

# 22kV 半導電性シース架空ケーブルとその新布設工法

## 22kV Semi-conducting Jacketed Aerial Cable and its New Installation Methods

最近、配電網の拡大強化を目的として、22～33kV配電が拡充されつつある。これに対処する方策の一つとして、従来の架空絶縁電線の離隔距離を大幅に低減でき、安全上及び美観上優れている架空ケーブルが注目されてきている。

今回、22kV架空配電線路用として架橋ポリエチレン絶縁半導電性ビニルシースケーブルを開発し、新工法により布設した。

ケーブルは、半導電性ビニルシースによって耐雷サージ特性に優れ、耐塩害性、取扱い性なども良好なものとなった。

新布設工法は、ドラム側で逆張力を加えることを特徴としており、それによって布設用補助メッセンジャーワイヤの省略と延線用ころの数の大幅な減少を図り、省資源、省力化を可能にした。

朝倉 宏\* *Asakura Hiroshi*  
中村正孝\*\* *Nakamura Masataka*  
村田啓二\*\*\* *Murata Keiji*  
坂本 明\*\*\* *Sakamoto Akira*

### 1 緒 言

架空ケーブルは、絶縁電線や裸線に比較して離隔距離の低減、消防活動に対する安全性、美観などの点で優れている。

その反面、雷サージ侵入時のシースの絶縁破壊防止対策が必要なことや、布設工事費が高いという難点がある。

すなわち、雷サージが侵入するとしゃへい層(銅テープ巻)に誘導電圧が生ずる。一方、メッセンジャーワイヤ及びラッシングテープ(ケーブル線心とメッセンジャーワイヤを一体化するために巻き付けるテープ)は、安全上各支持柱で接地されているため、ほとんどアース電位に等しい。このため、ケーブルのシースに電圧が加わり、電圧の大きさによってはシースが絶縁破壊を起こす。雷サージ侵入の確立の高い架空ケーブルでは、特にこの面の対策が必要である。

新たに開発したケーブルは、雷サージ対策を考慮してシースを半導電性ビニルとし、これによって雷サージ侵入時に生ずるしゃへい層への誘導電圧を、メッセンジャーワイヤ及びラッシングテープを介して直ちに接地することにより、シースの絶縁破壊を防止するものである。

また、布設工事については、架空ケーブルは絶縁電線や裸線に比較し、重量が重く許容側圧が小さいため、布設時には支持柱間に補助メッセンジャーワイヤを張り、これに多数の延線用ころを取り付けた上でケーブルを延線しなければならない。このため、多くの高所作業が必要であり、長い作業時間と高い工事費が必要であった。

新布設工法は新しく開発した機器により、ドラム側でケーブルに逆張力を加えることによって、布設時のケーブルの支持間隔を広げ、布設用補助メッセンジャーワイヤとそれに取り付けた延線用ころを省略し、高所作業と作業時間を減少させた。

### 2 ケーブルの構造

ケーブルの外観を図1に、また22kV架橋ポリエチレン絶縁半導電性ビニルシース3×150mm<sup>2</sup>架空ケーブルの仕様<sup>1)</sup>の一例を表1に示す。

構造の詳細は、次に述べるとおりである。

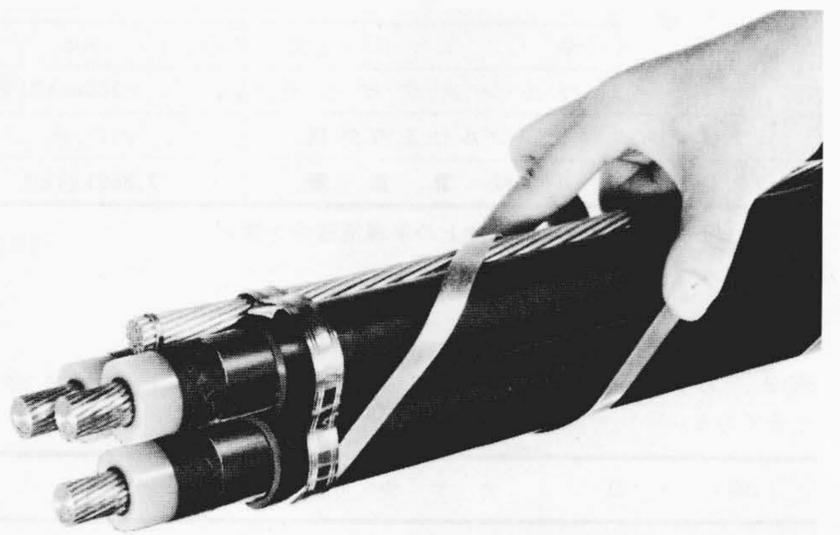


図1 22kV架橋ポリエチレン絶縁半導電性ビニルシース3×150mm<sup>2</sup>架空ケーブルの外観 北陸電力株式会社が採用した現地ラッシング方式による架空ケーブルの外観を示す。

#### 2.1 メッセンジャーワイヤ

##### (1) メッセンジャーワイヤの仕様

メッセンジャーワイヤは、主に周囲環境の状態によって材質を決定する。

すなわち、郊外など汚染が軽微な場所では、亜鉛めっき鋼より線を用い、工業地帯、臨海地区などの重汚染地区又は塩害地区では、アルミ被覆鋼より線を用いる。

特にアルミ被覆鋼より線は、架空送電線路に用いられ、極めて耐食性に優れていることが実証されている。

##### (2) メッセンジャーワイヤの太さ

メッセンジャーワイヤの太さは、支持柱の間隔、最大許容弛度などに合わせて、次の方法により求められる最大張力(支持柱の強度で決まることもあるが)に耐えるように選ぶ。

2点間に支持された架空ケーブルは、ほぼカテナリ曲線を描く。しかし、弛度張力計算時は、放物線として近似するの

\* 北陸電力株式会社監査役室 \*\* 北陸電力株式会社営業部配電計画 \*\*\* 日立電線株式会社日高工場

表1 22kV架橋ポリエチレン絶縁半導電性ビニルシース3×150mm<sup>2</sup>架空ケーブルの仕様例 図1に示したケーブルの構造の詳細を示す。半導電性ビニルシースの採用により、耐電サージ特性に優れる。

項 目		仕 様	
ケーブル線心	導 体	公 称 断 面 積	150mm <sup>2</sup>
		形 状	円形圧縮より線
		外 径	14.7mm
	架橋ポリエチレン絶縁体厚		7.0mm
	しゃへい軟銅テープ厚		0.1mm×1枚
	半導電性ビニルシース厚		3.0mm
	シ ー ス 外 径		約35.5mm
メッセンジャーワイヤ	材 質	アルミ被覆鋼より線	
	公 称 断 面 積	100mm <sup>2</sup>	
	構 成	19本/2.6mm	
	素線の最小アルミ被覆厚		0.15mm
	より合わせ後外径		13.0mm
	許容最大張力(安全率2.5)		4,500kg
ラッシングテープ	材 質	耐食アルミ合金	
	厚 さ	1mm	
	幅		10mm
	条 数		2本
	ラッシングピッチ		300mm以下
ラッシング後ケーブル仕上り外径		約77mm	
ケーブル概算重量		7,860kg/km	

注：ただし、絶縁体厚には導体上の半導電層厚を含む。

表2 カテナリ式と放物線近似式の比較 実用上、放物線近似式で十分である。

項 目	カテナリ式	放物線近似式
架渉線の形状	$y = c \left( \cosh \frac{x}{c} - 1 \right)$	$y = \frac{W}{2T} x^2$
電線実長 $L$	$L = c \sinh \frac{x}{c}$	$L = \left( x + \frac{W x^3}{6 T^2} \right)$
弛 度 $d$	$d = c \left( \cosh \frac{S}{2c} - 1 \right)$	$d = \frac{W S^2}{8 T}$
支点張力 $T_B$	$T_B = T + W d$	$T_B = \frac{W S^2}{8 d}$
記 号	$c = \frac{T}{W}$ ここに $T$ ：水平張力 $x$ ：中心点からの水平距離 $S$ ：径間長 $W$ ：電線単位長当たりの重量	

が式の取扱い上簡便であり、精度も十分なので良い。

カテナリ式と放物線近似式の比較を表2に示す。

実際に二通りの方法によって計算してみると、弛度が径間長の10%以内の場合は、誤差は問題にならない程度に小さい(径間が100m以下では0.1%以下)。

さて、2点間に支持された架空ケーブルで、温度が $t$ (°C)上昇したとき、上昇前の長さ $L$ は線膨張係数 $\alpha$ により $\alpha t L$ の伸びを生ずる。

一方、 $\alpha t L$ の伸びにより弛度が増すので張力は減少する。

そして、張力が減少すると張力による応力が減少するため、ケーブルは弾性的収縮を起こす。

これらの相互作用を表現したものが、次の(1)式で示す弛度計算三次方程式である。

$$\left( \frac{T_2}{A} \right)^2 \left\{ \frac{T_2}{A} - (K - \alpha t E) \right\} = M \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $K = \frac{T_1}{A} - \frac{W_1^2 E}{24 T_1^2} S^2$

$$M = \frac{W_2^2 E}{24 A^2} S^2$$

- ここに  $T_1$ ：温度上昇前の張力
- $T_2$ ：温度上昇後の張力
- $W_1$ ：温度上昇前の合成荷重
- $W_2$ ：温度上昇後の合成荷重
- $A$ ：メッセンジャーワイヤの断面積
- $E$ ：メッセンジャーワイヤの弾性係数
- $S$ ：径間長

(1)式から $T_2$ を求めることができ、 $T_2$ を表2の式に代入することによって、温度上昇後の弛度 $d_2$ が求まる。

したがって、(1)式によって、最酷時風圧荷重や温度変化を考慮した最大張力及び最大弛度を求め、最大弛度が現地条件から決まる最大許容弛度よりも小さくなるような張力に耐えるメッセンジャーワイヤの太さとする。なお、メッセンジャーワイヤの安全率 $Sf$ は、電気設備技術基準に従い $Sf \geq 2.5$ としている。

## 2.2 ラッシングテープ

### (1) ラッシングテープの仕様

ラッシングテープは、耐食アルミ合金テープを用いた。これによって、重汚染や塩害地区でも問題のない耐食性を得るとともに、通電と日射によってケーブルシースが軟化した場合でも、ラッシングワイヤで生じやすいシースへの食い込みを防止している。

### (2) ラッシングテープの寸法

ラッシングテープの厚さ及び幅は、ケーブル線心間の短絡電磁力に耐える強度をもつように決定した。

短絡時にラッシングテープに加わる張力は、(2)式に示すとおりである。

$$P = \frac{1.02 l I_{peak}^2 \times 10^{-6}}{n S_c \sin \theta} \dots \dots \dots (2)$$

- ここに  $P$ ：ラッシングテープに加わる張力(kg)
- $l$ ：ラッシングテープ1条の巻付ピッチ
- $\theta$ ：ラッシングテープ1条の巻付ピッチ角
- $n$ ：ラッシングテープの条数
- $S_c$ ：ケーブル導体中心間の距離(cm)
- $I_{peak}$ ：短絡電流の最大波高値(A)

表1の22kV架橋ポリエチレン絶縁半導電性ビニルシース3×150mm<sup>2</sup>架空ケーブルについて計算すれば、ラッシングテープは、 $I_{peak} = 55.7kA$ までは破壊しないことが分かる。

## 2.3 ケーブル線心

### 2.3.1 絶縁体

絶縁体は、架橋ポリエチレンを導体上の内部半導電層と2層同時に押し出して被覆し、架橋はガス架橋方式により行なった。

これによって、表面の滑らかな内部半導電層と含有水分やボイドの少ない絶縁体を得ることができ、高性能で信頼性の高い絶縁性能を得ている。

### 2.3.2 半導電性シース

このケーブルの大きな特徴は、半導電性シースであり、これは絶縁体上に外部半導電層としゃへい層を設けた上に、半

導電性ビニルを押し出し被覆したものである。

このビニルコンパウンドは、架空ケーブル用に開発したものであり、ケーブルに採用するに当たっては、シース材料として必要な材料特性と耐候性をもっていることを確認する試験を実施した。

試験の方法及び結果は次に述べるとおりである。

#### (1) 試料

- (a) 半導電性ビニル
- (b) 一般電力ケーブルシース用ビニル
- (a), (b) 各々から各試験項目規程の試験片を作成した。

#### (2) 材料特性試験

JIS K-6723に定められた方法により、次の材料特性試験を行なった。

- (a) 引張試験
- (b) 加熱後引張試験
- (c) 加熱変形試験
- (d) 耐寒性試験

材料特性の試験結果を表3に示す。半導電性ビニルは一般電力ケーブルシース用ビニルに比較して多少硬いが、シース用材料として十分な特性をもっている。

表3 半導電性ビニルの材料特性 一般シース用ビニルに比較して多少硬いが、シース用材料として十分な特性をもっている。

試料		半導電性 ビニル	一般シース用 ビニル	JIS C-3606 規格値
引張試験	引張強さ(kg/mm <sup>2</sup> )	1.5	2.0	1.0以上
	伸び(%)	270	350	120以上
加熱後 引張試験	引張強さ残率(%)	95	97	85以上
	伸び残率(%)	94	95	80以上
加熱変形試験(%)		10	13	50以下
耐寒性試験(°C)		-23	-30	-15
体積抵抗率試験 (Ω-cm)	30(°C)	85	—	—
	60(°C)	81	—	—

表4 半導電性ビニルの紫外線劣化後の特性 2,000時間の劣化に対し、外観、耐寒性共に変化がないことは、シース材料として必要な耐候性をもっていると判断される。

試料		半導電性ビニル	一般シース用 ビニル
外 観	0時間	—	—
	500時間	変化なし	変化なし
	1,000時間	"	"
	1,500時間	"	"
	2,000時間	"	"
耐* 寒 温 度	0時間	-23°C	-30°C
	500時間	"	"
	1,000時間	"	"
	1,500時間	-24°C	-29°C
	2,000時間	-23°C	-28°C

注：\* 耐寒温度

紫外線を規定時間照射した試料を低温槽に入れ、一定温度になったのちハンマで衝撃を加え、試料の破壊の有無を調べる。この表の値は、温度を適時下げて試験し、破壊を起こさない最低温度を求めたものである。

#### (3) 耐候性試験

耐候性はすなわち耐紫外線劣化特性なので、紫外線照射装置(ウェザメータ)により、試料に真水の間欠噴霧と同時に紫外線を照射する加速劣化試験を行なった。

試験条件は、紫外線照射装置のブラックパネル温度を63±3°C、試験時間を500時間、1,000時間、1,500時間及び2,000時間とした。

ビニルは紫外線劣化を起こした場合、表面のき裂や耐寒性の低下を生ずるため、耐候性の判定は外観観察と耐寒性試験により行なうことができる。

試験結果を表4に示す。2,000時間後も劣化は認められず、半導電性ビニルはシース用材料として十分な耐候性をもっている。

### 3 ケーブルの特長

半導電性シース架空ケーブルは、ケーブル線心についての基本構造は、従来のCVケーブルと同じで、シースの材質だけを変更するとともに、単心ケーブル3線心で構成している。

そして、周囲環境の条件に合わせて材質を吟味したメッセンジャーワイヤと耐食アルミ合金製のラッシングテープとを組み合わせることにより、次に述べるような特長をもっている。

#### 3.1 信頼性

半導電性シースによる雷サージ侵入時のシース絶縁破壊の防止と、耐食性の良いメッセンジャーワイヤ、ラッシングテープの組合せにより、長期にわたって高い信頼性をもっていることが確認された。

#### 3.2 ケーブルの取扱い性

ケーブル線心の基本構造が従来のCVケーブルと同じであり、またCVケーブル同様、外径が小さく軽量で可とう性も良いため、高所作業の多い架空ケーブルの布設作業で重要な、ケーブルの取扱い性が良い。

#### 3.3 端末処理及び接続作業性

ケーブル線心の基本構造が従来のCVケーブルと同じであり、また単心ケーブル3線心で構成されるため、端末処理及び接続部に従来のCVケーブル用プレハブ付属品の技術が応用できる。

このため、高所で行なう端末処理及び接続作業の省力化が可能で、安定した作業と作業時間の短縮を可能にしている。

### 4 ケーブルの耐雷特性

ケーブルの耐雷特性を確認するため、巨長100mの実験線路を使ってサージ特性を検討した。実験の結果は次のとおりである。

#### 4.1 実験線路

実験線路は、22kV架橋ポリエチレン絶縁半導電性ビニルシース3×150mm<sup>2</sup>架空ケーブルを用い、約30m間隔で設置した電柱4本の間、地上高約2mで布設した。

#### 4.2 測定方法

測定は、特にケーブル線心のしゃへい層とメッセンジャーワイヤ間の電位差に注目し、1×40μsの標準波形サージ電圧を印加した場合の誘導電圧をシンクロスコープで観測した。

#### 4.3 実験結果

実験結果を表5に示す。同表から、どのような条件でも、ケーブル線心のしゃへい層とメッセンジャーワイヤ間の電位差は、測定精度内で生じないことが分かった。

また、サージ電圧によるしゃへい層/メッセンジャーワイヤの誘導電圧は、表5から分かるように、最大で導体侵入電圧

表5 サージ特性実験結果 実験には、22kV架橋ポリエチレン絶縁半導電性ビニルシース3×150mm<sup>2</sup> 架空ケーブルを使用した。

測定時の簡略回路図	SG出力 V <sub>1</sub> (V)	課電端電圧 V <sub>2</sub> (V)	誘導電圧 (V)		V <sub>3</sub> (V <sub>4</sub> )/V <sub>2</sub> (%)	電位差 V <sub>3</sub> -V <sub>4</sub> (V)
			しゃへい層 V <sub>3</sub>	メッセンジャーワイヤ V <sub>4</sub>		
	380 (1×40μs)	205	2.5	2.5	1.2	検出不能
	"	195	2.2	2.2	1.1	"
	"	160	"	"	1.4	"
	"	78	9.0 (V <sub>3</sub> '=5.5)	9.0 (V <sub>4</sub> '=5.5)	—	"

の約1.4%の電圧を生じている。

したがって、測定時のシンクロスコープの読取り誤差を5%と推定して、22kV級ケーブルのBIL (Basic Insulation Level) 値150kVのサージ電圧が導体に侵入したとすると、しゃへい層/メッセンジャーワイヤの誘導電圧 V<sub>s-m</sub>は、

$$V_{s-m} = 150\text{kV} \times 0.014 \times 0.05 \times 10^3 = 105\text{V}$$

である。

実験線路は、亘長100mの両端接地であるが、実線路はケーブルの弛度や支持柱の強度から、支持柱間隔は通常40~50mで、メッセンジャーワイヤは各柱で接地されるため、V<sub>s-m</sub>は実用上問題にならない。

### 5 布設工事

架空ケーブルの布設は、布設区間の各支持柱間にまず布設用の補助メッセンジャーワイヤを張り、これに適当間隔で延線用ころを取り付け、そのころの上にケーブルを延線していくというのが従来から行なわれてきた方法であった。しかし、前述のとおりこの工法によると多くの高所作業を必要とし、長い作業時間と高い工事費が必要である。

このため、多くの新工法が開発されているが、これらの工法はいずれも古くから行なわれている地中線路用ケーブルの布設工法の延長線上にあり、布設時のケーブルのバックテンションは小さいほど望ましいと考えられている。そして、補助メッセンジャーワイヤ及び延線用ころの取付け、取外しを極力自動化して省力化を図っているが、布設時に多くのところによってケーブルを支持する点は、従来工法と変わらないものであった。

今回開発した新工法は、ケーブルの布設時に積極的に逆張力を利用することを特徴とする。すなわちこの工法には、現地でケーブル線心とメッセンジャーワイヤを集合してラッシングを行なう現地ラッシング方式、及びあらかじめ工場でラッシング作業を行なった工場ラッシング方式の二つの方式がある。

いずれの方式を採用するかは、次に述べるような特徴を考慮して現地の条件により選択される。

#### (1) 現地ラッシング方式

ケーブル線心、メッセンジャーワイヤ及びラッシングテープを個別に現地に搬入するため、ケーブルの長尺化が可能であり、接続部の数を減らすことができる。ただし、ラッシングマシンや数多くのドラムを据え付けるための広い作業スペースが必要である。この方式は、主に作業スペースがあって、亘長の長い線路に有効である。

#### (2) 工場ラッシング方式

小さな作業スペースで布設作業が可能であり、1箇所当たりの布設準備の作業時間も短くなる。しかし、ケーブルが短尺となり(大サイズ、高電圧ケーブルほど著しい)、接続部の数が増える。この方式は主に作業スペースが狭く、亘長の短い線路に有効である。

現地ラッシング方式の場合の新工法の概要<sup>2)</sup>と布設用機器の配置を図2に示す。それぞれの機器の概要は、次に述べる通りである。

#### (3) 制動用キャタピラ

外観を図3に示す。ガス圧により、ケーブル線心3条を依積み状態で、三方向からキャタピラ面をケーブルに圧接し、

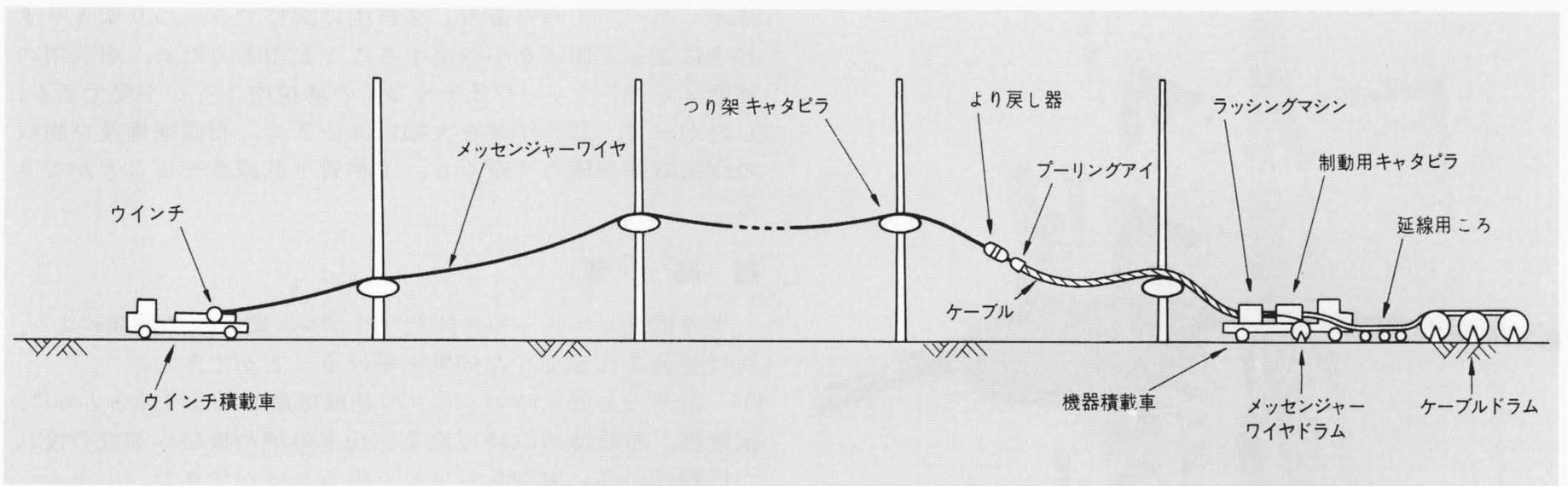


図2 布設の概要 現地ラッシング方式による新布設工法の場合、支持柱間の布設用補助メッセンジャーワイヤと延線用ころは不用になる。

油圧駆動によりケーブルに任意の大きさの制動力を加える。最大制動力は1,600kgである。

#### (4) ラッシングマシン

外観を図4に示す。電気・油圧サーボシステムによる制御と、油圧駆動による無段変速によってケーブル布設速度に合わせ、自動的に回転数が調整され、ケーブル線心とメッセンジャーワイヤに一定ピッチでラッシングテープを巻き付ける。適正なケーブル布設速度は0~10m/minである。

#### (5) ウインチ

架空ケーブル布設用ウインチは、無段変速で巻取り速度を変えることができるため、油圧ウインチを用いている。

最大巻取速度：8m/min

最大巻取張力：5t

#### (6) つり架キャタピラ

外観を図5に示す。ケーブルをキャタピラの面で支持するため、ケーブルに加わる側圧を小さくでき、布設時のケーブル支持点間隔を支持柱間隔と同程度に大きくすることができる。

つり架キャタピラの製作については、次の3点が重要である。

- (a) つり架部でのケーブルの垂下角が変化しても、有効にケーブルの側圧を小さく抑えることができる。
- (b) ケーブルの動きに対して抵抗が小さい。

(c) ケーブル受面が、ラッシングされて凸凹になったケーブルとよくなじみ、ケーブルに外傷その他を与えない。

垂下角の変化に対しては、キャタピラのケーブル受面の曲率を変化させることにより、常に受面がケーブルと最適な状態で接触するようにした。

すなわち、キャタピラの面は単純な長円ではなく、両端から中心に向かうにつれ曲率を大きくすることにより、同一長さの長円面に比較してより長い面でケーブルを受けるとにした。

ケーブルの動きに対して抵抗を小さくし、受面のケーブルとのなじみを良くするため、ケーブル受面はゴムモールドのブロックで構成し、ブロックの硬度をケーブルシースのそれよりも少し軟かくするとともに、ブロックをチェーンとスプロケットで支えている。

これにより、ケーブルに外傷を与えるおそれはなく、またキャタピラ1個当たりの布設時の転がり抵抗は50kg以下に抑えられている。

新工法では、図2に示すようにドラムからのケーブル引出口に、制動用キャタピラとラッシングマシンを配置する。

そして、各支持柱につり架キャタピラを取り付け、ケーブルの先端をワイヤを介してウインチで引っ張り、ドラム側で

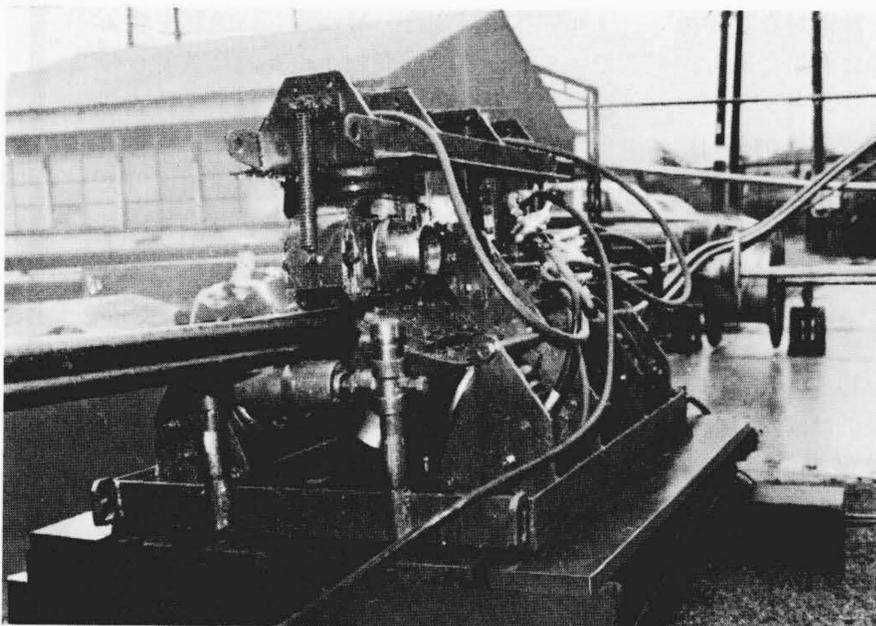


図3 制動用キャタピラ 布設時、ケーブルに逆張力を加え、「ケーブルのたるみ」を調整するもので最大制動力は1,600kgである。

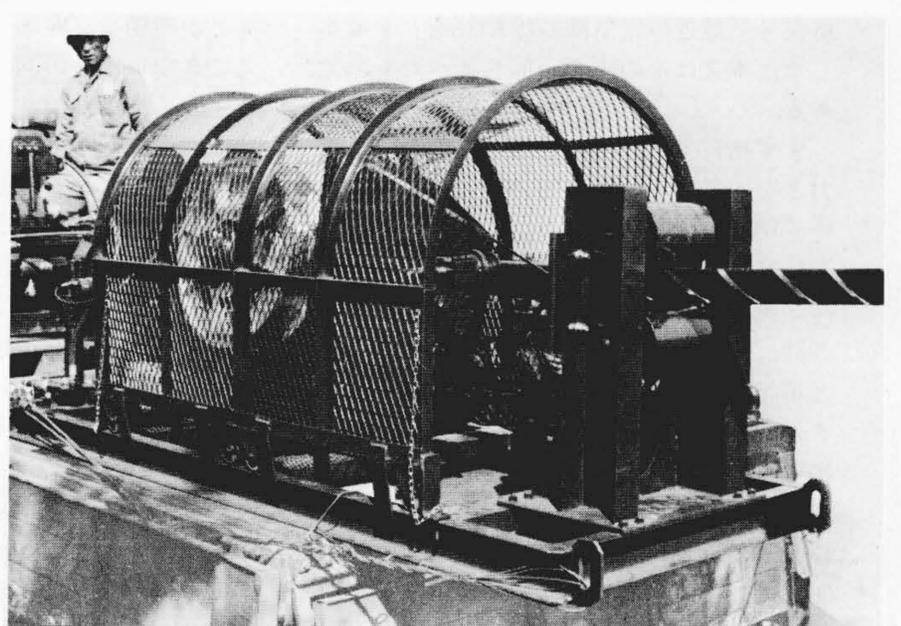


図4 ラッシングマシン 現地で、ケーブル線心とメッセンジャーワイヤを集合し、ラッシング作業を行なう。電気・油圧サーボシステムによって制御され、油圧により駆動される。

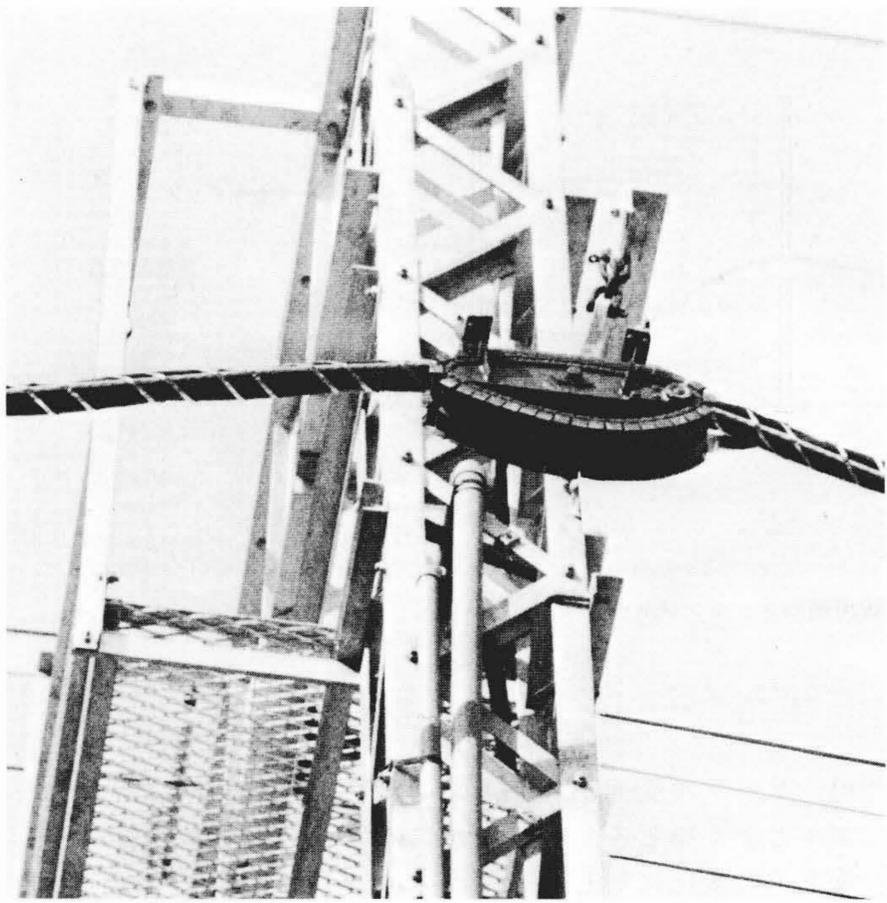


図5 つり架キャタピラ 布設時にケーブルに加わる側圧を小さくし、ケーブルの支持点間隔を支持柱間隔と同程度に大きくすることができる。

は制動用キャタピラによってケーブルにバックテンションを加え、支持柱間の「ケーブルのたるみ」を調整しながらケーブルをつり架キャタピラの上に布設していく。

このように、新工法によると制動キャタピラによって布設

時の「ケーブルのたるみ」を自由に調整でき、つり架キャタピラによって側圧を小さくすることができるため、布設用の補助メッセンジャーワイヤや多くの延線用ころが不要である。したがって、高所作業を大幅に減少させ、布設準備及び撤収の作業時間を極めて短くし、工事費を低減させることができる。

## 6 結 言

半導電性ビニルシース架空ケーブルと新工法の開発により、次に要約されるような効果を挙げる事ができた。

- (1) 雷サージ侵入時のシースの絶縁破壊を防止するとともに、耐食性、布設時の取扱い性及び端末処理や接続作業性の優れた信頼性の高い架空ケーブルを得ることができた。
- (2) 布設作業での高所作業を大幅に減少させ、省力化と工事費の低減が可能となった。

今後、新工法の特長を生かして、従来、架空ケーブルを適用するのが困難視されていた高所作業が困難な、あるいは作業時間に制限のある(例えば、鉄道線路脇の給電線路)線路へも広く応用することが可能である。

最後に、これらの開発に当たり、御指導、御援助をいただいた関係各位に対し、深謝の意を表わす次第である。

## 参考文献

- 1) 朝倉, ほか4名: 22kV半導電性シース架空ケーブル, 昭53電気学会全国大会, No. 855 (昭53-4)
- 2) 赤沢, ほか3名: 架空ケーブルの新吊線工法の開発, 昭54電気協会通常総会, 配電2 (昭54-6)

## 論文抄録

## 冷却の研究と計測

日立製作所 中山 恒・赤津利雄

電気学会雑誌 99—5, 398~402 (昭54-5)

電気機器の冷却は、信頼性はもとより製品の性能に対しても、直接の制約要因となるほど重要な問題になってきている。このような状況に対応して、電気学会雑誌では特集号「最近の電気機器冷却技術」を編集した。本文はその中の一節を述べたものである。

まず緒言では、冷却技術の発展に大きな力となっている計測技術の最近の動向について紹介した。すなわち、温度計測では半導体感温センサ及びサーモグラフィの進歩、冷却流体の流れに関する計測ではレーザ流速計、流れの可視化の進歩、また信号伝達と情報処理に関してはマイクロコンピュータの使用、FM発振器、光ファイバなど非接触信号伝達手段の発達がある。

2章以下では著者らが経験した具体例を紹介している。まず実際に作動している変圧器で、温度分布を測定するサーモグラフィの例について述べた。サーモグラフィは赤外線感知センサを用い、カメラフィルム上あるいはブラウン管上に温度分布を表示

するものである。測温対象物の輻射率を校正試験によって把握さえしておけば、温度分布の全体を短時間のうちに求めることができる。更に、非接触測定であるから、電場とか磁場の存在のために熱電対などが挿入できない場合の測定に特に有用である。変圧器の油冷却用パネルラジエータの例では、油の流れが一樣で冷却面全体が有効に働いていることを確認した。

透明なプラスチックなどで機器のモデルを作り、冷却流体の流れが実際にどうなっているかを目視することも、冷却の改善を図るうえで有力な手掛かりを与えてくれる。自冷式変圧器のように、冷却流体が浮力によって駆動されている場合には、流れのトレーサ(追従子)の選択が重要である。流体との間に比重差がないものを選ばねばならない。チモールブルー水溶液の電解着色、あるいは化学反応による着色を利用する方法はこの点で適している。三次元的に複雑なパターンをもっている空気の速い流れに対しては、ヘリウムのシャボン玉を浮かせ

る方法も有効である。こうした計測と可視化の手段に加え、流れと熱伝達の数値解析を併用すれば、定量的で精度の高い冷却解析が可能となる。

回転体の計測は一般に難しい課題を含んでいるが、水冷却回転子の計測は著者らの経験したものの中では最大規模のものであった。タービン発電機の大容量化に対処するため、日立製作所では完全水冷発電機を試作した。回転子に取り付けられた界磁コイルは中空になっており、内部に冷却水を流す。コイル各部の応力、温度及び水圧の測定点数は約100点にのぼり、センサに対する遠心力、磁界などの影響はあらかじめ慎重に調べられた。回転軸からの信号取出しにはスリップリングを用いた。このような多数点の測定を可能にするため、光信号により、回転軸上の電子スイッチの切換えを行なう新しい方法を採用した。測定結果は理論解析結果ともよく一致し、大容量機設計のための貴重なデータとなった。