3心アルミ被OFケーブルの二, 三の特性

Some Characteristics of 3 Core Aluminum Sheathed OF Cable

雄* 宏* 松 今 井 敏 Ш Ŧ Yoshihiro Matsuyama Toshio Imai 夫* 橫 秀 辺 靖 明* 渡 森 Yasuaki Watanabe Hideo Yokomori

梗 概 内 容

わが国におけるアルミ被電力ケーブルに対する関心はようやく高まり、各地で使用実績をみるに至った。 この報告においては、3心アルミ被 OF ケーブルの油流抵抗の計算方式、コルゲート形状についての問題点 および布設工事上の問題などについて述べる。

油流抵抗の計算についてはコルゲートの形状を算入する方法を開発し,計算値と実測値との比較を行なった。 コルゲートの形状についてはサイン形および OKD 形について種々の検討を試みた。また布設工事の問題につ いては、納入品の予備的検討結果と、実際の布設工事の記録について述べた。

言 1. 緒

アルミ被電力ケーブルは, 鉛被のケーブルに比べて, 種々の特長 を有しており、そのことは既報(1)されているが、日立電線株式会社 においてはその後八幡製鉄株式会社に 70 kV 3×250mm² OF ケープ ルを710m,日本国有鉄道に70 kV3×250 mm² OF ケーブルを4,792 m,同じく3×200 mm² OF ケーブルを 6,266 m, 東北電力株式会社 に 60kV 3×200 mm² OF ケーブルを 2,400 m 納入した。このように アルミ被電力ケーブルの有利性が急速に認められ広く使用される傾 向にあるが、シース材料としてのアルミは鉛と異なった特性をもっ ているため, 使用に際してはこれらの点をよく認識しておかねばな らない。筆者らはすでにいくつかの問題について報告してきた が(1)~(4), この報告においては, 上記の納入品をおもな対象として検 討した二,三の結果について述べる。 OF ケーブルでは通常シース外径が比較的大きくなるので、曲げ を容易にするためにコルゲートと称する波形ヒダ付けを施さねばな らない。このためケーブルの給油計算に必要とされる油流抵抗の計 算が,通常の解析的な方法では困難となる。筆者の1人はさきにこ の問題を2次元の問題として近似的に電子計算機で計算する方法を 提案したが、これではコルゲート形状の差に基づく油流抵抗の差を 計算できないという不便な点があった。そこで、この点を改良し、 立体格子を組んで3次元の問題としてこれを取り扱う方法を開発 し,その計算結果と実測値との対比を試みた。

有するケーブルについてはケーブルの軸方向に直角ないくつかの断 面で切り、これらの各断面における2次元の問題として各抵抗を求 め, 平均を求めるしか方法がなかったので, 正確さの点において改 良の余地が残されていた。

次にコルゲート形状について、これを変えた場合主として屈曲特 性がどのように変わるかということを検討し,最もよい特性をもち かつ作業性も良好な形状のものを得ることができた。

また従来アルミ被ケーブルの管路引入れ工事は, 鉛被ケーブルに 比較してむずかしい点があるのではないかとの意見もあったが、日 立電線において種々検討した側圧実験や,納入したケーブルの布設 工事の結果などにより、管路布設工事でも十分な安全性をもって可 能であることが明らかになった。

そこでこの点を改め、コルゲートの立体的形状を計算に取り入れ ることができるように、3次元の問題として取り扱う方法を開発し たので以下に述べる。

一般に油通路内の任意の点 P(x, y, z) における油流の速さのx, y, z方向の成分を u, v, w とすれば (1)式が成り立つことは前報(4) で述べた。

これを解けば油通路の各部分における油流の状況を求めることが できるが、油流抵抗を求めるために必要となるのはwである。した がって(1)の3式について考える。これを解くには境界内を立体的 な格子点に分けた場合の階差方程式を求めなければならない。

P(x, y, z)の近傍において定義された関数Fに対し(2)式が成り 立つ(5)。

 $F(x+h, y+k, z+l) = e^{\left(h\frac{\partial}{\partial x} + k\frac{\partial}{\partial y} + l\frac{\partial}{\partial z}\right)} F(x, y, z) \dots (2)$ (2)式を用いて(3)式を計算する。

F(x+h, y, z) + F(x-h, y, z) + F(x, y+h, z) + F(x, y-h, z)+F(x, y, z+h)+F(x, y, z-h)-6F(x, y, z)(3) また(2)式を用いて(4)式を計算する。

(1/4) [F(x+h, y+h, z) + F(x-h, y+h, z) + F(x+h, y-h, z)+F(x-h, y-h, z)+F(x, y+h, z+h)+F(x, y-h, z+h)+F(x, y+h, z-h)+F(x, y-h, z-h)+F(x+h, y, z+h)+F(x-h, y, z+h)+F(x+h, b, z-h)+F(x-h, y, z-h)

-12 F(x, y, z)].....(4)

2. 油流抵抗の計算

筆者の1人は3心アルミ被OFケーブルの油流抵抗が、ポアソン 方程式を解くことによって求められることを示した⁽⁴⁾。しかしこの 方法は問題を2次元に置き換えて計算するため、シースの外径が比 較的小さくコルゲートを必要としないケーブルに対しては正確に計 算することができるが,シース外径が比較的大きく,コルゲートを 日立電線株式会社日高工場

(3), (4)の右辺を展開し, (3)を便宜上 HF(x, y, z), (4)を XF(x, y, z) また $V^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ と書くことにすれば, (5) 式および(6)式を得る。

 $h^{2}\nabla^{2}F(x, y, z) = HF(x, y, z) + 0(h^{4})$ (5) $h^2 \nabla^2 F(x, y, z) = XF(x, y, z) + 0(h^4)$ (6) ただし0(h4) はh4 オーダの誤差であることを示す。



ミ被 OF ケーブルである。このケーブルのシースのおもな形状寸法 を第2図に示す。これを 3.5 倍に拡大して、格子点間隔 0.5 cm の立 方格子に分解する。この場合の作図法は第3図に示すように、ケー ブルの軸方向に直角にとった基準面からのピッチに応じて、正弦波 状のコルゲート形状変化を追跡すればよい。

この場合ケーブル軸方向に直角な平面上における格子 302 点の数 は 302 個,平面の数は 21 個となるので,格子点の総数は 302×21= 6342個となる。この各点における流速を記憶しておき、この値が収れ んするまでリープマン法によって繰り返し計算を行なうのである。 プログラムを簡単にするために境界の形を計算機に記憶させてお き,ある平面上において境界から境界までの計算を行ない,各平面 上を順次にこの計算を繰り返す方法をとる。

境界条件の算入方法は次のとおりである。まず第3図におけるA B部分を近似的に図示のように、考える範囲内の点の値と等しいと 置き、また第3図CD部分では対称性を利用して一列上の格子点の 値と等しいものとする。

このようにして求められた各格子点におけるケーブル軸方向の流 速 W(I, J)から流量を求めるには、特定の面上において、すなわち Jを一定として各格子点における流速にその格子点の代表する面積 を乗じて加えればそのJにおける流量が求められる。Jを1から21 まで変えて同様の計算を行ない、Jに関して平均値を求めれば、ケ ーブルの流量が求まることになる。このような計算方法を用いて計

第3図格子点作図法

つぎに

K=8H+4X.....(7) と置くと、(8)式を得る。

この関係を図で示しておくと直観的にわかりやすい。第1図にこの様相を示す。

第1図または(8)式の関係を用いてリープマン法により格子点の

算した結果を示すと次のとおりである。

J=1 のとき流量 Q=0.294 (cm³/s) J=2 のとき流量 Q=0.31 (cm³/s) J=3 のとき流量 Q=0.33 (cm³/s) J=4 のとき流量 Q=0.352 (cm³/s) J=5 のとき流量 Q=0.38 (cm³/s) J=6 のとき流量 Q=0.429 (cm³/s) J=7 のとき流量 Q=0.479 (cm³/s) I=8 のとき流量 Q=0.503 (cm³/s) J=9 のとき流量 Q=0.52 (cm³/s) J=10のとき流量 Q=0.516 (cm³/s) J=11のとき流量 Q=0.496 (cm³/s) J=12のとき流量 Q=0.456 (cm³/s) J=13のとき流量 Q=0.416 (cm³/s) J=14 のとき流量 Q=0.379 (cm³/s) J=15 のとき流量 Q=0.347 (cm³/s) J=16のとき流量 Q=0.311 (cm³/s) J=17 のとき流量 Q=0.294 (cm³/s) J=18のとき流量 Q=0.279 (cm³/s) J=19のとき流量 Q=0.274 (cm³/s) J=20のとき流量 Q=0.269 (cm³/s) J=21のとき流量 Q=0.277 (cm³/s)

 $Q w. = 0.378 (cm^3/s)$

計算時間は約20分, 収れん計算の回数は150回である。この値を ケーブルとしての油流抵抗に書き直すと R_{cable}(20℃)=1.05×10⁻⁴ (gs/cm⁶) となる。この値をすでに発表した実測値⁽²⁾と比較すると, 実測値 0.919×10⁻⁴ (gs/cm⁶) に対し誤差約14% であり, 安全側の

 流速を求めることができる。しかしこの計算はきわめて多数の変数 とくり返し回数を必要とするので、筆算ではほとんど不可能に近い。
 したがって電子計算機の助けを必要とするが、立体的格子点を組む ため記憶装置の容量が大きくなければならない。日立製作所日立工
 場に設置されている IBM 7074 形電子計算機を用いて行なった計算
 値と実測値との比較を示すと次のとおりである。
 対象ケーブルは日本国有鉄道へ納入した 70 kV 3×250 mm² アル
 数値となっている。したがって給油計算のためには十分実用可能で あると思われる。
 この方法によれば、コルゲートの形状を計算に算入することがで きるので、既報の方法⁽²⁾よりも合理的であり、サイン形のコルゲートについても、あるいはまた扇
 形導体ケーブルの油流抵抗についてもこの方法によって計算するこ
 とができる。

1500 昭和 39年 9月

日立

評 論

第 46 巻 第 9 号

3. コルゲートアルミ被の特性例

緒言で述べたように日立電線株式会社が八幡製鉄株式会社,日本 国有鉄道および東北電力株式会社へ納入したケーブルについて,そ の構造,コルゲートアルミ被の形状,機械的性質,屈曲特性,曲げ 剛性および電気特性などについて検討した結果を報告する。

3.1 ケーブルの構造

ケーブルの構造を第1表に示す。屈曲特性をよくするためにシー スにコルゲートを施している。防食層としてはシース上に防食用ア スファルトコンパウンドを塗布し、その上に直接ポリエチレンを被 覆している。

3.2 アルミ被の機械的特性例

アルミ被の押出しにはシュレーマン社製2×1,600 t アルミプレス を用い,まずケーブルコア上に径で約16 mmのギャップをもった 平滑アルミ管を約500℃で直接押出しし,その後直ちに水冷して常 温でコルゲートダイスによりコルゲートを施してドラムに巻き取る いわゆる直接押出法によって,押出しとコルゲート作業を1工程で おこなった。使用したアルミビレットの純度は第2表に示すように 99.6%で,コルゲートの形状および特性例も第2表に示してある。

3.2.1 コルゲート形状

一般にコルゲート形状としては、山部および谷部の形状を等し くとったいわゆるサイン形と、Osnabrücker Kupfer und Draht



Werk で開発された OKD 形コルゲートとがある。筆者らはこれ らについて検討改良し,最も良好な特性をもつものとして OKD 形を基準とし,これを若干改良した形状のものを得ることができ た。第2表のコルゲート形状がこれであり,改良 OKD 形と呼ぶ

第1表 ケーブルの構造

項		目	単 位	八幡	国 鉄	国 鉄	東北電力
公 称	電	Æ	V	70,000	70,000	70,000	60,000
() ()	斤 面	積	mm ²	250	250	200	200
專 体 [9	ŀ	径	mm	$19.2 {\pm} 0.3$	$19.2{\pm}0.3$	17.0 ± 0.3	17.0 ± 0.3
絶	ķ	厚	mm	8.0	8.0	8.5	7.0
遮へい銅	テーう	ブ厚	mm	0.1	0.1	0.1	0.1
より合	世 外	径	mm	77.1	77.1	74.5	68
アルミ	被	厚	mm	2.2	2.2	2.1	2.0
防食コンパ	ミウン	下厚	mm	0.2	0.2	0.2	0.2
マイラー	テージ	プ厚	mm	0.02			0.02
防 食	層	厚	mm	3.5	3.5	3.5	3.5
概 算	外	径	mm	103	103	100	83
概算	重	量	kg/km	14,900	14,900	12,400	13,600

第2表 コルゲートアルミシースの性能

項	5 6		Н	特 性
7	ル	; 純	度	99.6% A
		形	式	O.K.D 形
		<u></u> ピッツ	チ (mm)	$25 \sim 30$
コルゲー	- ト形状	谷	径 (mm)	約 83 %
		IЦ	径 (mm)	約 93 🤞
		山の	幅 (mm)	12~18
		最	大 (mm)	2.8
アル	、 被 厚	最	小 (mm)	2.63
		苹	均 (mm)	2.7
硬	度	最	大 (HV)	32.5
(ビッカー	ス 5kg)	最	小 (HV)	29.6
屈曲による	最大ひずみ(ル	由径は山外径の	D 30 倍)(%)	1.8
屈 曲	特 性	クラックか での屈曲回	が認められるま 回数 (150)	14~15 回
.II 12	छम्म । । ।	高荷重	宜域(kg-cm ²)	0.122×10 ⁶
町の	刚性	低荷耳	i 域 (kg-cm ²)	2.84 \times 10 ⁶



ことにする。

3.2.2 コルゲートアルミ被の硬度, 肉厚について

改良 OKD 形シースと,比較のために試作したサイン形シース (改良 OKD 形と同一平滑パイプを用い,同一ピッチ,同一谷径で コルゲートを施したもの)の硬度と肉厚の変化を第4 図および第 5 図に示す。第4 図からわかるように,改良 OKD 形では肉厚は 谷部において増加し,硬度は加工を最も強くうける弯曲部および 谷部で大きくなっている。これを第5 図に示すサイン形と比較す ると平均のアルミ被厚さはサイン形の方が若干薄く,平均の硬度 はサイン形の方が高くなり,コルゲートの谷底で著しく硬度が高 くなっていることがわかる。

3.2.3 屈曲特性

コルゲートシースは平滑シースと異なり,屈曲した場合のひず みの分布が均一でないからその分布が耐疲労性に影響してくる。

このためコルゲート谷部にひずみゲージをはりつけて屈曲時のひ ずみを測定した。結果を第6図に示す。この図からわかるように 改良 OKD 形およびサイン形のいずれの場合にも最大ひずみの発 生個所は谷部であるが,平滑シースを同一倍率に屈曲した場合の ひずみに比較して40%以上低下しており,コルゲート加工を施す ことによって,屈曲時に発生するひずみを軽減できる。 次にアルミ被山部外径の15倍の屈曲径で屈曲試験を行なった

----- 86 -----

結果では、改良 OKD 形では 14~15回 (ケーブルを直線状からド ラム胴にU字形に曲げた場合を1回,元に戻して2回,反対方向 にU字形に曲げて3回というように数える)でコルゲートの弯曲 部と谷部の間よりき裂が発生しはじめるのに対し,サイン形では 11~12回で加工を最も強く受け硬度の最も高い谷の中央部より き裂が発生する。またき裂の成長の度合い,座屈の状態,外径お よびピッチの変化はサイン形の方が激しく,屈曲20回目で破断 寸前に至る。一方改良 OKD 形ではき裂は徐々に成長するが,屈 曲 20回では破断せず寸法の変化も小さい。これはサイン形では コルゲートの谷の中央部が著しく硬度が高く,この点が屈曲によ りさらに硬化するのに対し,改良 OKD 形では弯曲部から谷部に かけて硬度が平均化していることによるものと考えられる。

3.2.4 曲 げ 剛 性

ケーブルの製造および取り扱い,またマンホールの設計などに 際し,ケーブルの曲げやすさも重要な性質である。このためケー ブルの曲げ剛性を第7回に示すような装置によって測定した結果

第10図 移動量と各部のひずみ分布(内側)

をマンホール内に逃がすためオフセットをとる必要があるが, 従来鉛被ケーブルのオフセットの設計に使用されてきた C. A. Bauer の式をコルゲートアルミ被ケーブルにも適用できるかどう かということが問題である。これを検討するため,八幡製鉄株式 会社納めのケーブルを試料として, 第9図に示すようなマンホー ル試験材を用いて両端の移動量と最大ひずみを発生すると考えら れるコルゲート谷部の長さ方向のひずみとの関係を求めた。ひず みゲージはケーブルの曲り部分の内側および外側にはりつけ,曲 げ速度は1分間2サイクル,両端の移動量は±10 mm および20 mm とした。またオフセットの寸法は第9図に示すとおりである。

試験結果は**第10**図および**第11**図に示すとおりであり,発生す る最大ひずみは両端の移動量が±10 mm および±20 mm の場合 にはいずれも C. A. Bauer の式とよく一致することがわかった。

2月7月1日と月7日に行うような役員にようて関ルビルに加入	3.3 7 7 12 10 电 X(17) 圧 [1]
を第8図に示す。この図からわかるように、 改良 OKD 形とサイ	ケーブルの電気特性例を示すと 第3表 のとおりである。また破壊
ン形とを比較すると曲げ剛性はほとんど差はない。	試験結果の一例として八幡製鉄株式会社納入品の値を示すと次のと
以上の結果今回行なった実験の範囲ではケーブルに使用した改	おりである。 長時間耐電圧試験では 150 kV で 6 時間保持後 15 kV
良 OKD 形のほうがサイン形に比較して硬度の分布および屈曲特	ずつ昇圧3時間保持する課電法で270kV1時間15分で端末補強部
性においてすぐれているといえる。	で破壊した。衝撃耐電試験では 480 kV 3 回課電後 20 kV ずつ昇圧
3.2.5 マンホール曲げ試験	3回ずつ課電する方法により、620kV 1回でほぼ試料の中央部で
ケーブルを管路布設に使用した場合、管路内ケーブルの熱伸縮	破壊した。これらの結果は鉛被 OF ケーブルと比較して遜色のない
8'	7
D.	

昭和39年9月

日 立 評

第 46 巻 第 9 号

第12図 側 圧 実 験 装 置

第4表 側 圧 実 験 結 果

引張張力と側圧

論

測定位置	引 張 張 力 <i>T</i> ₁ (kg)	逆 張 力 $T_2(kg)$	引入速度 (m/min)	創 E P(kg/cm)
No. 1	8,300	2,400	4	15
No. 2	8,300	2,350	4	15
No. 3	8,300	2,350	4	15
No. 4	8,300	2,400	4	15
No. 5	8,300	2,350	4	15
No. 6	8,300	2,400	4	15
No. 7	8,300	2,300	4	15

第11図 移動量と各部のひずみ分布(外側)

	10 0	~		>N 13 LL.	
r	納入先 頁 目	八幡製鉄	国 鉄	国鉄	東北電力
ケ	ーブル種類	70kV3×250 mm ²	70kV3 ×250 mm	$2 \frac{70 \text{kV} 3 \times 200}{\text{mm}^2}$	60kV3×200 mm ²
絶	縁抵抗 (MΩ/km)	35,000 (20℃)	35,000 (20℃) 62,000 (20°C)	38,000 (20°C)
静	電容量 (µF/km)	0.36 (20°C)	0.36 (20°C) 0.31 (20℃)	0.36 (20°C)
耐	電 圧	110kV/10分良	110kV/10分占	是 110kV/10分良	90 kV/10 分良
導	体抵抗 (Ω/km)	0.0675(20°C)	0.0675 (20°C) 0.0885 (20°C)	0.0881 (20°C)
⇒£	君 正 按 (0/)	0.303(44kV)	0.224 (44kV) 0.275 (44kV)	0.294 (38kV)
<i>a75</i>	电止按 (/0)	0.327(89kV)	0.246 (89kV) 0.298 (89kV)	0.321 (76kV)
屈	曲特性(曲げ8回)	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
長	時間耐電圧	150kV/6時間良	150kV/6時間自	县150kV/6時間良	160kV/3時間良
衝	擊耐電圧	480kV/3回良	480 kV/3 回貞	表 480 kV/3 回良	420 kV/3 回良 580 kV/2回BI
防	絶縁抵抗 $(M\Omega/km)$		365,000	380,000	280,000
 ぼ 層 計	耐電圧(1,000V/1分)	良	良	良	良
武 験	耐浸液 (MΩ/m)		170,000	390,000	3431-11 11-11 //

第3表ケーブルの電気特性

値である。

4. アルミ被ケーブルの布設について

4.1 側 圧 実 験

ケーブル布設時に曲りコロなどによってケーブルが側圧をうける 場合がある。八幡製鉄株式会社納入のケーブル布設工事において も、一部鋼管の管路があって、側圧に対する耐力を検討する必要が あった。そこで実際の管路を模擬した実験室管路を作り側圧実験を 行なった。試験装置を第12図に示す。ケーブルの試料の後方に逆 張力を加えながら管路内をすべらせた。 実験結果を第4表および第5表に示す。側圧 25 kg/cm まではケ ーブル外径に変化はなく、またポリエチレン防食層の表面も異常は なかった。 4.2 鉛 エ アルミ被の鉛工は、鉛被の場合と異なり十分な下地メッキを施す ことが必要である。このためアルミはんだをメッキする際ワイヤブ

測	引入	,前	引入	後	71 7 40 60 70
定位置	横	縦	橫	縦	51 人 按 熈 囲
No. 1	101.3	101.4	101.6	101.6	接触面
No. 2	100.5	100.5	101.1	101.1	
No. 3	101.0	101.3	100.9	101.9	$\langle \rangle$
No. 4	100.8	100.5	100.3	101.4	()縦
No. 5	100.1	100.8	100.1	101.6	
No. 6	100.0	100.2	99.3	101.3	
No. 7	99.2	101.9	99.5	103.0	≺──横──►

第5表	側	圧.	実	験	結	
20,03,0						

果

測定位置	引張張力 <i>T</i> ₁ (kg)	逆 張 力 T ₂ (kg)	引入速度 (m/min)	側 圧 P(kg/cm)	ケーブル 外径変化
No. 1	13,500	3,500	4	24.3	tel
No. 2	14,000	3,500	4	25.2	なし
No. 3	13,500	3,500	4	24.3	tel
No. 4	13,500	3,550	4	24.3	なし
No. 5	13,500	3,550	4	24.3	なし
No. 6	13,500	3,550	4	24.3	たし
No. 7	16,000	3,550	4	28.8	なし

ラシを併用して、これでアルミ被の表面をこすりながらはんだメッ キする。

アルミの鉛工を行なう際の温度の上昇を測定したものの一例が第 13 図 である。これからわかるようにはんだメッキ時の温度上昇は, 鉛工時の温度上昇を越えない。したがってアルミ被ケーブルの鉛工 は,温度上昇の点からは鉛被ケーブルの鉛工とほとんど変わらない といえる。 鉛工部の機械的強度を調べるために,振動疲労試験を行なった。 試験装置は既報⁽¹⁾のものと同一である。 試験結果を**第6表**に示す。鉛管とアルミ被を鉛工した試料では破 断はほとんどが鉛工部に接した鉛管部に生じ,鉛工部とアルミ被の 部分は異常なかった。また銅管とアルミ被を鉛工した試料では破断

はほとんど鉛工部に近接したコルゲートの谷部に発生した。振動試

3 心 ア ル ミ 被 OF ケ ー ブ ル の 二, 三 の 特 性

節6主	tE i	Et It	PY4 =	EA	41:	HI.
分し公	加出	的 102	力前	、词史	不口	木

試料振幅 (mm)鉛工部 $O_{T,3}$ (S)振動回数 (回)破断状況アルミはんだ 合金鉛口 (mアルミバイブと鉛管100.12463,850接続鉛管破断H.T2アルミバイブと鉛管100.12395,740接続鉛管破断Sn-10%Zn3アルミバイブと鉛管100.12903,090圧力計接続鉛管破断Sn-10%Zn30.9×100Pアルミ被ケーブル100.11229,820鉛工部ガス漏れH.T20.9×100Pアルミ被ケーブル100.11379,080鉛管酸断Sn-2n30.9×100Pアルミ被ケーブル100.11432,600鉛管酸断Sn-2n30.9×100Pアルミ被ケーブル100.11432,600鉛管酸断Sn-2n30.9×100Pアルミ被ケーブル50.0652,262,800鉛管酸断Sn-10%Zn30.9×100Pアルミ被ケーブル50.0553,919,180鉛管酸断Sn-10%Zn30.9×100Pアルミ被ケーブル50.0553,919,180鉛管酸断Sn-10%Zn30.9×100Pアルミ被ケーブル50.0552,745,600鉛管酸断H.T30.9×100Pアルミ被ケーブル50.0555,532,800温<當症広LH.T30.9×100Pアルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なLSn-Zn30.9×100Pアルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なLSn-Zn3	-								Sec. 1	ore sent		
アルミベイブと鉛管100.12463,850接続鉛管破断H.T2アルミベイブと鉛管100.12395,740接続鉛管破断Sn-10%Zn3アルミベイブと鉛管100.12903,090圧力計接続鉛管破断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル100.11229,820鉛工部ガス漏れH.T20.9×100P アルミ被ケーブル100.11379,080鉛管酸断Sn-2n30.9×100P アルミ被ケーブル100.11379,080鉛管酸断Sn-Zn30.9×100P アルミ被ケーブル100.11432,600鉛管酸断Sn-Zn3アルミベイブと鉛管50.06371,540—H.T30.9×100P アルミ被ケーブル50.0552,262,800鉛管破断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0554,320,000鉛管留断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0554,933,050鉛管飯断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0552,745,600鉛管飯断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0552,745,600鉛管飯断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0555,532,800異常なしH.T30.9×100P アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn30.9×100		武	料	振幅 (mm)	鉛工部 ひずみ (%)	振動回数 (回)		破断	状	況	アルミはんだ 合 金	鉛工幅 (mm)
アルミパイプと鉛管100.12395,740接続鉛管破断Sn-10%Zn3アルミパイプと鉛管100.12903,090圧力計接続鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル100.11229,820鉛工部ガス漏れH.T2 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル100.11379,080鉛管破断Sn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル100.11432,600鉛管破断Sn-Zn3 7 ルミパイプと鉛管50.06371,540—H.T3 7 ルミパイプと鉛管50.0552,262,800鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0554,320,000鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0554,320,000鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0553,919,180鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0552,745,600鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0552,745,600鉛管破断H.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0555,532,800異常なしH.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル50.05510		アルミパイ	プと鉛管	10	0.12	463,850	接	続 鉛	管	破断	H.T	25
アルミバイブと鉛管100.12903,090圧力計接続鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P \ \ ruse \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \$		アルミパイ	プと鉛管	10	0.12	395,740	接	続 鉛	管	破断	Sn-10%Zn	30
$0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル100.11229,820鉛工部ガス漏れH.T2 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル100.11379,080鉛<管破断		アルミパイ	プと 鉛 管	10	0.12	903,090	圧	力計接	続鉛	管破断	Sn-10%Zn	30
$0.9 \times 100P \ 7 \ n \le \ dy \ - \ dy \ h \ dy \ dy$		0.9×100P 7 N	ミ被ケーブル	10	0.11	229,820	鉛	工部	ガス	漏れ	H.T	20
$0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル10 0.11 $432,600$ 鉛管破断Sn-Zn3 $7 $ ル \ddagger パ 4 ブ \pounds 鉛管5 0.06 $371,540$ —H.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $2,262,800$ 鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $4,320,000$ 鉛管破断H.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $4,320,000$ 鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $4,933,050$ 鉛管破断Sn-10%Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $2,745,600$ 鉛管破断H.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $5,532,800$ 異常なしH.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $8,359,500$ 異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $8,359,500$ 異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $8,359,500$ 異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $10,601,350$ 異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $10,601,350$ 異常なしSn-Zn3		0.9×100P 7 N	ミ被ケーブル	10	0.11	379,080	鉛	管	破	断	Sn-Zn	30
アルミバイブと鉛管50.06 $371,540$ —H.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $2,262,800$ 鉛管管飯断 $Sn-10\%Zn$ 3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $4,320,000$ 鉛管管破断H.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $3,919,180$ 鉛管破断 $Sn-10\%Zn$ 3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $4,933,050$ 鉛管破断 $Sn-10\%Zn$ 3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $2,745,600$ 鉛管破断H.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $2,745,600$ 鉛管破断H.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $5,532,800$ 異常なしH.T3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $8,359,500$ 異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $8,359,500$ 異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $10,601,350$ 異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $10,601,350$ 異常なしSn-Zn3 $0.9 \times 100P$ アルミ被ケーブル5 0.055 $10,601,350$ 異常なしSn-Zn3		0.9×100P 7 N	ミ被ケーブル	10	0.11	432,600	鉛	管	破	断	Sn-Zn	30
0.9×100P アルミ被ケーブル50.0552,262,800鉛管破断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0554,320,000鉛管破断H.T30.9×100P アルミ被ケーブル50.0553,919,180鉛管破断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0554,933,050鉛管破断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0552,745,600鉛管破断H.T30.9×100P アルミ被ケーブル50.0555,532,800異常なしH.T30.9×100P アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn3		アルミパイ	プと鉛管	5	0.06	371,540		-			H.T	30
0.9×100P アルミ被ケーブル50.0554,320,000鉛管破断H.T300.9×100P アルミ被ケーブル50.0553,919,180鉛管破断Sn-10%Zn300.9×100P アルミ被ケーブル50.0554,933,050鉛管破断Sn-10%Zn300.9×100P アルミ被ケーブル50.0552,745,600鉛管破断H.T300.9×100P アルミ被ケーブル50.0555,532,800異常なしH.T300.9×100P アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn300.9×100P アルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn300.9×100P アルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn300.9×100P アルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn300.9×100P アルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn30		0.9×100P 7 ル	ミ被ケーブル	5	0.055	2,262,800	鉛	管	破	断	Sn-10%Zn	30
0.9×100P アルミ被ケーブル50.0553,919,180鉛管破断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0554,933,050鉛管破断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0552,745,600鉛管破断H.T30.9×100P アルミ被ケーブル50.0555,532,800異常なしH.T30.9×100P アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn3		0.9×100P7ル	ミ被ケーブル	5	0.055	4,320,000	鉛	管	破	断	H.T	30
0.9×100P アルミ被ケーブル50.0554,933,050鉛管破断Sn-10%Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.0552,745,600鉛管破断H.T30.9×100P アルミ被ケーブル50.0555,532,800異常なしH.T30.9×100P アルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn30.9×100P アルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn3		0.9×100P7ル	ミ被ケーブル	5	0.055	3,919,180	鉛	管	破	断	Sn-10%Zn	30
0.9×100Pアルミ被ケーブル 5 0.055 2,745,600 鉛 管 破 断 H.T 3 0.9×100Pアルミ被ケーブル 5 0.055 5,532,800 異 常 な し H.T 3 0.9×100Pアルミ被ケーブル 5 0.055 8,359,500 異 常 な し Sn-Zn 3 0.9×100Pアルミ被ケーブル 5 0.055 10,601,350 異 常 な し Sn-Zn 3		0.9×100Pアル	ミ被ケーブル	5	0.055	4,933,050	鉛	管	破	断	Sn-10%Zn	30
0.9×100Pアルミ被ケーブル 5 0.055 5,532,800 異常なし H.T 30 0.9×100Pアルミ被ケーブル 5 0.055 8,359,500 異常なし Sn-Zn 30 0.9×100Pアルミ被ケーブル 5 0.055 10,601,350 異常なし Sn-Zn 30		0.9×100Pアル	ミ被ケーブル	5	0.055	2,745,600	鉛	管	破	断	H.T	30
0.9×100Pアルミ被ケーブル50.0558,359,500異常なしSn-Zn300.9×100Pアルミ被ケーブル50.05510,601,350異常なしSn-Zn30		0.9×100P7ル	ミ被ケーブル	5	0.055	5,532,800	異	常	ts	L	H.T	30
0.9×100Pアルミ被ケーブル 5 0.055 10,601,350 異 常 な し Sn-Zn 3		0.9×100P 7ル	ミ被ケーブル	5	0.055	8,359,500	異	常	ts	L	Sn-Zn	30
		0.9×100P7ル	ミ被ケーブル	5	0.055	10,601,350	異	常	ts	L	Sn-Zn	30

- 幅 40 mm 厚さ1 mm のハイボンテープを ½ ラップで2 層巻
 き,その上に幅 30 mm 厚さ 0.2 mm の粘着 ビニルテープを ½ ラップで1 層巻いたもの。
- ② 厚さ 0.125 mm の低テープを 2 枚巻いた上に幅 40 mm 厚さ 0.3 mm のアスファルト含浸ガラステープを ½ ラップで 2 層 巻き,その上にアスファルト塗料と幅 65 mm 厚さ 1 mm の 黄麻テープを ¼ ラップで 1 層巻いたもの。
- ③ 厚さ1.5 mm のヒシチューブ被覆。
- ④ 幅 35 mm 厚さ 0.5mm のクロロプレンテープを½ラップで2
 層巻いた上に幅 35 mm 厚さ 0.6mm のクロロプレン付き帆布
 を¼ラップで1 層巻き加硫し,最外層にワックス系塗料を塗
 付したもの。

⑤ 塩化ビニル(厚さ 2 mm)

である。

測定結果を第15図および第16図に示す。3% NaCl 溶液中に浸漬したものはアスファルトの場合の一例を除 いて特に絶縁抵抗の低下を示したものはなかった。 0.05% H₂SO₄溶液中に浸漬したものでは,試料によっ てかなり差が生じた。

これらの結果を総合して,ハイボンテープと粘着ビニ ルテープによる防食層は,十分な耐食性があるものと考

験後,顕微鏡組織および硬度の変化を詳細に調査したところ,振動 による初期き裂は山と谷の境界から発生しており,鉛工部には異常 はなかった。このように,鉛工部の耐振動性は,少なくともアルミ 被の強度以上である。

4.3 防 食

アルミは空気中では酸化皮膜を形成して腐食に対する耐力が大き いが、水中においては水酸化物を生じ腐食されやすいので、アルミ 被の防食、とくに現地で手巻きする鉛工部の防食には十分な注意と 対策が必要である。各種の防食方法を比較検討するために 第14 図 に示す試験装置を用いて、3% NaCl および 0.05% H₂SO₄ の溶液中 に下記の各種試料を長期浸漬し、絶縁抵抗の経年変化を測定した。 3% NaCl 溶液中に浸漬した試料は

- ① 幅1mm厚さ1mmのハイボンテープを½ラップで3層巻いたもの。
- 1 mm 厚さのヒシチューブ被覆。

えられる。

4.4 ケーブルの布設工事

一般的にいってアルミ被ケーブルの布設作業は鉛被ケ ーブルのそれとほとんど同様であるが,特長をあげると つぎのとおりである。

- (1) 剛性が大きいためにドラムからケーブルを送り出す場合,
 2~3巻にわたってゆるみが生ずる。したがってこのたる
 みを時々しめ直す必要がある。
- (2) マンホール内のくせ取り作業においては簡単な冶具を用い ると便利である。
- (3) 鉛被ケーブルよりも軽いので,取り扱いは容易である。 ケーブルの布設方法が直埋式である場合は,延線方法や接続部の

くせ取り方法においてもなんら問題はない。管路式の場合において

 ③ 接着剤を管の表面に塗布した後、0.5 mm 厚さのネオプレン を ½ ラップで3 層巻いたもの。
 ④ アスファルトを塗布した上に 20 mm 幅の ガラステープを ½ ラップで1 層巻き、その上にアスファルトとアスファルト含 浸ジュートを1 層巻き最外層にアスファルトを塗布して白垩 で仕上げたもの。

89 —

である。また 0.05 % H₂SO₄ 溶液中に浸漬した試料は

第17図 東北電力株式会社納入ケーブル布設状況

第	7	表	直	線	接	続	所	要	時	間

					_
作業内容	ケーフ	ブル種別	アルミ被OFケーブル (70kV 3×250mm ²)	鉛 被 OF ケーブル (70kV 3×250mm ²)	
接後	売 準	備	3時間	1時間30分	
ケ ー	ブルち	刀 断	20分	20分	
セミス	トップ取	(付け	40分	40分	
圧		緕	30分	30分	
紙	切	5	1時間	1時間	
紙		巻	3時間	3 時間	
鉛		T	1時間	1時間	
真		空	4 時間	4 時間	

第16図 0.05% H₂SO₄ 溶液浸漬試験結果

は摩擦係数,摩擦によるポリエチレン防食層の受ける傷,くせ取り の曲げ半径などが問題と考えられている。

日立電線株式会社が納入したケーブルの中で,八幡製鉄株式会社 および東北電力株式会社へ納入したものの布設方法は管路式であ り,特に後者においてはアルミ被ケーブルとしてはわが国初の 503 m 1条引き入れ(途中管路弯曲部を含む)という布設区間を有す るものであった。この区間の引き入れに際しては特に慎重を期し, 引き入れに先だって管路の試験棒通しを行なうほか実ケーブルを約 3 m長さに切断し,その後部に3トンの逆張力をかけて引き通しを 行ない,大きな障害のないことを確かめた後布設されるケーブルを 引き入れた。管路は130 ¢ のヒューム管であったが、摩擦係数は約 0.27 であった。またルートには直角曲り引き通しマンホールを含ん でいたが、曲げ半径 1.5 m 曲り樋(とい)を用い、逆張力1.2トン、 張力2トンの状態で引き入れることができた。

また東北電力株式会社の場合マンホール寸法が小さいため、オフ セット部の曲げ半径を1m(シース山径の12倍)に施工する必要の ある場所があったが、簡単な冶具の採用によって容易にくせ取りす ることができた。

いずれの納入品の場合においても,引き入れ前後におけるコルゲ ートピッチの変化は認められず,また側圧をうけた部分の外径変化 は約1mm程度であり,なんら問題はなかった。

なお東北電力納入品については通電試験を行なうことにしてお り,別報にて報告する予定である。

第17図に布設状況を示す。

4.5 接続作業

アルミ被 OF ケーブル,特に3心ケーブルの場合介在物がないため,接続作業時に油の流出が多いということがあるが,これを防ぐため次のように施工しなければならない。
(1)ケーブル切断前に切断予定個所のポリエチレン防食層をはぎ、アルミ被を露出させ、ワイヤブラシで入念に研摩しな

合 計 13時間30分 12時間

がら,アルミはんだのメッキをする。

- (2) マンホール内において、管路口よりも切断部を高く持ち上
 げ得る場合は、そのようにケーブルを配置してケーブルを
 切断する。
- (3) マンホール内において,管路口よりも切断部を高くできない場合は、シースにのこぎりで切みぞをつけ、その部分を油槽にひたしてシースをはぎ取りセミストップを取り付ける。

以後の作業は鉛被 OF ケーブルとほとんど同様であり,接続所要 時間を比較して示すと第7表のとおりである。上記(1)の作業は実 際は接続作業の前日に施工することができるので,実質所要時間は 鉛被ケーブルと変わりないといえよう。

5. 結 言

3心アルミ被 OF ケーブルの諸特性のうち,油流抵抗の計算方式, コルゲートの形状と機械的特性および布設上の問題などについて, 目立電線株式会社の納入ケーブルを中心として報告した。本報告が 将来の線路の計画においていささかでも参考となれば幸いである。 終わりにケーブルの納入に際して多大のご教示,ご協力をいただい た八幡製鉄株社株式,日本国有鉄道および東北電力株式会社の各関 係者のかたがたに深く感謝し,各種実験に協力され,また本報告の 執筆に当たってご教示いただいた日立電線株式会社日高工場水上副 工場長,高橋部長,今井課長,橋本課長,中西主任,綱野主任およ び山岸主任に謝意を表する。

(1) 今井,大内,松山: 日立評論 45,95,75(昭38-9)
(2) 今井: 電学誌 84-3,906,142(昭39-3)
(3) 水上,大畠,川西,松山: 日立評論 45,11,115(昭38-11)
(4) 今井,林田: 日立評論 45,11,127(昭38-11)
(5) 乗松: 数値計算法(昭33-9,電気書院)

---- 90 -----

参考文献