

架 空 送 電 線 特 集

長径間送電線用電線“AS-170”の諸特性	87
長径間送電線用電線“AS-170”の付属品の検討	93
長径間送電線用アルミ被鋼より線の金車通過実験.....	97
超高圧送電線の機械的問題 ——ジャンパ補強——	102
送電線における気中絶縁のせん絡特性とその解析	106
4 導体送電線の断線実験	112
60 kV 2 回線送電線における不平衡絶縁.....	118
短波尾波に対する棒間げきのせん絡特性	125

長径間送電線用電線“AS-170”の諸特性

The Characteristics of the Cable “AS-170” for Long Span Aerial Transmission Lines

星 野 弘 之*
Hiroyuki Hoshino

内 容 梗 概

長径間架空送電線用の電線について日立電線株式会社では一連の研究を行ってきた。長径間用電線の研究は従来一般に用いられているACSRなどと異なり架線条件もきびしくまた電線構造についても鋼線を多く配列した電線となるため特殊な問題点が多い。本報告では主として新しく開発したAS線による長径間用電線について電流容量、アルミの応力分担、張力時の疲労強度、振動特性、常時使用張力と最大使用張力の許容限界、そのほかの諸特性を述べる。

1. 緒 言

一般に架空送電線の径間長は電線張力の許容限界と鉄塔費用の経済性から300 m程度とすることがよいとされている。しかしある種の場合には特に長径間に架線することが要求される。たとえば送電ルート的一部分を長径間送電線とすることにより送電線のルートを短縮でき全体の建設費を特に節減できる場合がある。また河川、海峡などをへだてて孤立している他の電力系統に長径間送電線をもって連係を図り広域運営の成果をあげようとする場合である。また孤立した島に給電する必要から長径間送電線を建設する場合も考えられる。

電力系統を連係する海峡横断送電線としては関門海峡横断送電線があり中国、九州の電力系統を結んでいる。このたび中国、四国を結ぶ海峡横断送電線が電源開発株式会社により建設されることになった。この中国—四国連絡送電線の計画は最長径間2.3 km（わが国最長径間）を含む5箇所の長径間送電線によって瀬戸内海を島伝いに横断するものである。特に送電容量も400 MWとされ規模においては世界的なものと考えられる。

日立電線株式会社ではこのような長径間送電線に用いる電線について試作、研究を続けてきた。種々の研究の結果から長径間、海峡横断送電線用電線としてAS線(アルミ被鋼線)を応用したAS-170、AS-210、AS-250がすぐれているという結論を得た。そして中国—四国連絡送電線にはAS-170が用いられることとなった。以下にそれらの電線についての研究結果について述べる。

2. 電 流 容 量

電流容量は中国—四国連絡送電線の場合、送電容量、送電電圧、送電回線数から600 A以上が要求された。長径間送電線では主として電線の引張荷重、耐振動疲労性、常時使用張力と最大使用張力の許容限が高いこと、架線工事に要求される特性、海峡横断の関係で

問題となる塩分に対する耐食性の問題などがあり電気的問題以外にも重要視される問題が多い。これらの問題は解決されなければならないが前提条件として電流容量が保障されなければならない。

長径間送電線で第一に要求されることはゆるみ度を小さく架線できることである。ゆるみ度は径間長が与えられた場合架線張力に反比例し電線重量に比例する。それゆえ高張力で架線できることおよび重量の軽いことが望ましい。しかし電線に使用できると考えられる材料を検討すると引張強さ180 kg/mm²程度の特強鋼線があげられる。導電体としては重量の点からいってアルミが考えられる。鋼とより合わせて電線を構成する場合耐食性の点でもアルミがよいと考えられる。

電線の構成材料とそれぞれの電線断面内での占有率を決定した場合には電線の引張荷重、重量は電線の断面積すなわち外径の2乗に比例する。電線に対する風圧は電線の外径に比例する。それゆえ電線の常時張力と最大使用張力は電線外径が大きくなると互いに近づく傾向がある。最大使用張力と引張荷重の比、すなわち安全率を一定とすると外径の大きい電線では常時使用張力を大きくしたことになりゆるみ度が小さくなる。しかし外径を大きくすることは新しい問題点が多いと考えられまた常時使用張力も無制限に大きくすることはできない。架空送電線用電線の使用実績からすると外径35 mm程度が適当と考えられ送電電圧からいってコロナの防止上もこの程度の外径が適当である。これらの考察から素線3.2 mmφ91本構成、外径35.2 mmφの電線を試作することとなった。

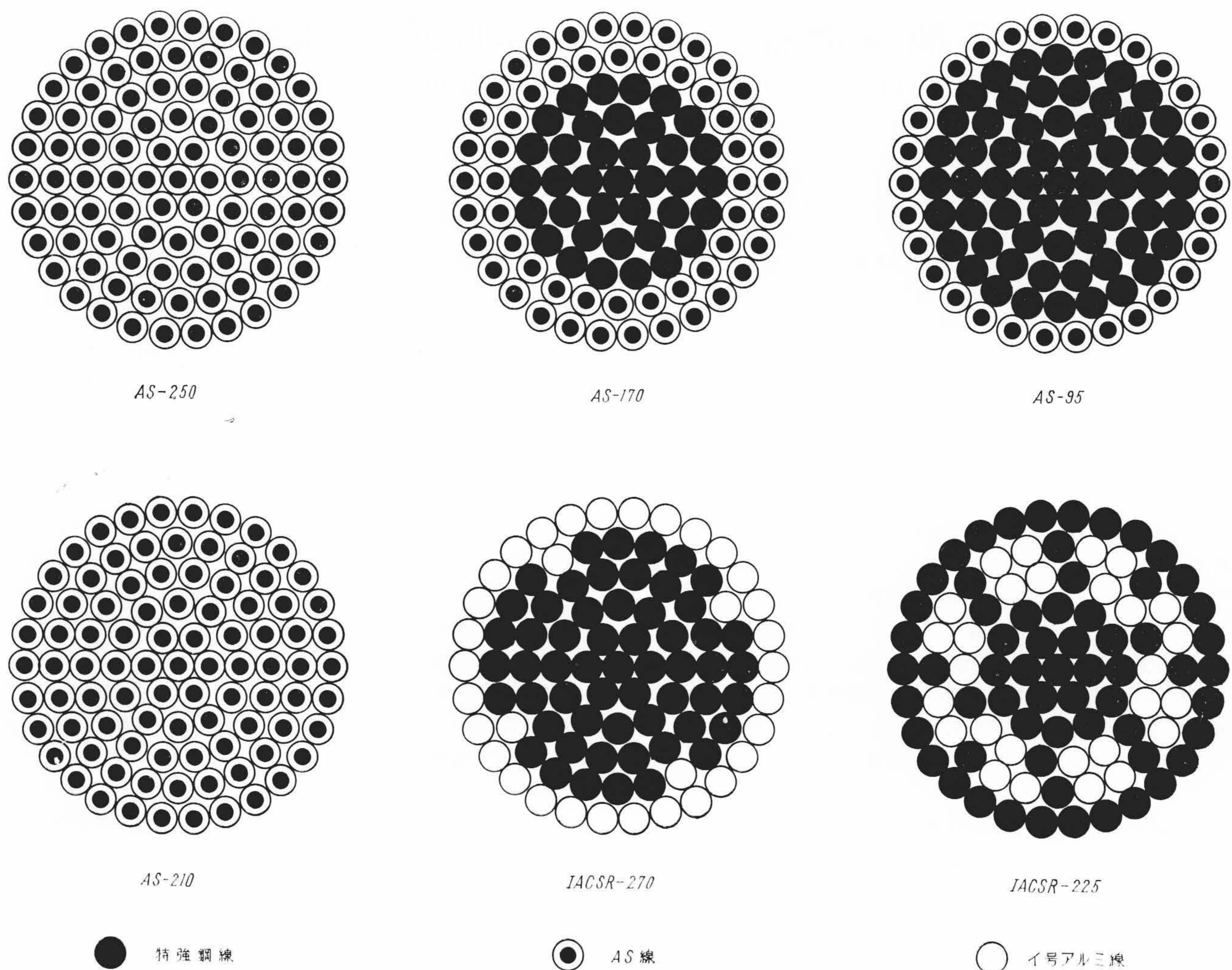
電流容量600 A、電線外径35.2 mmφから推定するとアルミ断面積200 mm²程度の電線が考えられる。残余部分の特強鋼線とすると引張荷重は80,000 kg以上になる。しかしこのような構成の電線では鋼線の占有率が大きいため通常ACSRでは無視している鋼線の磁気作用が現われる可能性がある。長径間用電線についての電流容量の問題は機械的特性を害しない範囲で電流を効果的に流しうるような電線構造を見出すことである。

第1表 試作した長径間用電線の性能表

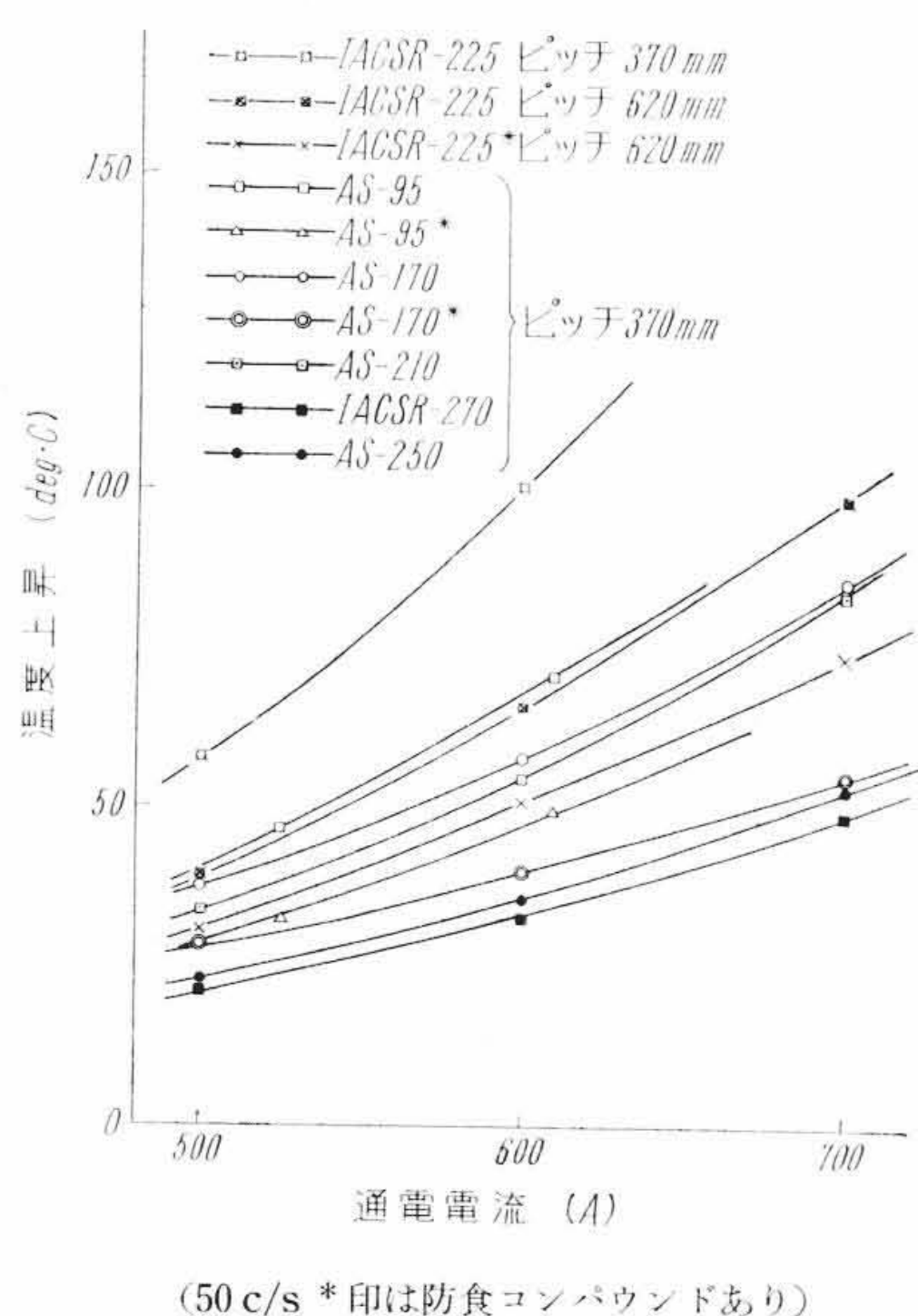
名 称	構 成	AS-250	AS-170	AS-95	AS-210	IACSR-270	IACSR-225	
		91/3.2(0.3)AS	54/3.2(0.35)AS +37/3.2 特 St	30/3.2(0.35)AS +61/3.2 特 St	91/3.2(0.25)AS	34/3.2 IAI +57/3.2 特 St	最外層ビッチ 620mm	最外層ビッチ 370mm
項 目	単 位						28/3.2 IAI	+63/3.2 特 St
外 径	mm	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	
計算断面積	アルミ	248.7	169.2	94.0	210.8	273.4	225.2	
	鋼	483.1	562.6	637.8	521.0	458.4	506.6	
引 張 荷 重	kg	84,200	93,700	104,700	87,600	82,130	88,500	
概 算 重 量	kg/km	4,814	5,188	5,620	4,772	4,611	—	4,855
直 流 抵 抗 (20°C)	Ω/km	0.0934	0.120	0.164	0.104	0.0995	—	0.112
電 流 容 量 (60c/s)	A	680	645	580	654	700	575	515

電流容量は周囲温度40°C、温度上昇50°C、日射0.1 W/cm²、風速0.5 m/s、熱放散係数0.9として求めた。
3.2(0.3)ASは外径3.2 mmφ、アルミ被厚さ0.3 mmのAS線を示す。

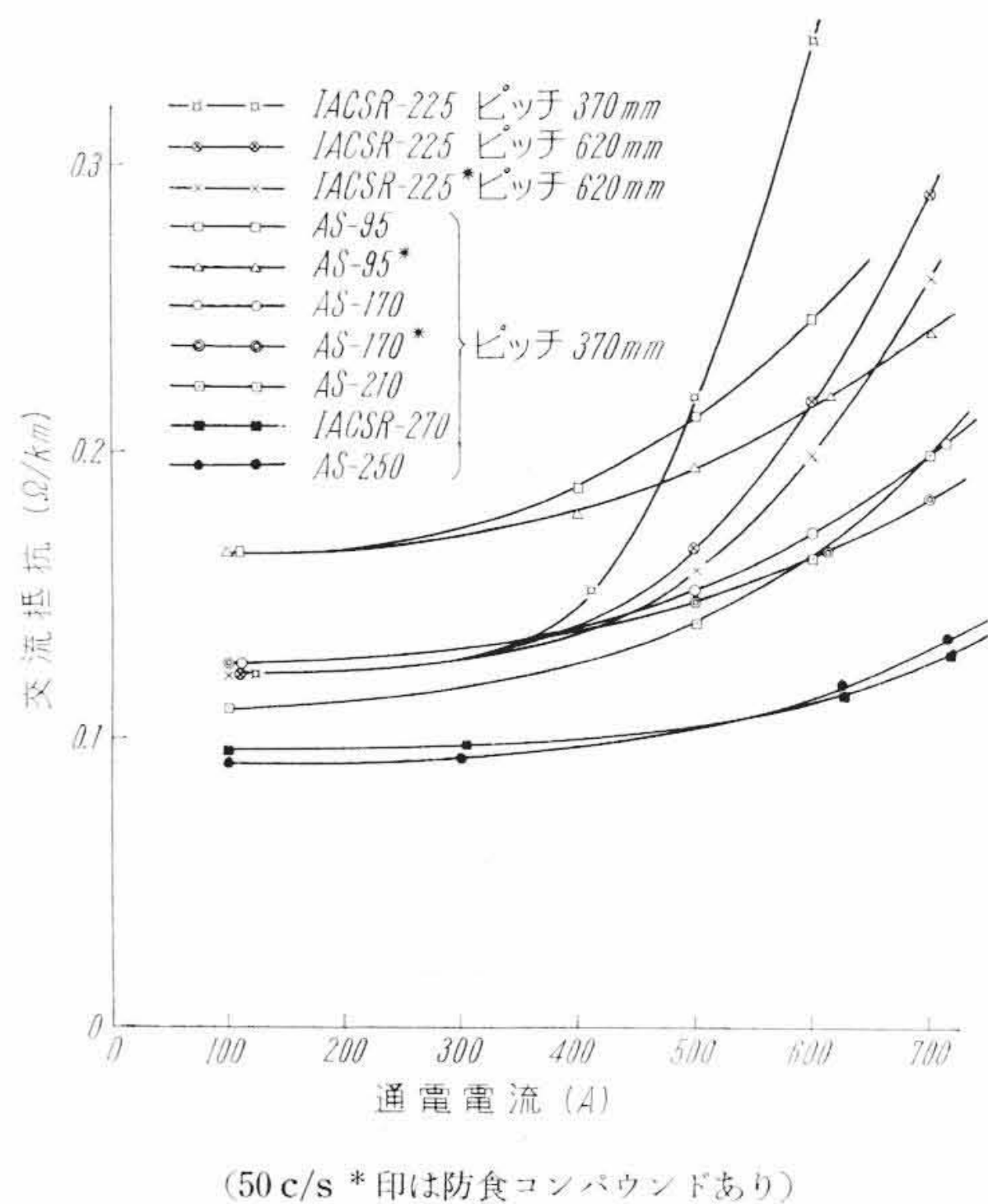
* 日立電線株式会社電線工場



第1図 試作した長径間用電線の断面図



第2図 試作した長径間用電線の温度上昇特性



第3図 試作した長径間用電線の交流抵抗

2.1 通 電 試 験

第1表、第1図に示す電線について通電試験を行なった。上述のように鉄損により交流抵抗の増加が予測されるので温度上昇、交流抵抗の測定を行なった。

温度上昇の測定結果を第2図、交流抵抗の測定結果を第3図に示す。これらの測定値に従って電流容量を求めると第1表のようにな

る。

2.2 結 果 の 検 討

第2図によると鋼線を外層に配置した IACSR 225 では特に交流抵抗の増加が大きく従って温度上昇も大きい。電流を効果的に通すためには導体部分を外側にしたACSRと類似した構造がよい。また導体部分であるアルミ (AS 線) を外層に多く配置した AS-170

では AS-210 より交流抵抗増加率が小さく電流容量がほぼ等しい。
AS-170, AS-210, AS-250 では外層が AS 線であるため機械的特性
と電流特性とを両立させることができる。

3. 常時使用張力の検討

常時使用張力の許容限界値の大小は長径間用電線の良否を決定する
有力因子である。一般の送電線についてもこの問題は重要であり
CIGRÉ で世界各地で用いている送電線について統計的調査をした
結果によると ACSR はダンパ、アーモロッドを用いて架線された場
合引張荷重の 24% の常時使用張力で架線することができるとい
う⁽¹⁾。

第 1 表、第 1 図に示した長径間用電線では通常の ACSR と異なり
アルミの断面積が少ないので ACSR の常時使用張力にならって架線
することは不安であり十分な検討が必要である。特にアルミの応力
分担、振動に対する疲労特性などの面から総合的に検討しなければ
ならない。

3.1 アルミの応力分担の理論的解析

第 1 表、第 1 図に示した各電線に常時使用張力を 20~25 t と仮定
し弾性的な応力分担の式によってアルミの応力を計算するといずれ
も 10 kg/mm² 以上の応力となり通常の ACSR の場合の 2~3 倍の
値となる。この結果からすると長径間用電線で常時使用張力を決定
することには大きな問題点があることがわかる。

実験によると硬アルミ線の SS 曲線は 8 kg/mm² 前後の応力から
大きく傾斜し、直線とかなり異なっている。またクリープ現象もか
なり低い応力から観測されている。これらの事実から考察すると最
初電線に張力が加えられるとアルミに応力が加わるがアルミにク
リープが発生するため応力が緩和していくことが考えられる。この
アルミの応力の時間的変化を理論的に計算すると次のようになる⁽²⁾。

電線のより合わせられていることによる効果を無視しアルミ断面
積 A_a 、鋼断面積 A_s 、アルミ弾性係数 E_a 、鋼弾性係数 E_s とする。ア
ルミに応力 σ_a が加わったときのアルミのクリープ速度を $\Psi_a(\sigma_a)$ 、
鋼に応力 σ_s が加わったときの鋼のクリープ速度を $\Psi_s(\sigma_s)$ とする。
鋼線が応力 σ_s 、アルミが応力 σ_a であれば電線張力 T は

$$T \equiv \sigma_a A_a + \sigma_s A_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

である。このとき外部に観測される電線のクリープを dt 時間中に ε
であるとすると鋼線のクリープを無視した場合

$$-\{\Psi_a(\sigma_a)dt - \varepsilon\}E_a \quad \dots\dots\dots (2)$$

はアルミのクリープによる弾性的応力の変化を示している。それゆ
えアルミ全体の受けもっている張力の変化は

$$-\{\Psi_a(\sigma_a)dt - \varepsilon\}E_a A_a \quad \dots\dots\dots (3)$$

である。電線張力の変化がなければこの張力は鋼線に移ったこと
になる。鋼線に張力が移ったことによって鋼に弾性的な伸びが起こ
ったとすれば

$$\frac{\{\Psi_a(\sigma_a)dt - \varepsilon\}E_a A_a}{E_s A_s} = \varepsilon \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。ゆえに

$$\frac{E_a A_s \Psi_a(\sigma_a)dt}{E_s A_s} = \varepsilon \left(1 + \frac{E_a A_a}{E_s A_s}\right)$$

$$\varepsilon = \frac{\Psi_a(\sigma_a)dt}{1 + \frac{E_a A_a}{E_s A_s}} \times \frac{E_a A_a}{E_s A_s} = \frac{\{\Psi_a(\sigma_a)dt - \varepsilon\}E_a A_a}{E_s A_s}$$

$$\{\Psi_a(\sigma_a)dt - \varepsilon\}E_a = \frac{E_a \Psi_a(\sigma_a)dt}{1 + \frac{E_a A_a}{E_s A_s}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

によってアルミの応力緩和を計算できる。 dt 時間中の鋼のクリープ
を考えると (1)~(5) 式と同様にして

$$\frac{A_s}{A_a} \times \frac{E_s \Psi_s(\sigma_s)dt}{1 + \frac{E_s A_s}{E_a A_a}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

が得られる。アルミの応力変化は

$$\sigma_a(t) = \sigma_0 + \int_0^t \left[\frac{E_s A_s \Psi_s(\sigma_s)}{A_a \left(1 + \frac{E_s A_s}{E_a A_a}\right)} - \frac{E_a \Psi_a(\sigma_a)}{1 + \frac{E_a A_a}{E_s A_s}} \right] dt \quad \dots\dots\dots (7)$$

として計算される。(7) 式によると鋼に対してアルミの断面積が大
きい場合には応力の減少速度が小さく、アルミの断面積が小さい場
合には応力緩和が早い。また応力緩和が終結するときの鋼、アルミ
の応力は

$$\frac{E_s A_s \Psi_s(\sigma_s)}{A_a \left(1 + \frac{E_s A_s}{E_a A_a}\right)} - \frac{E_a \Psi_a(\sigma_a)}{1 + \frac{E_a A_a}{E_s A_s}} = 0$$

すなわち

$$\left. \begin{aligned} \Psi_s(\sigma_s) &= \Psi_a(\sigma_a) \\ T &\equiv \sigma_s A_s + \sigma_a A_a \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

となるような応力である。約 1,000 時間内にアルミについて観測さ
れる最小クリープ速度を用い (7) 式によって応力緩和を計算すると
第 4 図のようになる。実際には応力印加直後過渡的に現われる急速
なクリープによって応力緩和が短時間で進行する。

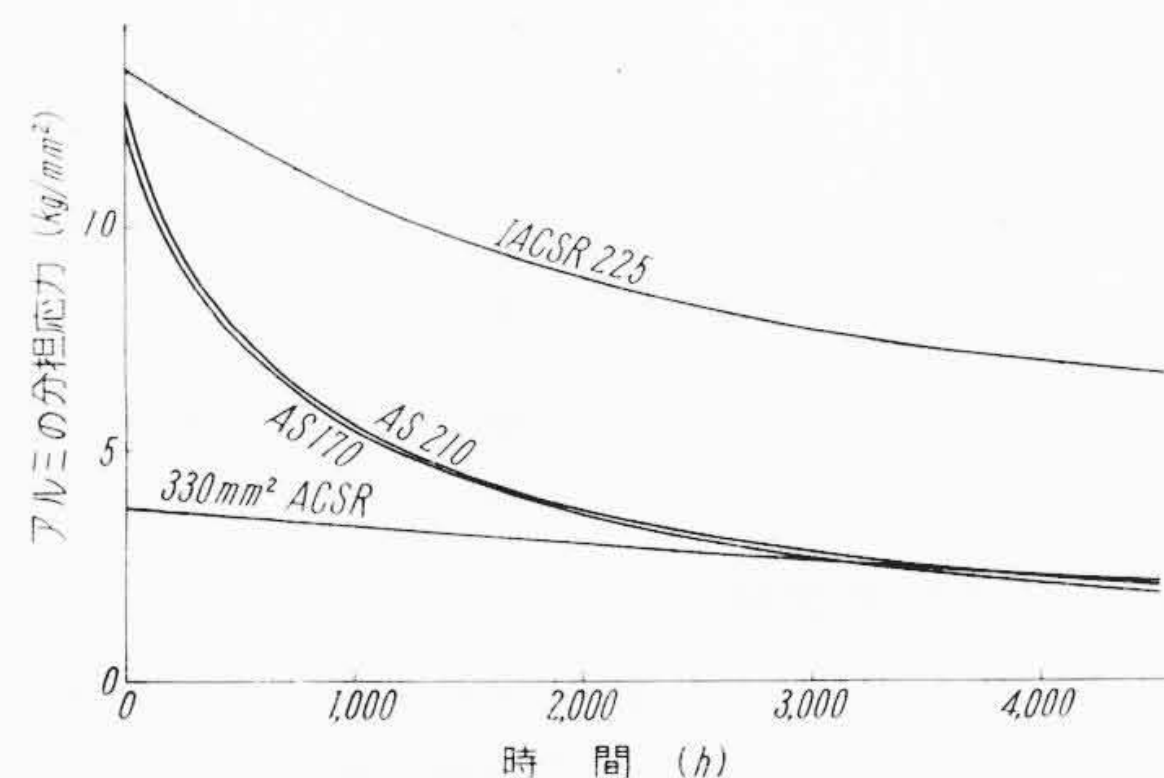
3.2 応力緩和の実測

AS 線について上述のような解析を行なったが過渡的なクリープ
によって応力緩和がどの程度の速さで進行するかを求めることは困
難である。実際に応力緩和に必要な時間を知るため曲げ応力につ
いて応力緩和を実測した。

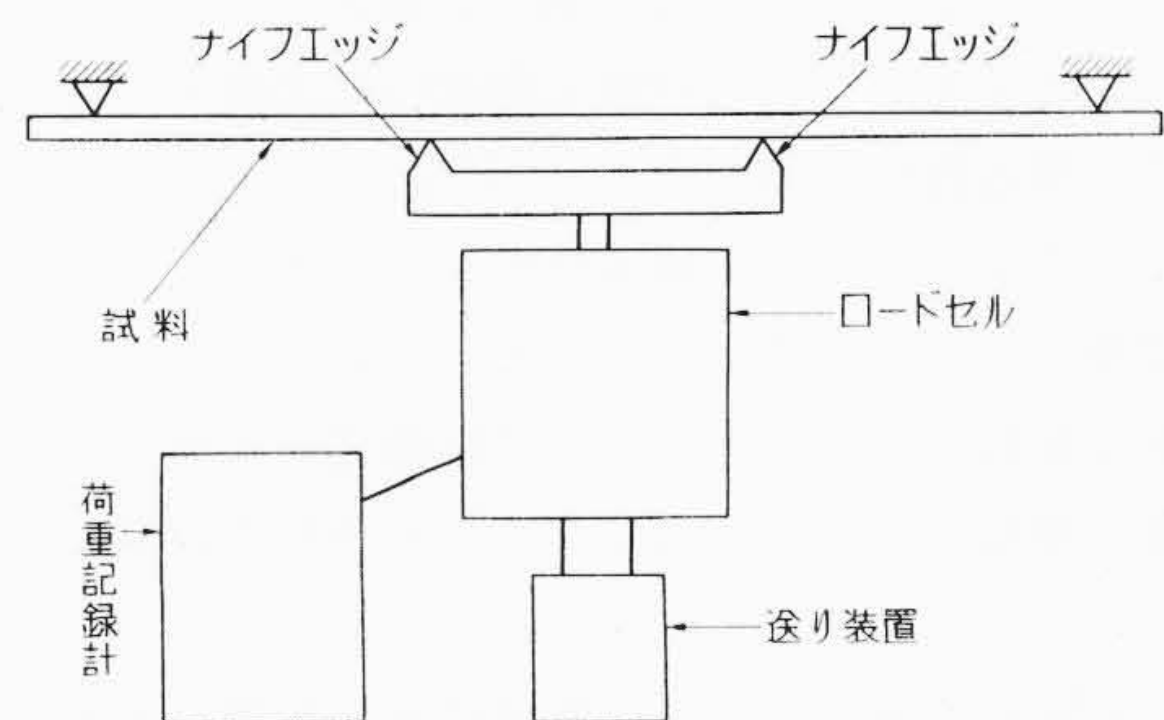
第 5 図にその方法を示す。送り装置によって試料に曲げを与え
る。AS 線の曲げに対する反発力は最初は鋼とアルミに生じた応力
によるものとして考えられるがアルミの応力が緩和すると鋼線だけ
の反発力に近づく。

実験結果の一例を第 6 図に示す。AS 線の場合ロードセルの荷重
は約 20 時間でかなりの低下を示している。

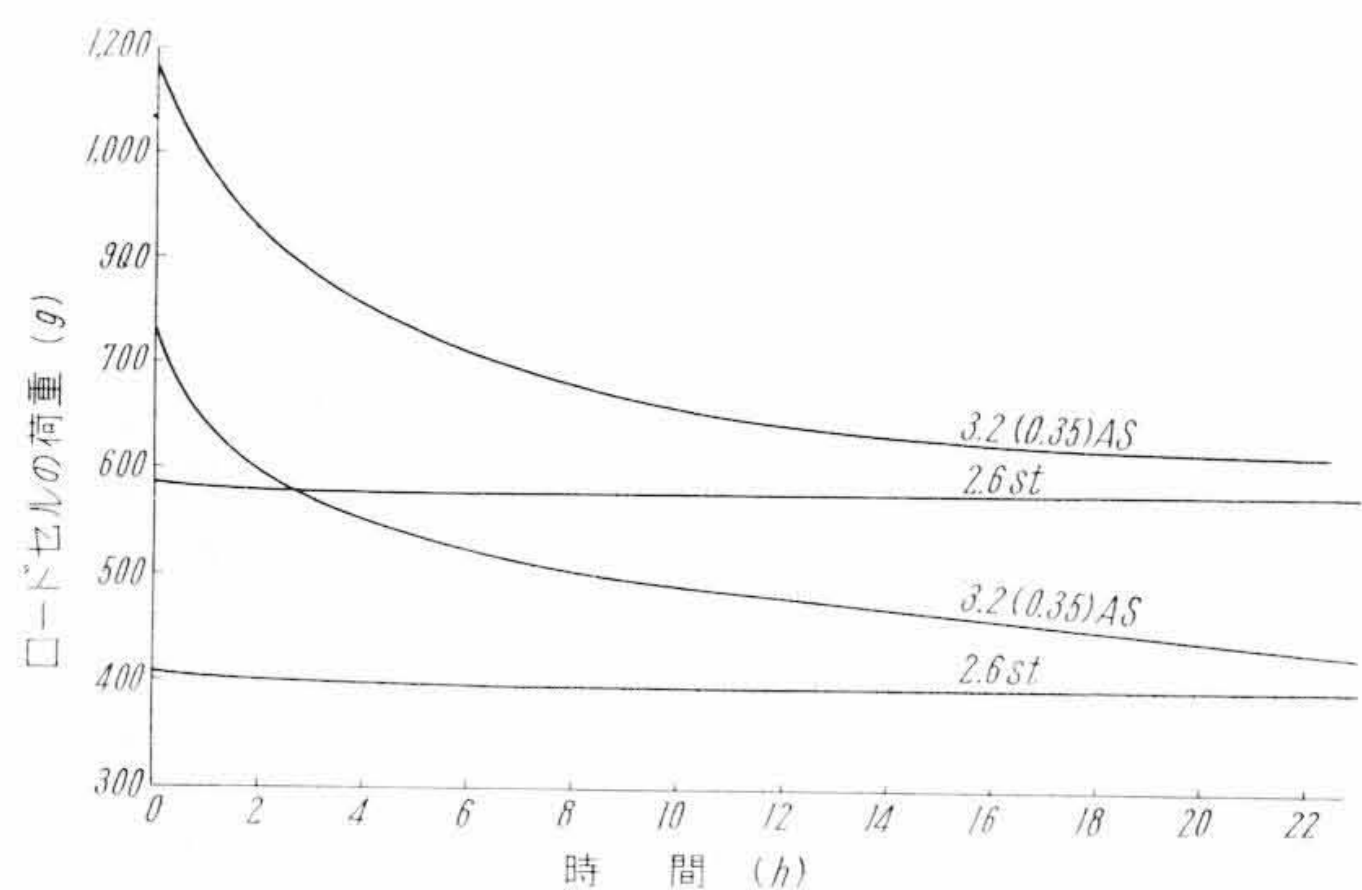
第 4 図、第 6 図からアルミの応力は架線後時間がたつと低下し通
常の ACSR と同等の応力に達すると考えられる。



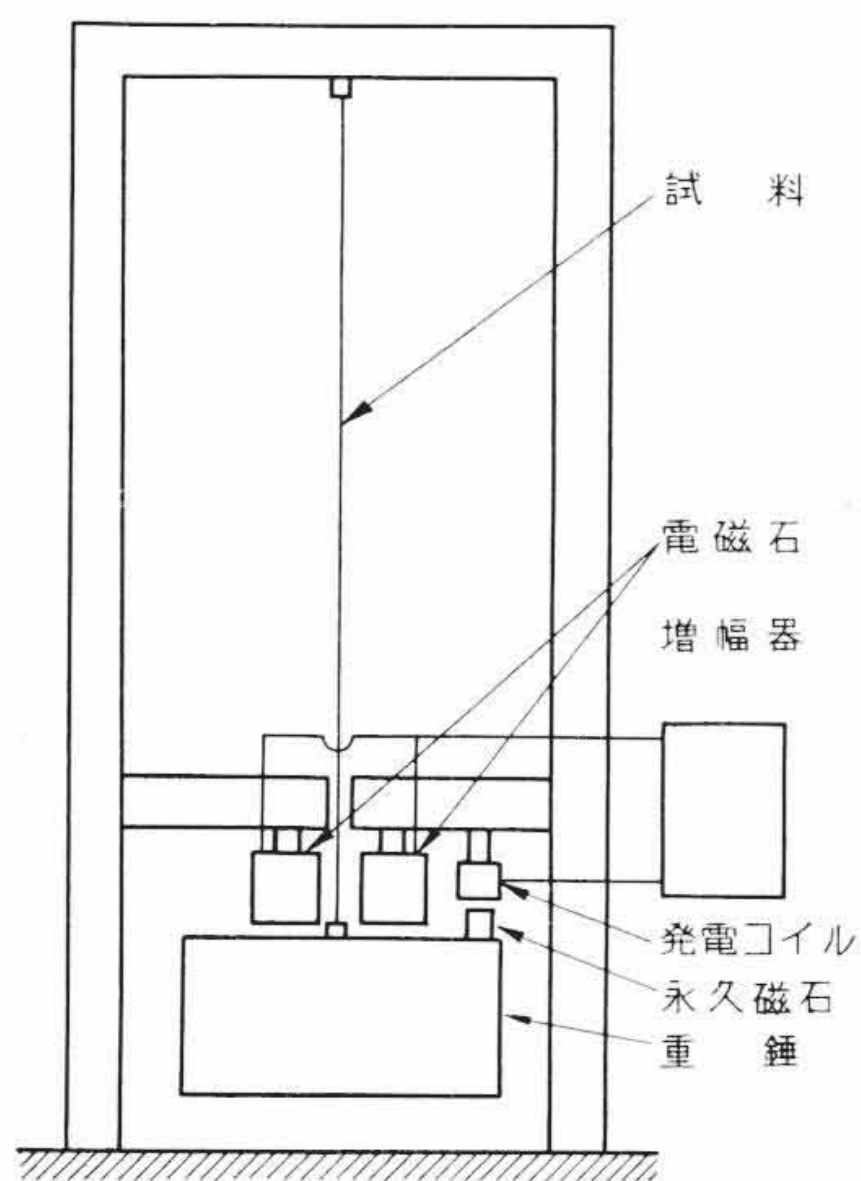
第 4 図 アルミの分担応力の時間的変化



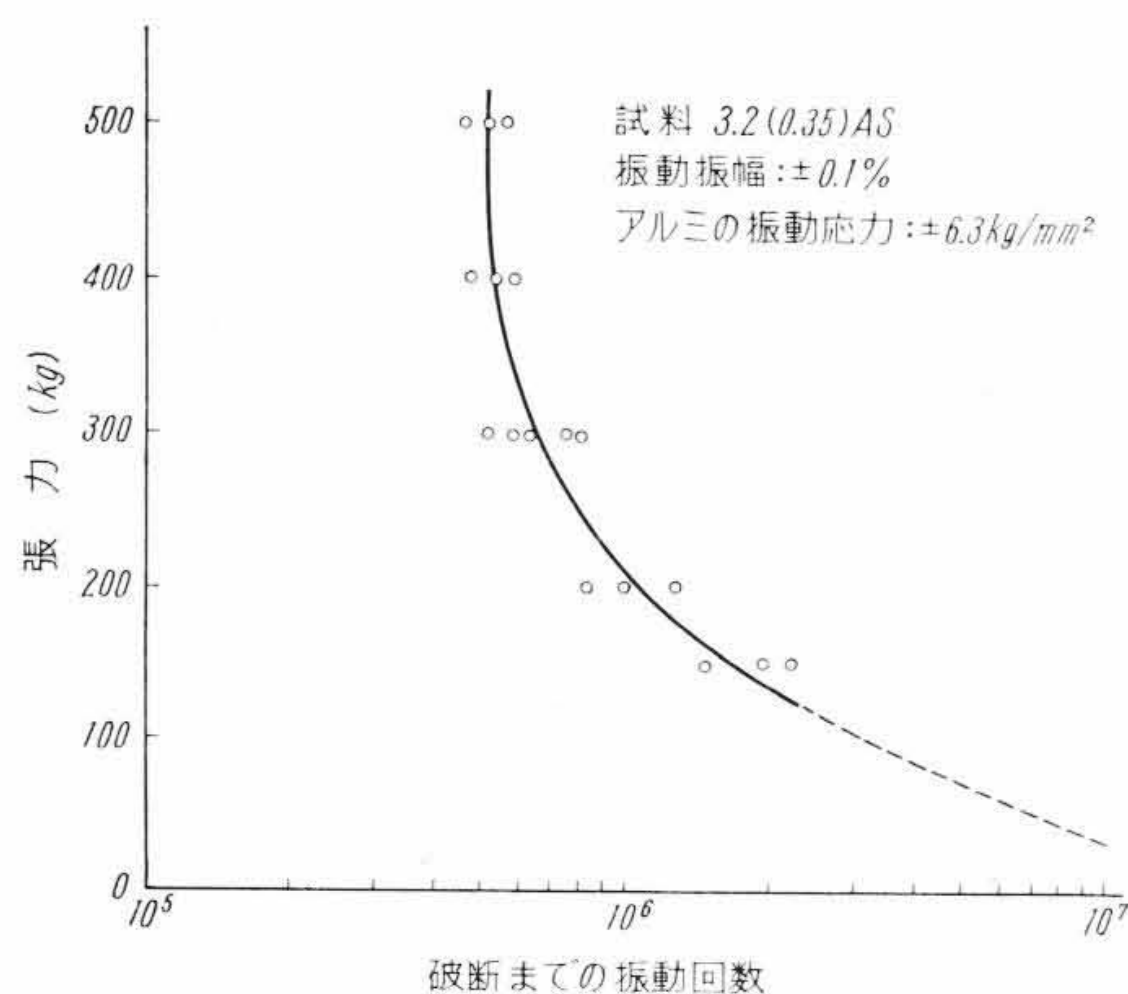
第 5 図 アルミの応力緩和の実験装置



第 6 図 曲げに対する反発力の測定結果



第 7 図 張力下での疲労試験装置



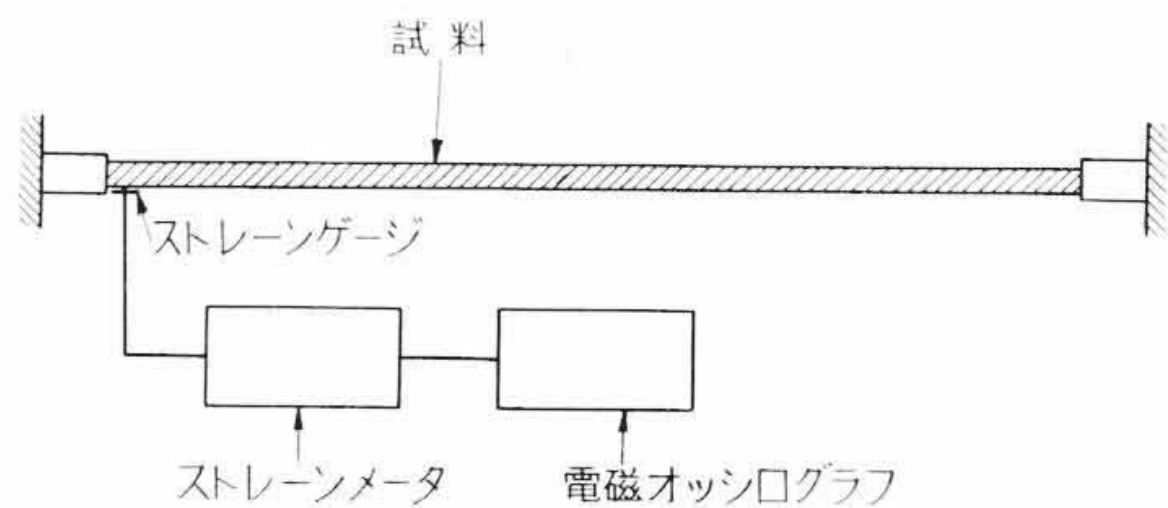
第 8 図 張力下での素線の疲労試験結果

3.3 張力下での疲労試験

上述したようにアルミの応力緩和現象があるが常時使用張力を決定するうえでは張力下での疲労強度の測定が必要である。しかし第 1 表、第 1 図に示したような電線に実際の張力を与えて振動疲労実験を行なうことはかなり大きな設備を必要とする。それゆえ AS 線の素線について張力下で疲労試験を行ない応力緩和を確かめ架線時の疲労強度の推定資料を得た⁽³⁾。

第 7 図に張力下での疲労試験方法を示す。重錘によって試料に張力を与え重錘を上下方向に振動させる。重錘には永久磁石が取り付けられており振動により発電コイルに振動電圧を発生する。振動電圧は増幅器で増幅されて電磁石に与えられ振動を持続させるようになっている。

第 8 図に実験結果を示す。振動振幅は試料長の $\pm 0.1\%$ とした。それゆえ AS 線の表面上のアルミには $\pm 6.3 \text{ kg/mm}^2$ の振動応力が



第 9 図 より線の減衰定数測定方法

第 2 表 素線の減衰特性の比較

線 種	構 造	振動数 (c/s)	減 衰 定 数	比 率 (%)
A S 線(アルミ被鋼線)	3.2(0.25)AS	31.6	1.10×10^{-2}	230
I A S 線(イ号アルミ被鋼線)	3.2(0.3)IAS	30.7	0.71×10^{-2}	145
鋼 線	3.2St	35.2	0.48×10^{-2}	100

加わり瞬間的な AS 線の張力は重錘の重量を平均値として $\pm 123 \text{ kg}$ 変化していることになる。

弾性的な応力分担の計算式で求めたアルミの応力を基礎としてグッドマンの方式によって疲労張度を求めると第 8 図の各測定点は大きく疲労限を逸脱している。第 8 図からもアルミの応力緩和が推定されまた高張力時の疲労特性が測定された。

3.4 振 動 特 性

電線の振動疲労は振動発生ひん度に左右される。振動発生ひん度は送電線の立地条件、電線種類と架線張力に影響されると考えられる。特に電線の振動吸収特性は構成材料の金属固有の性質によってかなりの差異がある。一例として素線の片端を固定し他端に自由振動を与えた場合について減衰定数を求めると第 2 表のようになる⁽⁴⁾。ここで減衰定数は次式によって示される。

$$K = \frac{\log_e \left(\frac{a_1}{a_2} \right)}{n} \dots\dots\dots (9)$$

ここで K : 1 サイクル当りの減衰定数

a_1, a_2 : 異なった時刻での最大振幅

n : 振幅が a_1 から a_2 になるまでの振動サイクル数

である。

新種の電線について常時使用張力を決定する場合には振動発生の難易について検討することが必要である。現状では振動発生の原因についてかなりの解明がなされているが風速、風向などの物理的条件と電線の振動特性から正確な振動振幅や電線に加わるひずみを算出することはできない。しかし鋼線、ACSR、イ号アルミ線などについては多くの実用経験があり常時使用張力の最大許容値についてもかなり明確となっている。それゆえ新種の電線について振動減衰特性、疲労特性を従来から用いられている電線と比較すれば新種の電線についての常時張力を推定できる。

振動減衰特性の測定はできるだけ架線状態に近い方法で測定することが好ましい。その測定方法を第 9 図に示す。試料に張力を与え支持点から 15 mm の点の振動ひずみが $\pm 0.01\%$ 程度となるような振動を与える。加振力を取去ると電線が減衰振動をする。オシログラムの波形から(9)式によって K を算出する。

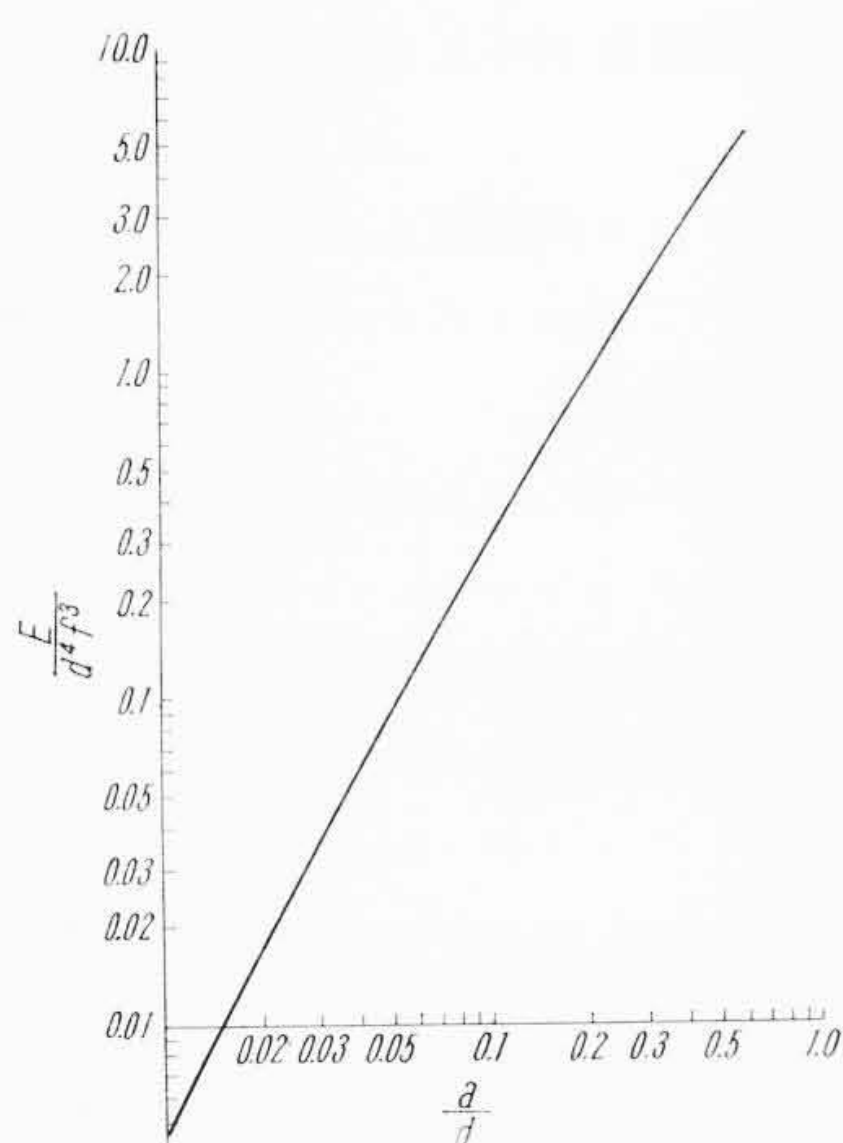
測定結果を第 3 表に示す。15 c/s 以上では減衰定数が増大するようであるが試験設備の振動吸収ということが考えられるので 15 c/s 以下の値を示した。15 c/s 以下では K は一定している。また張力が大きくなると減衰定数は小さくなる傾向がある。

3.5 振動振幅の推定

減衰定数から電線が振動中内部で消費するエネルギーを求めることができる。このエネルギーと風が電線に与える加振エネルギーとが等しくなるような条件を求めると次のようになる。

第3表 各種より線の減衰定数比較

線 種	張力 (kg)	減 衰 定 数	$\frac{WK}{d^2}$ (kg/m ³)
240 mm ² ACSR	1,600	$(0.38 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	8.4
	1,800	$(0.33 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	7.3
	2,500	$(0.29 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	6.4
AS-170	18,000	$(0.43 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	17.9
	23,000	$(0.38 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	15.9
	25,000	$(0.32 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	13.4
AS-210	16,000	$(0.50 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	19.2
	20,000	$(0.43 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	16.5
	25,000	$(0.35 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	13.5
IACSR-225	19,000	$(0.26 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	9.8
	23,000	$(0.20 \pm 0.07) \times 10^{-2}$	7.5



第10図 風が電線に与える振動エネルギー

定常波振動が減衰する場合について電線の単位長さが消費するエネルギーの全径間についての平均値は次式で与えられる。

$$\frac{\pi^2}{2} \times Wa^2 f^3 K \dots \dots \dots (10)$$

ここで W : 電線の単位長重量 (kg・s²/m²)
 a : 振動全振幅 (m)
 f : 周 波 数 (s⁻¹)

である。風が電線に与える加振エネルギーを電線単位長さについて毎秒 E (kg・s⁻¹) とすれば

$$E = \frac{\pi^2}{2} \times Wa^2 f^3 K \dots \dots \dots (11)$$

となる。導体外径を d (m) として(11)式を変換すると

$$\frac{E}{d^4 f^3} = \frac{\pi^2}{2} \times \frac{WK}{d^2} \left(\frac{a}{d} \right)^2 \dots \dots \dots (12)$$

となる。 E は電線に対する風の当り方でかなり微妙な変化があるように感じられるが F. B. Farquharson 氏らの風洞による実験⁽⁵⁾と J. S. Tompkins 氏らの研究を引用すると⁽⁶⁾ (12)式左辺は第10図のようになる。それゆえ各種電線についての振動難易の尺度として(12)式中の

$$\frac{WK}{d^2} = \xi$$

を比較することが考えられる。各種電線について測定された K の値から ξ を求めると第3表に示すようになる。AS-170, AS-210, IACSR 225は ACSR に比して振動発生の可能性が少ないと予測される。

3.6 アルミの熱的応力

長径間送電線では温度変化による架線張力の変化は少ない。それ

ゆえ定張力下で全振幅 150 度程度の熱サイクルを考える。AS 線の線膨脹係数の実測結果では鋼線に近い値が得られている。アルミに熱的に発生する弾性ひずみは

$$(23.0 - 11.6) \times 10^{-6} \times 150 = 1.71 \times 10^{-4}$$

となる。これを弾性応力に換算すると 10.8 kg/mm² となる。それゆえ 150 度の熱サイクルを受けた場合全振幅 10.8 kg の応力サイクルをアルミが受けることになる。第8図によるとひずみの全振幅 0.2%, 応力全振幅 12.6 kg/mm² に相当する実験結果を知ることができる。150 度にわたるヒートサイクルが発生すると予想される回数と第8図の結果を比較すれば AS 線は十分な寿命があると思われる。AS 線の素線についてヒートサイクル試験を行なったが異常は認められなかった⁽⁴⁾。

4. 常時使用張力の決定

アルミの応力分担の検討と各種の実験結果を総合すると常時使用張力は ACSR と対比しながら検討し決定するのが適当と思われる。その理由は次の2点に集約される。

- (1) アルミの応力が緩和する。AS-170, AS-210 では ACSR に近い応力となる。しかも緩和に必要な時間は比較的短い。
- (2) 振動発生の可能性は ACSR に比較して多くはない。むしろ少ないと予測される。

常時使用張力を決定するためには架線状態での ACSR と疲労強度が同等となるような張力を求め、その張力を目安とすることがよいと考えられる。

4.1 ACSR との疲労強度比較

通常の ACSR でアルミ線の引張強さを 16.8 kg/mm², 架線時のアルミの分担応力を 4.0 kg/mm² とするとグッドマンの方法により張力印加による疲労限の低下率は

$$\left(1 - \frac{4.0}{16.8} \right) = 0.76$$

となる。アルミの分担応力 4.6 kg/mm² のとき ± 6.3 kg/mm² の振動応力が加わった場合の振動繰返し数を求めると無張力時に振動応力が $\pm 6.3 \div 0.76 = \pm 8.3$ (kg/mm²) だけ加わった場合の振動繰返し数に相当することがわかる。硬アルミ線について実験したところでは約 8×10^5 回である。

第8図は張力状態でアルミの応力振幅が ± 6.3 kg/mm² の場合の実験結果である。それゆえ第8図で繰返し数 8×10^5 回となるような AS 線の張力が上述の場合の ACSR と同等の疲労強度となる点とみなされる。第8図によると 250 kg である。AS 線の各素線が 250 kg の張力となる場合を算出すると

AS-170: 26,300 kg

AS-210: 22,750 kg*

長時間についてみればアルミの応力緩和の進行によって AS-170, AS-210 の差異は少なくなると考えられる。(8)式の条件となる応力をアルミ 3 kg/mm² (引張強さの 18%), 鋼 43 kg/mm² (引張強さの 24%) として張力を計算すると

AS-170: 24,700 kg

AS-210: 23,000 kg

である。

330 mm² ACSR について常時使用張力の許容限界値を引張荷重の 24% とすると 2,620 kg となる。この場合アルミの応力緩和を考えて分担応力 3 kg/mm² とすると鋼線の分担応力 31 kg/mm² (鋼線の引張強さ 130 kg/mm² として 24% の応力) となり非常に類似性

* 第8図の実験は外径 3.2 mm, アルミ厚さ 0.35 mm のものであるから AS-210 の場合若干の差異が予想される。0.25 mm の厚さの場合疲労特性が向上することが考えられる。

を見出すことができる*。

4.2 常時使用張力についての結論

上述した諸検討結果を総合して常時使用張力を推定すると次のようになる。各種の実験には誤差が伴うから 1 t 以下の端数は正確とはいえない。それゆえ

AS-170: 約 25,000 kg

AS-210: 約 23,000 kg

とする。使用条件としてはダンパ、アーマロッドを用いること、長径間に用いる場合にはこれらの張力を支持点張力として考えるのが適当である。

5. 最大使用張力

最大使用張力は電線に欠陥を生じない範囲の最大張力で常時張力から最大使用張力までの張力変化がある程度繰り返され、またある程度の時間その張力に保たれても支障ないことが必要である。

5.1 素線についての基礎実験

第 7 図に示した方法で 3.2 mm ϕ 特強亜鉛鍍鋼線について実験を行なった。その結果では平均張力 600 kg で $\pm 0.1\%$ ひずみを与えた場合でも 5×10^6 回以上の寿命があることがわかった。 $\pm 0.1\%$ のひずみを与えるためには 3.2 mm ϕ 特強亜鉛鍍鋼線の場合 ± 170 kg, 全振幅 340 kg の張力変化が与えられていることになる。またこの試験中に生じた永久伸びは 0.03% であった。

AS 線についての実験結果は第 8 図に示すとおりである。 $\pm 0.1\%$ のひずみを与えるための張力変化は全振幅で 240 kg である。試験中の永久伸びは 0.035% 以下である。これらの実験によると各素線は大きな張力サイクルに耐えることがわかる。

5.2 最大使用張力の決定

上述の結果による AS-170, AS-210 の各素線は全振幅 0.2% の伸縮を生ずるような張力変化に対して十分な寿命をもっていることがわかる。より線について考えるとこれは常時使用張力より少なくとも 20 t 以上高い張力までの張力サイクルに耐えるということを示している。それゆえ最大使用張力は常時使用張力より約 20,000 kg 高い張力とすることができる。

6. そのほかの諸特性

以上に電流容量、常時使用張力、最大使用張力に関する検討結果を述べたが耐食性などについて検討する。

6.1 耐 食 性

AS-250 の金車通過前と通過後のものについて食塩水ふん霧試験 (アメリカの Fed, Spec. QQ-M-1 SIa 法) を行なった。1 年 3 箇月の試験の後電線を解体して素線の特性を調査した。

AS-250 の各層の素線について引張荷重、伸び、電気抵抗、捻(ねん)回値を測定したが大きな変化はなかった。またアルミ層のはく離、鋼線の露出、さびの発生はまったく認められなかった。

この実験からすると AS-250 と類似構造の AS-210 でも同様であると推定される。AS-170 は中心部が亜鉛メッキ線であるため耐食性は劣ると考えられる。しかし構造は ACSR と同様であるため耐食性は ACSR と同等と考えられる。また防食コンパウンドを使用した場合についても ACSR と対比して考えてよい。

イ号アルミ線はアルミ線に比較して耐食性は劣る。特に張力下で腐食を受けた場合は腐食が速くなると考えられる。

イ号アルミ線は析出硬化によって強度を付与した合金線である。長径間送電線では電線を電流容量の限界値近くで用いるためイ号アルミ線はかなり高い温度に長時間さらされることになる。この場合イ号アルミ線では Mg_2Si の析出が進行し機械的特性、耐食性の劣化が起こる可能性がある⁽⁴⁾。この点は鋼線を外層に配置した IACSR-225 では電流容量の不足から温度上昇が大きいことと相まって重大な欠陥となる可能性がある。

7. 結 言

以上長径間用電線について各種検討した結果を要約すると次のようになる。

- (1) AS 線を応用した長径間用電線では機械的特性を失うことなくさらに大きな電流容量を確保できる。AS-250, AS-210, AS-170 はいずれも電流容量 600 A 以上で中国—四国連絡線用電線として適当である。
- (2) 鋼に対してアルミ断面積が小さい場合特に問題となるアルミの応力分担についてアルミのクリープ速度を考慮したまったく新しい理論的解析を試みた。
- (3) アルミのクリープによる応力緩和現象は実験的に確認された。
- (4) 長径間用電線の振動減衰特性について測定し ACSR と比較した。電線としての振動発生の可能性は ACSR より少ないと推定される。
- (5) 架線張力が加わったときの疲労強度が ACSR と同等となるような張力を求めた。また ACSR でアルミの応力 3 kg/mm² (引張強さの 18%), 鋼の応力 31 kg/mm² (引張強さの 24%) と仮定し、その分担応力を長径間送電線の場合に適合させると ACSR と張力時の疲労強度が同一になるようにして求めた張力と近い値になる。常時使用張力はアルミ応力 3 kg/mm² (引張強さの 18%) 鋼応力 43 kg/mm² (引張強さの 24%) として計算した張力である。
- (6) 最大使用張力は各素線の許容しうる張力サイクルから考えて常時使用張力より 20 t 程度高い値と考えられる。
- (7) AS 線の耐食性は良好である。イ号アルミ線は高温時 Mg_2Si の析出があり機械的強度の低下が考えられる。

ここに特筆すべきことは AS 線の工業的生産の成功であり、AS 線を応用することによって新しい方式の長径間用電線が生れたことである。

中国—四国連絡線の海峡部架線工事は昭和 36 年 11 月 4 日から開始され、大島—中渡島間用の電線として AS-170, 6 ドラムが日立電線株式会社から納入された。残る他の海峡横断部用電線の一部については日立電線より支給した AS 線により古河電工株式会社、住友電工株式会社でより線が行なわれた。

終わりにあたり本研究についてご指導、ご協力をいただいた電源開発株式会社、日立電線株式会社の関係各位にあつくお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) CSC 6-59-2. Revised report by the Panel on Report No. 3 (17 may 1958)
- (2) 星野: 昭 36 電四連大講演予稿, No. 881
- (3) 星野: 昭 36 電気学会東京支部大会講演予稿, No. 208
- (4) 山路, 柿崎, 川西: 日立評論, 別冊 43 号, 29 (昭 36-6)
- (5) F. B. Farquharson: AIEE Pt III, 75, 871~878 (Oct. 1956)
- (6) J. S. Tompkins: AIEE Pt III, 75, 879~896 (Oct. 1956)

* 鋼線の常時使用張力は引張荷重の 11~13% といわれているがアルミ線とより合わせられた ACSR では 24% の応力で使用されていることになる。ACSR では応力緩和を無視しても鋼線の応力は 13% をこえる。これはアルミの振動吸収作用によるものと考えられる。