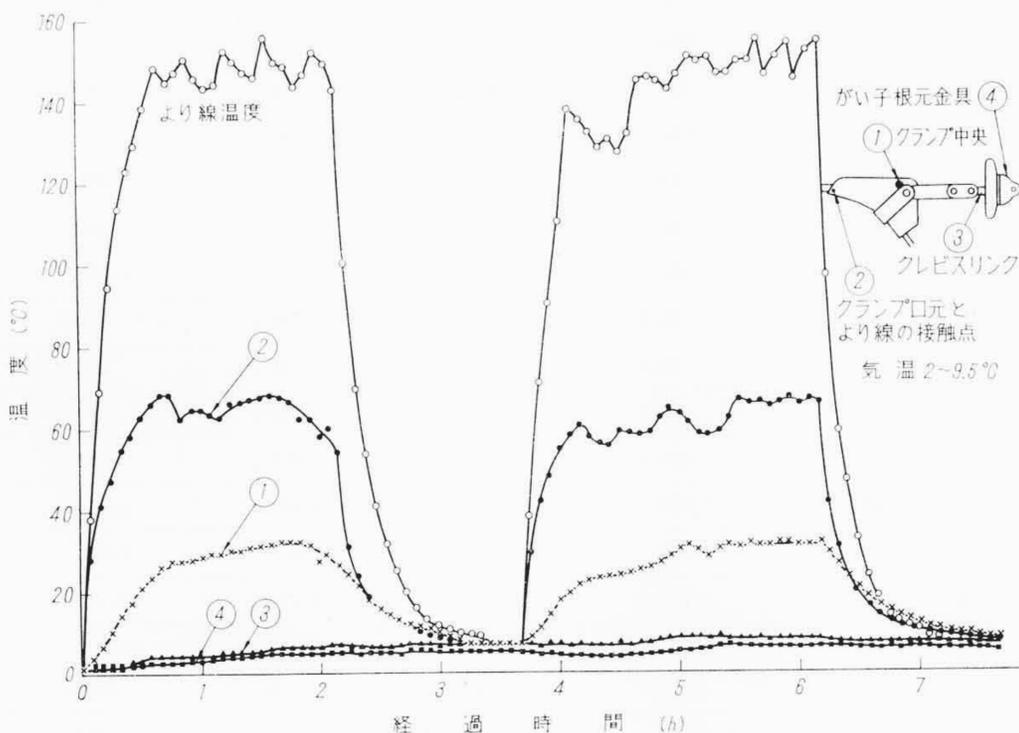
第12表 より線および付属品の引張り試験結果

試 料	破断荷重 (kg)	破 断 状 況	
よ り 線	ヒートサイクル前	11,940	アルミ破断時の伸び 45 mm (スパン 2,200 mm)
	ヒートサイクル後	11,920	アルミ破断時の伸び 31 mm (スパン 2,200 mm)
直線スリーブ	標準	11,720	スリーブ内で電線破断
	長 尺	11,700	チャック切れ
懸垂クランプ把持部	アルミバインド無	11,840	チャックから10 cmの所で切断
	アルミバインド有	11,580	チャック切れ
耐張クランプ	1 形	10,000	7 t近くですべり出し、口元でアルミが切断
	2 形	8,940	5 tからすべり出し、ボルト締付部で切断
くさび形クランプ	1 形	11,760	5 tからすべり出し、アルミがチャック切れ
	2 形	11,920	5 tからすべり出し、アルミが口元で切断

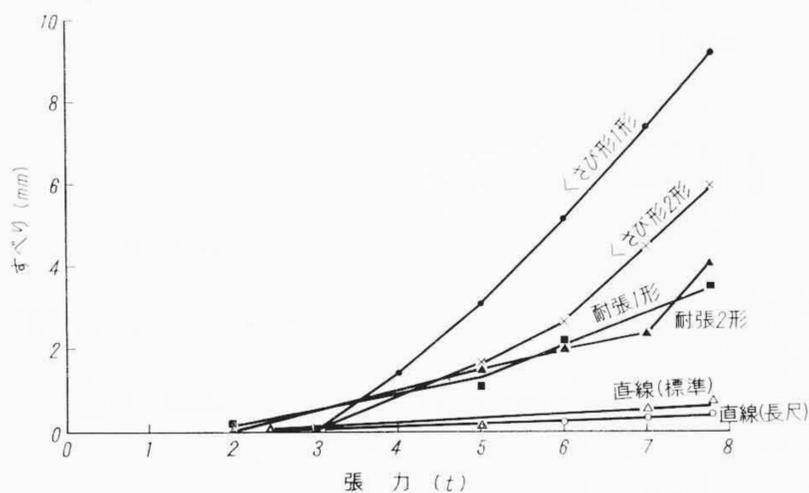
注: (1) より線の規格値 10,890 kg 以上
(2) 付属品の規格値 10,345 kg 以上



第35図 耐張クランプ1形の温度測定結果(4~5 Cycleの測定値)



第36図 くさび形クランプの温度測定結果(9~10 Cycleの測定値)



第37図 電線のすべり出し量と張力の関係

の複合体であり、張力が加わればアルミ線の方がクリープ強度が低い、換言すれば応力緩和しやすい、ある時間後には鋼線のみが張力をうけもつようになる。この傾向はともに時間の関数であるため、ACSRのように長年月の寿命を約束しなければならない場合には特に重要な因子である。

ここでは、ある状態を設定した場合の理論的計算を行ない、関数を簡単化した場合について、実際との相関性を検討した。

設定条件は、張力一定で温度差を与え、しかも素線にあるクリープを発生したとする。

計算に使用した記号は以下のとおりである。

- T : ACSRの張力 (kg)
- A : ACSRの断面積 (mm^2)
- E : ACSRの等価弾性係数 (kg/mm^2)
- α : ACSRの等価線膨張係数 ($^{\circ}\text{C}$)
- Δt : 温度差 ($^{\circ}\text{C}$)
- A_n : 第 n 層素線の断面積の和 (mm^2)
- E_n : 第 n 層素線の弾性係数 (kg/mm^2)
- α_n : 第 n 層素線の線膨張係数 ($^{\circ}\text{C}$)
- $\sigma_n + \Delta\sigma_n$: 第 n 層素線の分担応力 (kg/mm^2)
(σ_n : 張力 T だけによる分)
($\Delta\sigma_n$: 熱とクリープによる分)
- ϕ_n : 第 n 層の素線のピッチ角
- e_n : 第 n 層素線の素線に沿って測ったクリープ
- λ_n : ACSRの見かけ上のひずみ(張力 T だけによる分)

(i) 伸び, 応力

第 n 層の伸びは

$$\Delta l_n = \left(\frac{\sigma_n}{E_n} + \frac{\Delta\sigma_n}{E_n} + \alpha_n \cdot \Delta t + e_n \right) l_n \dots (1)$$

同様に中心線の伸びは

$$\Delta l_0 = \left(\frac{\sigma_0}{E_0} + \frac{\Delta\sigma_0}{E_0} + \alpha_0 \cdot \Delta t + e_0 \right) l_0 \dots (2)$$

より線の幾何学的関係から

$$\frac{\Delta l_n}{l_n} = \frac{\Delta l_0}{l_0} \cdot \cos^2 \phi_n \dots (3)$$

(1)(2)および(3)から第 n 層の分担応力は

$$\sigma_n + \Delta\sigma_n = \frac{\Delta l_0}{l_0} \cdot E_n \cdot \cos^2 \phi_n - E_n (\alpha_n \cdot \Delta t + e_n) \dots (4)$$

第 n 層にかかる軸方向分力は

$$A_n (\sigma_n + \Delta\sigma_n) \cos \phi_n = \frac{\Delta l_0}{l_0} \cdot A_n \cdot E_n \cdot \cos^3 \phi_n - A_n \cdot E_n \cdot \cos \phi_n (\alpha_n \cdot \Delta t + e_n)$$

第13表 ヒートサイクル前後のより線およびよりもどし素線の機械的性能 (330 mm^2 アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線)

試料	機械的性能				低下率 (%)	
	試験前		試験後			
	引張り強さ (kg/mm^2)	伸び (%)	引張り強さ (kg/mm^2)	伸び (%)	引張り強さ	伸び
耐熱アルミ線 (16本層)	18.69 (18.30~19.20)	1.89 (1.8~2.0)	18.28 (17.66~18.64)	1.76 (1.6~2.0)	2.2	6.9
耐熱アルミ線 (10本層)	18.63 (18.20~19.34)	1.91 (1.6~2.4)	18.11 (17.66~18.54)	1.79 (1.6~2.0)	2.8	6.3
A S 線 (7本)	135.5 (135.2~136.0)	4.5 (4.0~5.2)	134.7 (133.6~135.4)	4.6 (4.4~5.0)	0.6	-2.2
より線*	11.940	—	11.920	—	0.17	—

*: 破断荷重 (kg) を示す。

注: 低下率で ⊖ のものは増加を意味する。

第15表 各種アルミ電線

サイズ		mm ²	240				330			
品名			3EAS	ACSR	3TEAS	TACSR	3EAS	ACSR	3TEAS	
構成	アルミ	mm	30/3.2 Al	30/3.2 Al	30/3.2 TAl	30/3.2 TAl	26/4.0 Al	26/4.2 Al	26/4.2 TAl	
	鋼心	mm	7/3.2 (0.25) EAS	7/3.2 st	7/3.2 (0.25) EAS	7/3.2 st	7/3.1 (0.25) EAS	7/3.1 st	7/3.1 (0.25) EAS	
断面積	アルミ	mm ²	241.3	241.3	241.3	241.3	326.8	326.8	326.8	
	鋼心	mm ²	56.29	56.29	56.29	56.29	52.84	52.84	52.84	
	計	mm ²	297.6	297.6	297.6	297.6	379.6	379.6	379.6	
外径		mm	22.4	22.4	22.4	22.4	25.3	25.3	25.3	
直流抵抗 (20℃)	鋼心含む	Ω/km	0.1098	0.1153	0.116	0.123	0.0833	0.0865	0.0872	
	鋼心含まず	Ω/km	—	0.120	—	0.127	—	0.0888	—	
引張荷重 (最小値)		kg	10,260	10,210	10,260	10,210	11,010	10,930	11,010	
計算重量		kg/km	1,027	1,110	1,027	1,110	1,239	1,320	1,239	
計算弾性係数		kg/mm ²	7,880	9,080	7,880	9,080	7,450	8,360	7,450	
計算線膨張係数		/℃	19.6×10 ⁻⁶	18.0×10 ⁻⁶	19.6×10 ⁻⁶	18.0×10 ⁻⁶	20.3×10 ⁻⁶	19.0×10 ⁻⁶	20.3×10 ⁻⁶	
電流量	50 c/s	70℃	A	420	410	410	398	491	483	482
		90℃	A	620	605	604	587	736	722	720
		100℃	A	698	681	680	661	829	814	811
		120℃	A	—	—	804	782	—	—	964
		150℃	A	—	—	962	934	—	—	1,155
	60 c/s	70℃	A	419	409	409	397	489	481	480
		90℃	A	619	604	603	586	734	720	718
		100℃	A	696	679	678	659	826	811	808
		120℃	A	—	—	802	780	—	—	960
		150℃	A	—	—	960	932	—	—	1,150
50 c/s 2 回線当り	負荷率	%	60.2	60.2	60.2	60.2	59.3	59.3	59.3	
	損失率	%	40.0	40.0	40.0	40.0	38.9	38.9	38.9	
	平均損失電力	kW/km	134.0	141.0	142.0	150.7	142.6	148.1	149.2	
	最大損失電力	kW/km	404.5	427.5	430.5	460.5	402.8	418.3	463.6	
	年間損失電力	kWH/km	1,398	1,479	1,490	1,592	1,489	1,546	1,558	
	損失換算コスト	発電所建設費	k¥/km	1,340	1,410	1,420	1,507	1,426	1,481	1,492
		直接原価	k¥/km	2,796	2,958	2,980	3,184	2,978	3,092	3,116
合計		k¥/km	4,136	4,368	4,400	4,691	4,404	4,573	4,608	
	差	k¥/km	-232	0	-32	+323	-169	0	+35	
所要電線量	2回線当り	kg/km	6,162	6,660	6,162	6,660	7,434	7,920	7,434	
	差	kg/km	-498	0	-498	0	0	0	-486	

第14表 ヒートサイクル前後のより線およびよりもどし素線の機械的性能 (330 mm² 鋼心アルミより線)

試料	機械的性能				低下率 (%)	
	試験前		試験後			
	引張り強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	引張り強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	引張り強さ	伸び
アルミ線 (16本層)	18.52 (18.46~18.74)	2.3 (2.4~2.0)	14.10 (13.05~15.06)	2.1 (2.2~2.0)	24.8	8.6
アルミ線 (10本層)	18.21 (17.45~18.87)	2.4 (3.0~2.0)	14.46 (13.93~15.44)	2.2 (2.4~2.0)	20.7	8.2
亜鉛メッキ鋼線 (7本)	146 (142~150)	5.2 (5.6~5.0)	147 (144~148)	5.3 (5.6~5.0)	-0.6	-1.9
より線*	12.640	—	11.900	—	5.8	—

*: 破断荷重 (kg) を示す。
注: 低下率で ⊖ のものは増加を意味する。

$$\begin{aligned} \therefore T &= \sum A_n (\sigma_n + \Delta\sigma_n) \cos \phi_n \\ &= \frac{\Delta l_0}{l_0} \cdot \sum A_n E_n \cdot \cos^3 \phi_n - \sum A_n E_n \cos \phi_n \cdot e_n \\ &\quad - \Delta t \sum A_n \cdot E_n \cdot \alpha_n \cdot \cos \phi_n \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

(ii) 相当弾性係数および相当線膨張係数
温度差もクリープもない場合は

$$\Delta\sigma_n = 0, \quad \frac{\Delta l_0}{l_0} = \frac{\sigma_0}{E_0}, \quad e_n = 0, \quad \Delta t = 0$$

を(5)式に入れると

$$\begin{aligned} T &= \frac{\sigma_0}{E_0} \sum A_n E_n \cos^3 \phi_n = \lambda_0 \sum A_n \cdot E_n \cdot \cos^3 \phi_n \\ \therefore \sum A_n \cdot E_n \cdot \cos^3 \phi_n &= \frac{T}{\lambda_0} = AE \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

つぎに張力零でクリープがない場合(温度差のみのある場合)

$$T = 0, \quad \frac{\Delta l_0}{l_0} = \frac{\Delta\sigma_0}{E_0} + \alpha_0 \Delta t, \quad e_n = 0$$

を(5)式に代入

$$\begin{aligned} 0 &= \left(\frac{\Delta\sigma_0}{E_0} + \alpha_0 \Delta t \right) AE - \Delta t \sum A_n \cdot E_n \cdot \alpha_n \cdot \cos \phi_n \\ \frac{\Delta\sigma_0}{E_0} + \alpha_0 \Delta t &= \Delta t \cdot \frac{\sum A_n E_n \alpha_n \cos \phi_n}{AE} \\ \therefore \frac{1}{\Delta t} \left(\frac{\Delta\sigma_0}{E_0} + \alpha_0 \Delta t \right) &= \frac{1}{\Delta t} \left(\frac{\Delta l_0}{l_0} \right) = \frac{\sum A_n E_n \alpha_n \cos \phi_n}{AE} \\ &= \alpha \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

の性能, 経済比較表

TACSR	520				680			
	3 EAS	ACSR	3 TEAS	TACSR	3 EAS	ACSR	3 TEAS	TACSR
26/4.2 TAl	54/3.5 Al	54/3.5 Al	54/3.5 TAl	54/3.5 TAl	54/4.0 Al	54/4.0 Al	54/4.0 TAl	54/4.0 TAl
7/3.1 st	7/3.5 (0.3) EAS	7/3.5 st	7/3.5 (0.3) EAS	7/3.5 st	7/4.0 (0.35) EAS	7/4.0 st	7/4.0 (0.35) EAS	7/4.0 st
326.8	519.5	519.5	519.5	519.5	678.8	678.8	678.8	678.8
52.84	67.35	67.35	67.35	67.35	85.96	85.96	85.96	85.96
379.6	586.9	586.9	586.9	586.9	764.8	764.8	764.8	764.8
25.3	31.5	31.5	31.5	31.5	36.0	36.0	36.0	36.0
0.0907	0.0530	0.0548	0.0556	0.0576	0.0406	0.0419	0.0424	0.0440
0.0931	—	0.0559	—	0.0588	—	0.0428	—	0.0449
10,930	15,530	15,600	15,530	15,600	19,940	19,760	19,940	19,760
1,320	1,861	1,969	1,861	1,969	2,427	2,572	2,427	2,572
8,360	7,150	7,990	7,150	7,990	7,060	7,990	7,060	7,990
19.0×10 ⁻⁶	21.0×10 ⁻⁶	19.5×10 ⁻⁶	21.0×10 ⁻⁶	19.5×10 ⁻⁶	20.9×10 ⁻⁶	19.5×10 ⁻⁶	20.9×10 ⁻⁶	19.5×10 ⁻⁶
471	641	629	626	615	743	733	730	715
707	975	960	957	940	1,156	1,137	1,133	1,112
795	1,106	1,087	1,084	1,063	1,312	1,289	1,285	1,260
945	—	—	1,297	1,275	—	—	1,538	1,511
1,132	—	—	1,551	1,522	—	—	1,852	1,819
469	637	625	622	611	738	728	725	710
705	970	955	952	935	1,148	1,129	1,126	1,105
792	1,100	1,081	1,078	1,057	1,304	1,281	1,277	1,253
941	—	—	1,291	1,269	—	—	1,530	1,502
1,127	—	—	1,544	1,515	—	—	1,843	1,810
59.3	57.9	57.9	57.9	57.9	56.9	56.9	56.9	56.9
38.9	37.3	37.3	37.3	37.3	36.0	36.0	36.0	36.0
157.0	154.9	160.7	162.8	170.0	162.0	170.0	171.6	180.1
485.4	508.0	526.0	534.5	554.5	556.5	573.0	580.0	608.0
1,631	1,639	1,698	1,722	1,788	1,733	1,784	1,804	1,891
1,570	1,549	1,607	1,628	1,700	1,620	1,700	1,716	1,801
3,262	3,278	3,396	3,444	3,576	3,466	3,568	3,608	3,782
4,832	4,827	5,003	5,072	5,276	5,086	5,268	5,324	5,583
+259	-176	0	+69	+273	-178	0	+56	+315
7,920	11,166	11,814	11,166	11,814	14,542	15,336	14,572	15,336
0	-648	0	-648	0	-794	0	-794	0

(iii) ACSR の見かけのひずみ

(6), (7)式を(5)式に代入

$$T = \frac{\Delta l_0}{l_0} AE - \Delta t AE \alpha - \sum A_n E_n e_n \cos \phi_n$$

したがって見かけのひずみは

$$\frac{\Delta l_0}{l_0} = \frac{T}{AE} + \alpha \Delta t + \frac{1}{AE} \sum A_n E_n e_n \cos \phi_n \dots\dots\dots (8)$$

(8)式の第1項は張力による項

$$\frac{T}{AE} = \lambda_0$$

第2項は温度による項

第3項はクリープによる項

である。

(iv) 第n層の分担応力

(8)式を(4)式に代入

$$\sigma_n + \Delta \sigma_n = \left(\lambda_0 + \alpha \Delta t + \frac{\sum A_n E_n e_n \cos \phi_n}{AE} \right) E_n \cos^2 \phi_n - E_n (\alpha_n \Delta t + e_n) \dots\dots\dots (9)$$

(v) 第n層の分担応力が零になる条件

$$\sigma_n + \Delta \sigma_n = 0$$

$$\therefore \left(\lambda_0 + \alpha \Delta t + \frac{\sum A_n E_n e_n \cos \phi_n}{AE} \right) \cos^2 \phi_n = \alpha_n \Delta t + e_n$$

$$\therefore \Delta t = \frac{\left(\lambda_0 + \frac{\sum A_n E_n e_n \cos \phi_n}{AE} \right) \cos^2 \phi_n - e_n}{\alpha - \alpha_n \cos^2 \phi_n} \dots\dots\dots (10)$$

いま, クリープがまったくない場合を想定すると

$$\Delta t = \frac{T}{AE} \cos^2 \phi_n \dots\dots\dots (11)$$

$$\left(\text{ただし } \lambda_0 = \frac{T}{AE} \right)$$

(vi) 計算例

上述の理論的計算より, 本実験の場合, 温度上昇によりアルミ線の応力が0になる温度を求めると次のようになる。

なお, 計算に使用した数値は次のとおりである。

$$T = 1,500 \text{ kg}$$

$$A = 379.6 \text{ mm}^2$$

$$E=7,450 \text{ kg/mm}^2$$

$$\alpha=20.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

$$\alpha_n=23.0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

$$\text{外層ピッチ } \cos \phi=0.9685$$

$$\text{内層ピッチ } \cos \phi=0.981, 0.994$$

(11)式より

$$\Delta t=131^\circ\text{C}$$

上記の値は第32図の結果に近似している。この値はクリープを考慮しない場合であり、クリープを考えるとさらに低い値になると推定される。

同一構成のより線で温度150°C、張力1,500 kgの45時間後のクリープ伸びは $1.4 \times 10^{-2}\%$ である。

今、ヒートサイクル試験におけるクリープ量を $1 \times 10^{-2}\%$ としたときのアルミ線の応力分担が0になる温度を求めると(10)式より

$$\Delta t=127.6^\circ\text{C}$$

となる。

この値は第32図の結果とよく一致しており、(10)、(11)式の値は有効な式であると考えられる。

4. アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線の経済比較

前述の各種試験結果より判定されるとおり、耐熱アルミ合金は電気用アルミに比較して高温特性がすぐれており、 330 mm^2 アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線の実負荷試験においても良好な性能をもっていることがわかる。

ただし、電気用アルミに比較して導電率が若干劣るためにその使用については十分、経済性を比較する必要がある。

耐熱アルミ合金線を導体とし、アルミ被鋼線を鋼心としたアルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線(3 TES と呼称する)は、アルミ被鋼線が導電性であるため鋼心耐熱アルミ合金より線(TACSR と呼称する)に比べて交流抵抗が小さく、電流容量が大きい。したがって、TACSR に比べて電力損失が少なく、経済的である。その経済性を比較するため、各構成の送電線を同じ条件で使用した場合の電力損失を求めた。この場合、耐熱アルミ合金の導電率は58 IACS % として計算した。

算出方法は50, 60 c/s の電流容量を70, 90, 100, 120 および150°C について求め、電力損失としていずれのより線に対しても、ACSR の70°C の電流容量を平均に、100°C の電流容量を最大に考えて、Wolf の式を使用して年間損失電力量を計算した。

Wolf の式は以下のとおりである。

$$\rho=0.083f+1,036f^2-0.12f^3$$

ρ : 損失率

f : 負荷率

なお、50, 60 c/s のちがいによる損失の差は非常に小さいので50 c/s の値に統一した。

電力単価は発電所建設費担当と直接原価とに区分し、前者を10 k¥/kW年、後者を2 ¥/kWh と仮定して計算し、1年間の損失換算コストをACSR を標準として比較した。

第15表は各種アルミより線の性能、経済比較を示したものである。

表中に示した、より線の記号は次のとおりである。

3EAS: アルミ被鋼心アルミより線

3TEAS: アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線

TACSR: 鋼心耐熱アルミ合金より線

ACSR: 鋼心アルミより線

第15表に示したとおり、3TEAS は電流容量がACSR とほぼ同等であり、TACSR より2~3%大きく、電力損失もACSR とほぼ同等で、TACSR に比較してかなりの利益がある。また、電線所要量もTACSR より少なくすむ。したがって、たとえkg当たりの単価がTACSR よりいくぶんか高くても年経費まで考慮すれば3TEAS のほうが経済的に有利であることがわかる。

5. 結 言

耐熱アルミ合金線を主体にし、電気用アルミ線、亜鉛メッキ鋼線およびAS線の高温特性を検討し、アルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線とその付属品についての実規模におけるヒートサイクル試験による導体、付属品の温度上昇の測定、および機械的特性について検討し、さらに耐熱アルミ合金線を使用した場合の経済比較を、各種サイズのより線について行なった。

試験結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 耐熱アルミ合金線の150°Cにおける高温特性(高温引張り強さ、クリープ速度など)は、電気用アルミ線の90°Cの特性と比較し、すぐれた性能を示しており、最高温度150°Cで使用しても問題はない。
- (2) AS線の高温特性(高温引張り強さ、クリープ速度など)は亜鉛メッキ鋼線と同等であり、耐熱アルミ合金より線の鋼心に十分使用できる。
- (3) AS線を鋼心にしたアルミ被鋼心耐熱アルミ合金より線の実規模のヒートサイクル試験にみられるとおり耐熱性はすぐれており、引張り強さの低下率、高温クリープも小さく150°Cで使用することに実用上問題はない。
また、付属品の温度上昇による電線のすべり出し量も1 mm以下であり実用上問題にはならない。
- (4) AS線を鋼心にした、耐熱アルミ合金より線は、AS線が亜鉛メッキ鋼線に比較して導電性であるため、3TEASの電力損失はACSR とほぼ同等であり、TACSR より経済的に有利である。

本報告を終わるにあたり、各種実験にご協力いただいたケーブル部万代主任および第2研究課各位、特に温度上昇によるACSRの応力分担について計算式を作成された福田主任にあつくお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) Cibula, A: J. Inst. Metals., 76, 321 (1949)
- (2) M. D. Eborall: J. Inst. Metals., 76, 295 (1949)
- (3) R. H. Harrington: Trans. ASM., 41, 443 (1949)
- (4) 五十嵐, 五十嵐: 軽金属 8, 18 (1958)
- (5) 三島: 軽金属 6 (19), 41 (1956)
- (6) 三島, 高橋: 軽金属 6 (21), 64 (1956)
- (7) 柳沢, 中村: 軽金属 6 (20), 69 (1956)
- (8) 久笠: 日本金属学会誌 22, 269 (1958)
- (9) 山田: 軽金属 9 (5), 17, 23 (1959)
- (10) 山田: 軽金属 10 (4), 39 (1960)
- (11) 山田: 軽金属 10 (5), 16 (1960)
- (12) 山田: 軽金属 11 (2), 16 (1961)
- (13) 川西, 三宅: 日立評論 44 (4), 95 (1962)
- (14) アルミ裸線電流容量専門委員会: 電気協同研究 4 (6), 1 (1948)
- (15) 山路, 柿崎, 川西: 日立評論別冊 43 (6), 29 (1961)