

新しく開発した4導体スペーサの性能

Characteristics of 4-conductor Spacer with New Design Concept

星野 弘之*
Hiroyuki Hoshino

田中 昭*
Akira Tanaka

大島 興洋*
Okihiro Ōshima

要 旨

4導体送電線用スペーサとして従来複導体用に使われてきたボールソケット形をそのまま応用したものは、ソケット部が摩耗脱落するという問題が生じた。このため新しい概念のスペーサを各種試作検討した結果、ブッシュ形スペーサが耐摩耗性が良好で、把持部電線にも悪影響を与えないすぐれた形状であることがわかり実線路に採用された。

1. 緒 言

わが国で複導体送電方式が採用されてから十数年を経過したが、これに使用されてきた複導体スペーサのほとんどがボールソケット形であった。その形の決定にあたっては当時考えられるすべての運動に対して種々試験が行なわれ、ボールソケット形がほかの方式に比べ、電線の運動が容易でクランプ把持部電線に傷がつかず、もっともすぐれているというので採用された⁽¹⁾。

昭和38年日本で初めての4導体送電線が建設された際には、複導体で支障なく十数年の使用実績を示しているため、スペーサクランプの構造としてその形がそのまま採用された(図1参照)。ところがこの4導体スペーサは、複導体スペーサのクランプが水平方向であったのに対して、クランプが垂直方向を向いており、電線とスペーサの荷重を上部2個のクランプでささえる形状であった。また複導体送電線に比べ4導体は運動の自由度が多く、かなり複雑な運動をするほか、クランプ部で微風振動を吸収する役目をしたことなどの理由のため、クランプのソケット部の摩耗はきわめて早い速度で進行し、風の吹き抜けのはげしい場所で脱落するという問題が生じた。われわれはこの問題を解決するため、ボールソケット形に比べ耐摩耗性がきわめてすぐれているスペーサを開発したので、以下その機構および性能について述べる。

2. 新形スペーサの開発

多導体スペーサを設計する際に考えるべき基本条件は、

- (1) 素導体間隔を一定に保つこと。
- (2) 風、スリットジャンプ、短絡電磁力などによる素導体相互の運動に対応してある程度の自由度をもって運動し、電線やスペーサ自体を傷つけないこと。
- (3) 電線よりもコロナ特性がすぐれていること。
- (4) 耐食性がすぐれていること。
- (5) 冬季氷雪のついた状態から、夏季に全負荷電流が流れた状態までの送電線使用温度範囲で十分な寿命を保つこと。

であり、この条件を満足するスペーサの開発が必要となる。

これまで使用されてきたボールソケット形スペーサは、クランプがあらゆる方向にある角度だけ運動するので、線路方向、線路と直角方向または短絡時の電線運動に対して、電線をいためず対応できるというすぐれた特性をもっている。しかし一方では可動のクランプ部が完全な結合でないため、クランプとボール間の相互摩耗がおこり、ついにはクランプが脱落することになる。このような欠点を除くためにはボールソケット結合以外の機構を採用するほかはない。摩耗対策としてボールソケット形を、たとえば固定形に代えることは、クランプ部分の摩耗はなくなるがクランプの運動が不可能

* 日立電線株式会社日高工場



図1 ボールソケット形4導体スペーサ

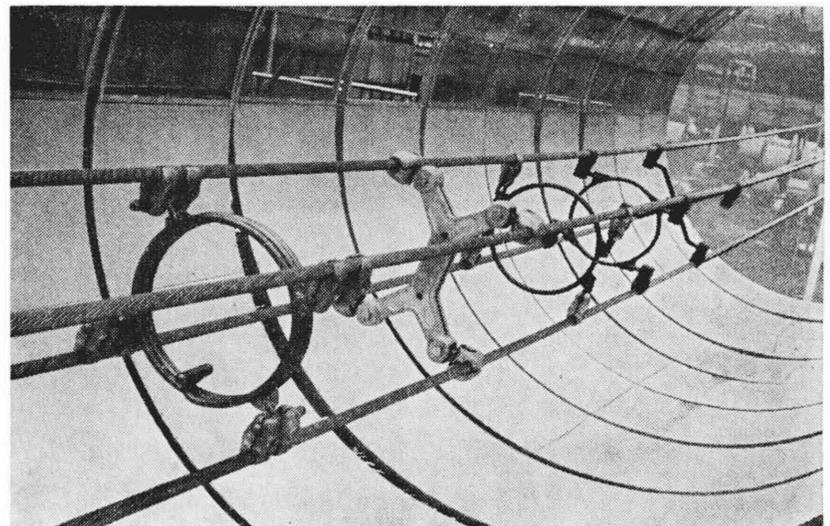


図2 試作した各種スペーサ

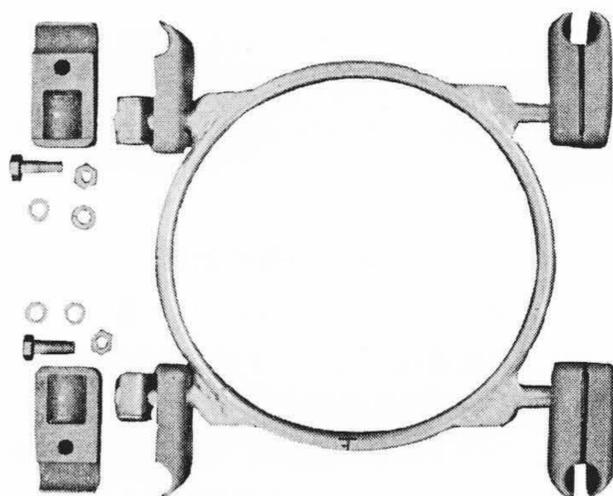


図3 ブッシュ形導体スペーサ

になるので、把持部電線や連結部をいためる可能性がある。特に山間地の豪雪地帯ではこの傾向が著しい⁽²⁾。

このような条件を考慮してボールソケット形に代わるものとして、われわれは図2に示すような各種スペーサを試作し、摩耗疲労試験を行なったが、その結果図3に示すブッシュ形スペーサがもっ

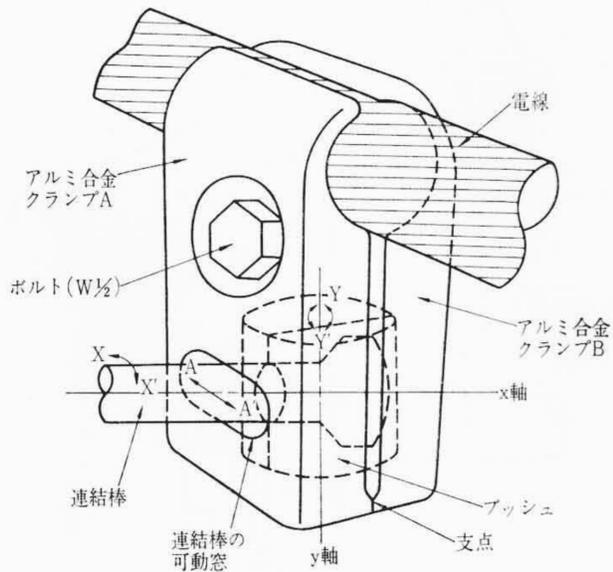


図4 ブッシュ形スペーサクランプ

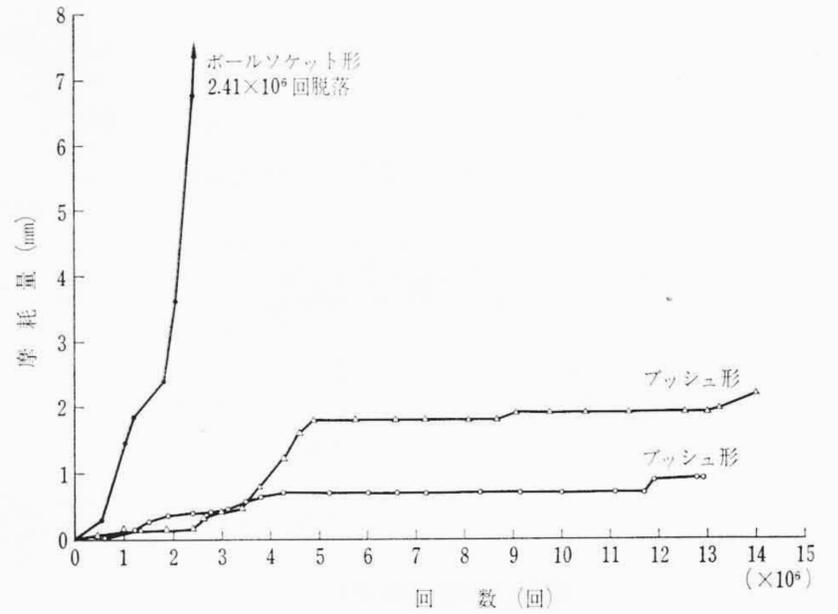


図7 寿命試験結果

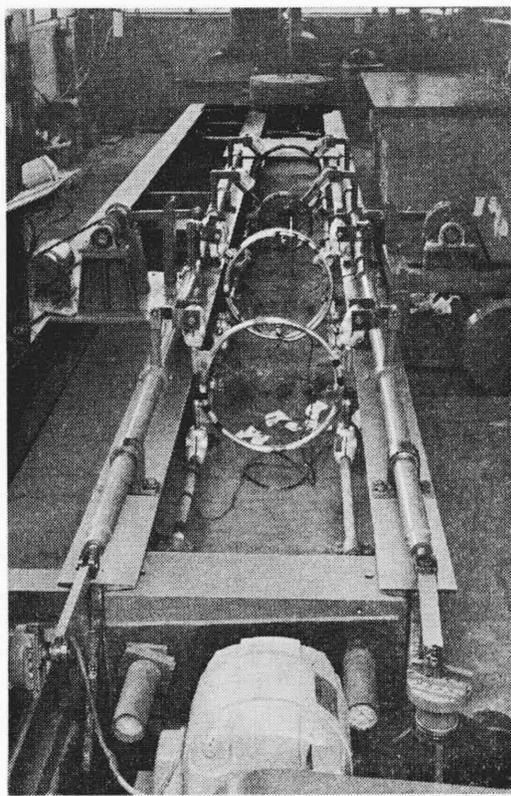


図5 寿命試験装置

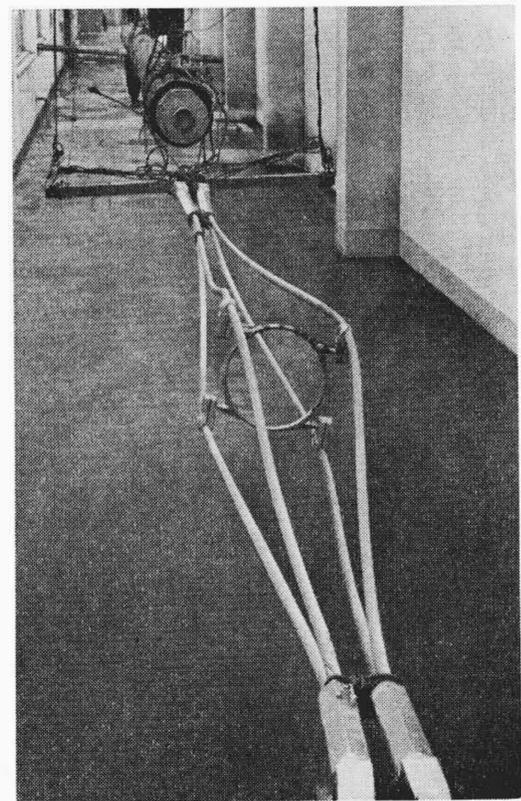


図8 衝撃試験状況

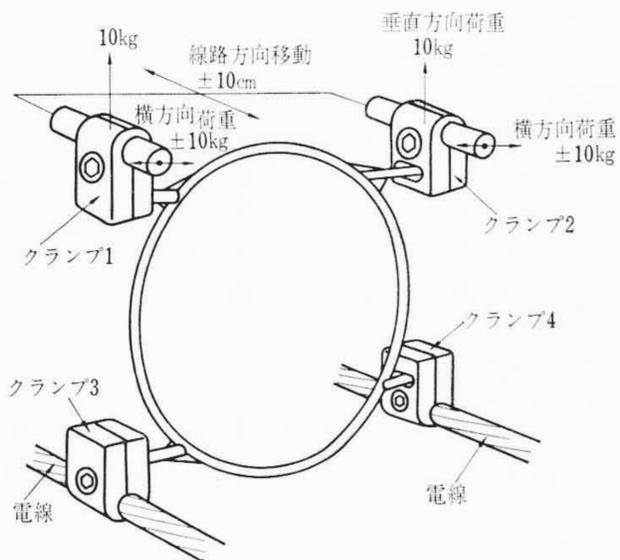


図6 寿命試験方法

ともすぐれていることがわかった。このブッシュ形スペーサのクランプ部の構造を図4に示す。2個に分割されたアルミ合金クランプで下端を支点とし、ボルト、ナットによって電線を強く締め付ける。クランプ内面には円筒形をした半割りのブッシュがそう入されており、クランプとブッシュの間には互いに滑動しうるような若干の余裕があるため、ブッシュはクランプに対してY軸を中心として回

転できる。連結棒はブッシュから抜け出さないように端部を太くしており、ブッシュにそう入されている。このためブッシュのY軸を中心とする回転にもなって、アルミ合金クランプAの連結棒可動窓の幅だけAA'の方向に動くことができる。また連結棒はブッシュに対して滑動しうるため、X軸を中心とした回転XX'方向の動きが可能である。このようにブッシュ形クランプはX軸、Y軸の方向の運動自由度をもっており、振動によりクランプ部電線に有害なひずみや傷のつくことはない。一方この方式のクランプでは電線のねじれ方向の運動に対しては自由度がない。しかしながらスペーサの配置距離は25m程度あり、この間で180度ねん回したとしてもそれによって生ずる素線ひずみは小さく実用上問題ないと考えられる。410mm² ACSRの場合30×10⁻⁶、応力換算0.18kg/mm²程度である。

3. スペーサの性能試験

3.1 寿命試験

スペーサの耐疲労性を調べるために行なった寿命試験装置を図5に、その試験方法を図6に示す。410mm² ACSR二条に3,500kgの張力を加え架線し、クランプ3、4を取り付けた。クランプ1、2を電線径と同一径の可動軸に取り付け垂直方向荷重10kgを加えた。

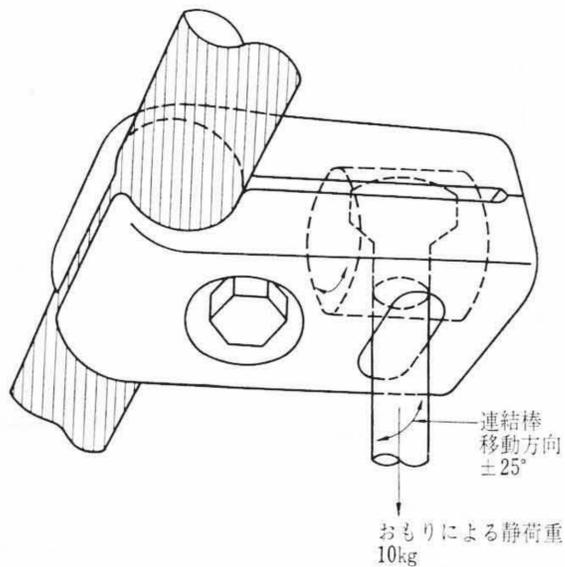


図 9 水平方向摩耗試験

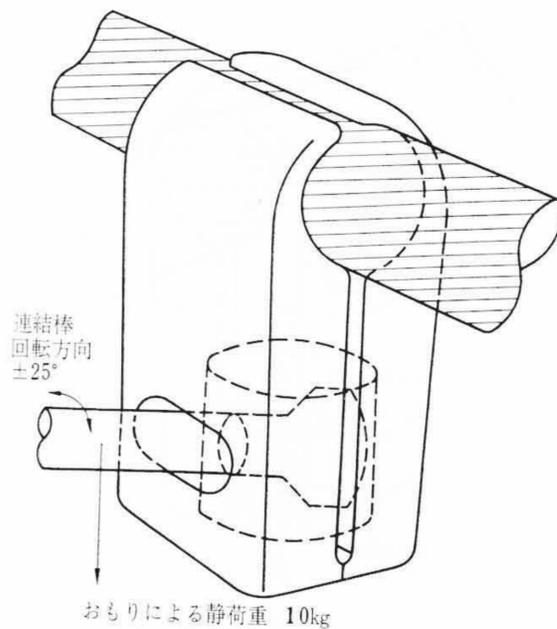


図 11 垂直方向摩耗試験

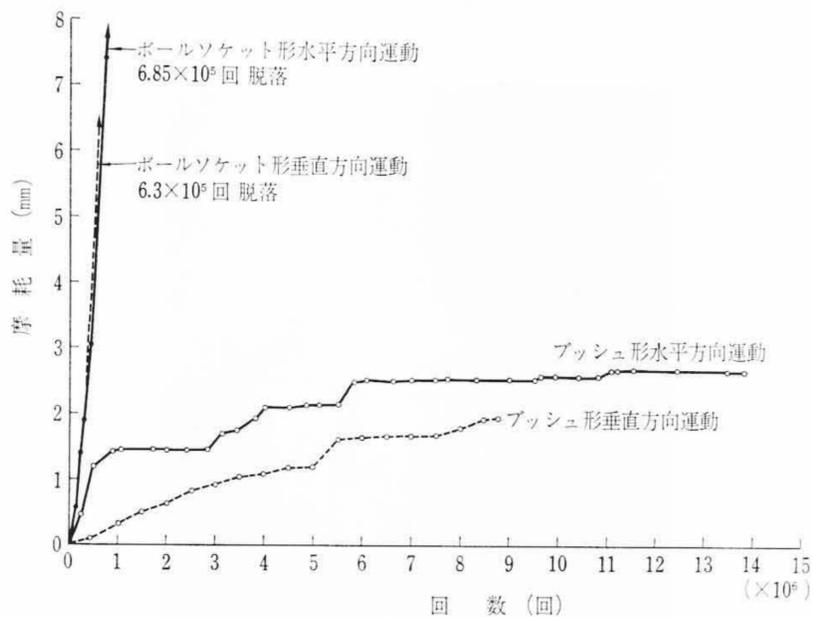


図 10 水平垂直方向摩耗試験結果

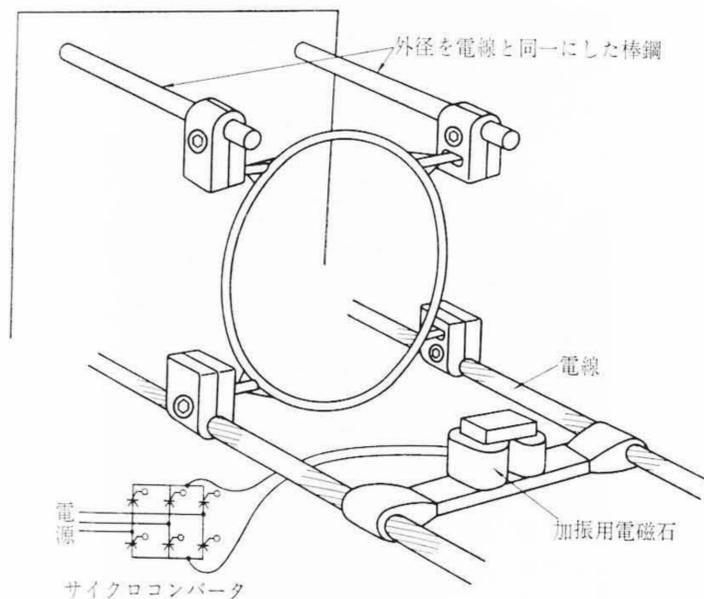


図 12 微風振動試験方法

線路方向の運動は可動軸により ±10 cm の移動量を与え、線路と直角方向に ±10 kg の荷重により変位を与えた。このようにして線路方向とその直角方向の運動を同時に与え、摩耗試験を行なった結果を図 7 に示す。1.4 × 10⁷ 回の試験後でもクランプ把持部電線にはなんらの悪影響を与えておらず、クランプ部の摩耗も少なくまだ十分使用できる状態であった。

3.2 等価短絡衝撃試験

410 mm² ACSR 4 導体において、電線張力一条あたり 3,500 kg、短絡電流 30 kA、継続時間 5 サイクル、電線重量一条あたり 1.673 kg/m のときの短絡衝撃圧縮力を 300 kg と想定した。試験は 4 本の ACSR の両端を圧縮し一点にしぼってから一端をロードセルに接続し、他端に木柱をおもりとした振子で衝撃荷重を与える方法で行なった。その状況を図 8 に示す。衝撃荷重による各部のひずみを測定した結果、いずれも弾性限をこえるような値は発生しなかった。また試験後のスペーサも測定できるような寸法変化はなく、クランプ把持部電線表面にも傷は発生しなかった。

別に行なった静荷重による求心荷重試験によると、求心荷重 731 kg で最初クランプ電線中心間隔が 400 mm 正方形であったものがようやく 396 mm, 398 mm, 392 mm, 402 mm とわずかに変動した。以上の結果より新形スペーサは短絡電流 30 kA による電磁力に対して十分な強度を有していることがわかる。

3.3 把持力試験

送電線のねん回や振動によりスペーサクランプが電線上をすべり、電線に傷をつけるおそれがないかどうか検討するため、電線軸直角方向の回転把持力試験を行なった。送電線をねん回した場合、電線のねじり剛性によって生ずるねん回モーメントは次式で与えら

れる。

$$M = G \frac{\theta}{l}$$

ここで、 G : 電線のねじり剛性 (410 mm² ACSR の場合 16~17 kg-m²/rad)

θ : ねじれ角 (rad)

l : ねん回長さ (m)

410 mm² ACSR の場合、最小スペーサ間隔 15 m、ねん回角 90 度とすると、素導体一本に生ずるモーメントは 1.8 kg-m となる。これは片側固定とした場合であるが、両側固定としても 3.6 kg-m であり最小この程度の把持力があればねん回してもクランプが電線上をすべることはない。試験の結果プッシュ形スペーサの回転把持力は、ボルト締付力 4 kg-m とした場合 12~13 kg-m、5 kg-m の場合 14~15 kg-m あり、必要把持力に対し十分余裕のある値を有している。

3.4 疲労、摩耗試験

寿命試験のほかにプッシュ形スペーサクランプの可動部の耐疲労および耐摩耗性を確認するため次の試験を行なった。

3.4.1 電線水平方向摩耗試験

図 9 に示すような方法でアルミ合金クランプとプッシュ間の耐摩耗性を測定した。連結棒の移動量は ±25 度、繰返し運動の周期は 0.8 c/s とした。電線を固定して試験したが、電線が水平面内でクランプを中心として ±25 度運動した場合と等価である。試験結果を図 10 に示す。この試験においてボールソケット形は 63

表1 乾燥時コロナ雑音レベル (dB)

	無線のみ	スペーサ取付
平均値	62.3	58.2
標準偏差	1.655	2.052
$M+3\sigma$	67.3	64.4

万回でクランプがボール部から離脱した。ブッシュ形は900万回で2mm程度の抜け出しであり、まだスペーサとして十分使用できる状態である。

3.4.2 電線と垂直方向の摩耗試験

図11に示す方法で、電線が垂直面内でクランプを中心として運動した場合と等価の試験を行なった。連結棒の回転は±25度程度、周期は1c/sである。図10はその試験結果である。この試験においても水平方向と同様ボールソケット形に比べブッシュ形は耐摩耗性がきわめてすぐれていることを示しており、20倍以上の寿命があると考えられる。

3.4.3 微風振動試験

図12に示すような方法で微風振動による摩耗試験を行なった。当初電源の関係で0.5mm(全振幅)の振動を与えて実験したが摩耗は生じなかった。のちにサイクロコンバータによって加振することにして3mm(全振幅)の振動を加えた。周波数は45c/s程度である。この試験によっても摩耗の傾向はなく約10⁷回で解体した結果ではクランプ内面のブッシュとの接触部分に若干の摩耗による光沢が出ている程度であった。

3.5 コロナ試験

試験は直径3m、長さ18mの開放形超高圧同心円筒で実施した。電圧は350kV試験変圧器より中空導体を通じて印加される。試料は410mm²ACSRを線間400mmで正方配列し、その中央部にスペーサを取り付けた。試験は電線のみの場合と電線にスペーサを取り付けた場合とについて行なわれ、乾燥時、注水時のコロナ雑音レベルおよび可視コロナ開始電圧を測定した。

超高圧同心円筒中の導体またはスペーサのコロナ特性は導体またはスペーサ表面の最大電位傾度が等しいならば送電線のコロナ特性と同一であることが認められている。超高圧同心円筒の印加電圧とその内部に張られた4導体の表面最大電位傾度の間には次の関係がある。

$$g_{\max} = \frac{V_c \left(1 + \frac{3r}{\sqrt{2}a}\right)}{4r \log_e \frac{D_c}{2^{1/8} r^{1/4} (2a)^{3/4}}}$$

ここで、 g_{\max} : 超高圧同心円筒の導体表面最大電位傾度 (kV/cm)

V_c : 超高圧同心円筒の印加電圧実効値 (kV)

D_c : 超高圧同心円筒の半径 (cm)

r : 素導体半径 (cm)

$2a$: 素導体相互の間隔 (cm)

一方、実際の電線における4導体の導体表面最大電位傾度は

$$G_{\max} = \frac{V}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{3r}{\sqrt{2}a}\right) \frac{1}{4r \log_e \frac{D}{2^{1/8} r^{1/4} (2a)^{3/4}}}$$

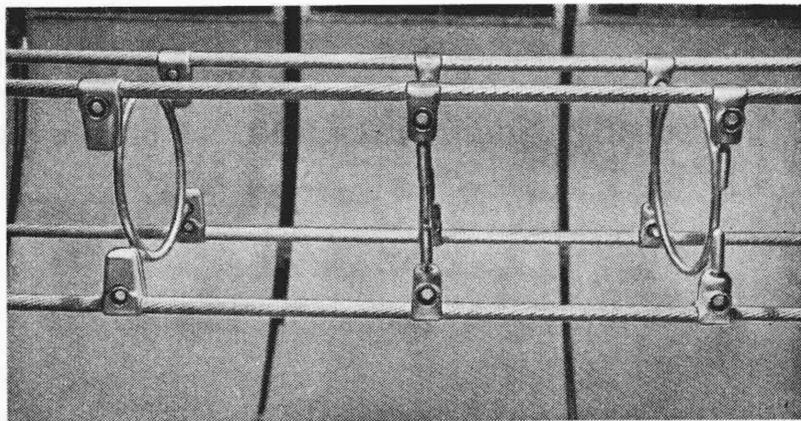


図13 コロナ試験状況

ただし、 G_{\max} : 送電線の導体表面最大電位傾度 (kV/cm)

V : 送電電圧の実効値 (kV)

D : 等価相間距離 (kV)

$g_{\max} = G_{\max}$ として送電電圧と同心円筒印加電圧の関係を求めると $V = 3.6 V_c$ となり、送電電圧525kVは同心円筒電圧146kVに相当する。

送電電圧525kVにおける乾燥時のコロナ雑音レベルの測定点100点の平均値および標準偏差を表1に示す。また注水時のコロナ雑音レベルの最大値は、電線のみの場合82.3dB、スペーサ取り付けの場合は82.7dBであった。

可視コロナ開始電圧は乾燥時電線が送電電圧550kVであったのに対し、スペーサは870kVでもコロナが発生しなかった。注水時は電線が360kV、スペーサが407kVであった。図13は試験状況を示したものである。

4. 結 言

耐摩耗性を改良したブッシュ形スペーサを開発し、各種性能試験を行なった結果次のようなことがわかった。

- (1) 4導体の振動に対してブッシュ形スペーサクランプの摩耗強度は従来のボールソケット形に対して非常に大きい。ボールソケット形スペーサが脱落する10倍以上の繰返し数でも大きな摩耗はみられない。また微振動に対しても十分な強度を有している。
- (2) クランプの把持力は15mのスペーサ間隔で90度ねん回しても回転しないだけの十分な強度を有している。
- (3) 短絡時に発生する衝撃的求心力に対しても十分な強度を有しており弾性限を越えるようなひずみの発生や変形も生じなかった。
- (4) コロナ特性は乾燥時注水時とも電線よりすぐれており、500kV送電線に使用してもなんら問題ない。

以上のように各種特性がすぐれていることが認められ東京電力株式会社東部幹線(亘長31km, 275kV)用として全量約4,500組納入した。

最後にこの新形スペーサ開発にあたり種々ご指導いただいた東京電力株式会社安井副長ほか関係各位および日立電線株式会社電力ケーブル部、研究部、検査部の諸氏に感謝の意を表す。

参 考 文 献

(1) 永野, 大和田, 山路: 日立評論 41, 1361 (昭34-10)
 (2) 高倉, 緒方: 電力 50, p.14~24 (昭41-9)