架空絶縁電線表面における乾燥、湿潤状態での沿面放電現象

正員 西 敏 行 (富山高専)

正員 花 岡 良 一 (金沢工大)

正員 石 橋 鏐 造 (金沢工大)

Impulse Creeping Discharge Phenomena on Aerial Insulated Wire under Dry and Wet Conditions

Toshiyuki Nishi, Member(Toyama National College of Technology), Ryoichi Hanaoka, Member, Ryozo Ishibashi, Member
(Kanazawa Institute of Technology)

In high voltage aerial distribution systems, a compound insulation system consisting of an insulator and the wire insulation layer exists at insulated wire supporting points. Hence, complicated discharge phenomena can occur at these supporting points due to the presence of overvoltage caused by lightning. If there is a weak point in the wire insulation, the creeping discharge generates a punch-through breakdown at this point and the arc spot is fixed at this breakdown point resulting in a disconnection. Furthermore, an aerial insulated wire in the outdoors are exposed to some kinds of weather condition, such as rain, snow, fog and humidity, and the discharge phenomena are more complicated by these conditions. The clarification of breakdown phenomena in these insulation systems will contribute to the prevention of wire melting accidents.

In this paper, we report the effect of the polarity both on the lengths and the shapes of the creeping discharge which progress on the insulated wire under dry and wet conditions.

キーワード：架空絶縁電線，沿面放電，雷インパルス，雷害対策，水滴

1. まえがき

高圧架空配電系統において、絶縁電線はがいしにより支持されている。その支持点では、大地、電線の心線、被覆、がいし及びがいしと電線を固定するバインド線によって複合的な絶縁系が構成される。そのため、電線の心線に雷過電圧が侵入すると、その支持点では複雑な放電現象が発生し、それが電線溶断事故の原因となることは前報でも述べた⁽¹⁾⁽²⁾。このような断線事故の対策として、これまで種々の研究⁽³⁾⁽⁴⁾が行われているが、未だ完全な解決策は得られていない。その理由の一つとして、電線表面に発生する沿面放電現象そのものに未解明な点の多いことが挙げられる。また、屋外配電線は、雨、雪など様々な気象条件にさらされるため、そのような条件下における沿面放電現象は、さらに複雑になることが予想される。著者らは、これまで上記の絶縁系における放電機構を明らかにするため、がいし表面の絶縁破壊後に電線表面を進展するインパルス沿面放電の特性を検討してきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

沿面放電に関しては、これまで針-平板電極系において平板電極上に絶縁物を置き、針電極に電圧を印加した場合のリヒテンベルグ図形から多くの研究がなされてきた⁽⁷⁾。この場合の沿面放電は、針電極を中心として絶縁物上を放

射状に進展する。そのため研究は主として放電の平面的な広がりを詳細に観測し考察したものが多く、空間的な広がりには注目して観測した例は少ない。また、このような平板上の沿面放電を本研究の放電現象と比較すると無限長の半径を有する絶縁電線表面の沿面放電に相当する。これに対して、有限半径を持つ実用の絶縁電線表面を進展する沿面放電は、電線の半径方向に空間的な広がりを持ってその軸方向に進展する。そのため、この種の放電機構を解明するには、放電の進展方向の測定に加えて空間的な広がりも同時に測定することが重要である。

本論文では、このような観点から沿面放電の進展様相に注目して、絶縁電線表面が乾燥及び湿潤した状態における正極性、負極性沿面放電の進展長と進展様相を静止カメラとイメージインテンシファイヤにより観測した。その結果、乾燥状態での進展様相は極性により著しく異なることが判明した。特に、負極性沿面放電では、印加電圧波高値がある値以上になると放電先端部の様相が変化し、これが放電進展の抑制効果を持つという新しい知見を得た。また、雨上がりの状態を想定して電線表面に水滴を付着させた場合(湿潤状態)における沿面放電の進展長と進展様相についても乾燥状態とは異なる知見が得られたので、ここに報告する。

2. 実験方法

<2.1> 実験回路 実験回路を図1に示す。誘導雷を模擬するためインパルス電圧発生器（IG）により標準雷インパルス電圧（ $\pm 1.2/50 \mu\text{s}$ ）を発生させ供試絶縁電線の心線に印加した。実際の架空絶縁電線はバインド線によってがいしに支持されているが、本実験では、がいしがせん絡した状態を想定して、がいしを実験回路から取り除き、バインド線を放電電流観測用の抵抗（ 50Ω ）を通して接地した。また、通常の沿面放電はバインド線の両端から進展するが、観測を容易にするため、片側からのみ進展させるようにした。すなわち、図1のようにバインド線の片側に銅製ホーンを取り付け、電線との間にパラフィンを充填してシールドした。バインド線は、その先端が垂直に切断された直径5.5mmの合金線（鉛97%、アンチモン3%）であり、電線表面に軽く接している。表1に絶縁電線の仕様を示す。電線の全長は5mで、地上75cmの高さに架設されている。電線の湿潤状態は雨上がりの状態を想定して、霧吹きにより電線表面に水滴（導電率 $\sigma=215 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、 $\text{pH}=5\sim 6$ ）を付着させて作った。

実験は、絶縁電線の心線にインパルス電圧を1回のみ印加し、電線表面の乾燥状態と湿潤状態の両者についてバインド線先端より進展する正極性及び負極性沿面放電の進展長と進展様相を観測した。電圧印加後は電線表面をアースし、アルコールで拭き残留電荷を除去した。また、実験室内は空調を行い、気温約 20°C 、湿度約40%に保ち実験条件を統一して進展長のばらつきを極力抑えた。

図1 実験回路
Fig.1. Experimental circuit.

表1 供試絶縁電線

Table 1. Data of insulated wire.

仕上がり外径 (mm)	全長 (m)	導 体			絶 縁 物		
		公称断面積 (mm ²)	構成 (本/φmm)	外径 (mm)	絶縁物の厚さ (mm)	主材質	比誘電率
10.0	5.0	22.0	7/2.0	6.0	2.0	ポリエチレン	2.3

なお、図1において絶縁電線の心線に正極性のインパルス電圧を印加したときは、バインド線先端から負極性沿面放電が進展し、負極性のインパルス電圧を印加したときは正極性沿面放電が進展することとなる。

3. 実験結果及び考察

<3.1> 印加電圧波高値と沿面放電進展長の関係

(I) 電線表面が乾燥状態にある場合 印加電圧波高値（以下、 V_m と略す）に対する沿面放電の進展長を図2に示す。各測定点は10回の測定の平均値であり、進展長のばらつきは、 $V_m=50 \text{ kV}$ における負極性沿面放電の場合（B点）を除いて約 $\pm 10\%$ である。B点では、<3.2>で詳述されるように進展長の異なる二つの放電形態が混在するため、進展長のばらつきは約 $\pm 30\%$ と大きくなる。同図より正極性沿面放電の進展長は、 V_m の上昇に伴って単調に増加する。一方、負極性沿面放電の進展長は、 $V_m \leq 50 \text{ kV}$ の範囲（図中A-B）において、 V_m の上昇とともに単調に増加し、かつ、正極性沿面放電よりも長くなる。ところが、 $V_m > 50 \text{ kV}$ の範囲（図中B-C）においては、進展長は次第に減少し、やがて正極性沿面放電よりも短くなる。この特異な現象は、負極性沿面放電の進展様相に起因する。すなわち、後で詳述されるように、 $V_m \approx 50 \text{ kV}$ を境にして進展様相が変化するためである。

図2に示されるように、乾燥状態にある絶縁電線表面の沿面放電は、平均進展長に関して著しい極性効果を持つ。すなわち、正極性沿面放電の平均進展長は、雷サージ電圧が高いものほど長くなり、負極性沿面放電の平均進展長は、 $V_m \approx 50 \text{ kV}$ で最大値を示す。この最大進展長は、正極性沿面放電における $V_m \approx 73 \text{ kV}$ のときの値に匹敵する。このような極性効果から、実際の架空絶縁電線の支持点に誘導雷が侵入した場合、次のことが予想される。すなわち、絶縁被覆のピンホールがバインド線から離れた位置に存在し、正極性沿面放電ではそのピンホールに到達せず貫通破壊を起こさないような低い雷サージ電圧でも、負極性沿面放電では進展長が長くなるためピンホールに到達して貫通破壊を起こす可能性が十分に考えられる。従って、電線溶断などの事故発生確率は、比較的低い雷サージ電圧では負極性沿面放電のときに、逆に、高い雷サージ電圧では正極性沿面放電のときに増加することが指摘される。わが国では、夏季に発生する対地雷放電は一般にほとんどが負極性であるが、冬季には日本海側で正極性対地雷放電の発生割合が増大⁽³⁾するため、今回の実験で得られた結果は、雷害対策に重要な指標を与えるものと思われる。

(II) 電線表面が湿潤状態にある場合 図3に印加電圧波高値と沿面放電進展長の関係を示す。各測定点は、10回の測定の平均値であり、進展長のばらつきは約 $\pm 10\%$ である。 $V_m \geq 40 \text{ kV}$ において、正極性沿面放電の進展長は、負極性沿面放電よりも長くなる。正極性沿面放電の進展長は、印加電圧波高値の上昇に伴って単調に増加しており、図2で示された乾燥状態における進展長との差異はほとん

図2 印加電圧波高値-沿面放電進展長特性 (乾燥状態)

Fig.2. Relation between peak value of applied impulse voltage and length of creeping discharge under dry conditions.

図3 印加電圧波高値-沿面放電進展長特性 (湿潤状態)

Fig.3. Relation between peak value of applied impulse voltage and length of creeping discharge under wet conditions.

と見られない。従って、電線表面の乾湿条件に対する進展長の依存性はないと言える。しかし、負極性沿面放電の進展長は、乾燥状態の場合(図2)と異なり、 V_m の上昇に伴って単調に増加している。また、図2における乾燥状態での負極性沿面放電の進展長特性と図3における湿潤状態での負極性沿面放電の進展長特性を比較すると、 $V_m \approx 68$ kVのときに両者の進展長が等しくなっている。これより、湿潤状態での $V_m \leq 68$ kVにおける進展長は、乾燥状態のときよりも短く、逆に、 $V_m > 68$ kVにおいては長くなるのがわかる。例えば、 $V_m = 40$ kVにおける進展長は乾燥状態のときの約1/4に減少し、 $V_m = 80$ kVでは約3倍に増加する。これらの特性より、比較的低い雷サージ電圧で発生した負極性沿面放電による事故確率は、湿潤状態にある絶縁電線の方が乾燥状態の場合よりも減少するものと考えられる。しかし、高い雷サージ電圧で発生した沿面放電の場合には、その進展長は正極性、負極性ともに長くなり、このため事故確率は乾燥状態より増加すると予想される。

(a) バインド線先端の様相 (b) 沿面放電先端の様相
 $V_m = -80$ kV, $L = 50$ cm $V_m = -80$ kV, $L = 44$ cm

図4 正極性沿面放電の進展様相(乾燥状態)

Fig.4. Typical examples of positive creeping discharge under dry conditions.

バインド線先端の様相
 $V_m = 80$ kV, $L = 23$ cm

図5 負極性沿面放電の進展様相(乾燥状態)

Fig.5. Typical examples of negative creeping discharge near the free end of the binding wire under dry conditions.

3.2> 沿面放電の進展様相

(I) 電線表面が乾燥状態にある場合

(A) 正極性沿面放電 図4は正極性沿面放電の典型的な進展様相を示す。これは静止カメラにイメージインテンシファイヤを装着することにより撮影されたものである。(a)はバインド線先端の様相を示しており、 $V_m = -80$ kV、進展長は50 cmであった。また、(b)は沿面放電先端の様相であり、 $V_m = -80$ kV、進展長は44 cmであった。これらより正極性沿面放電は電線表面をジャンプしながら進展することがわかる。また、測定された全ての進展様相は、 V_m 及び進展長の長短に関わらず進展途中で変化することなく、常に電線表面をジャンプしながら進展していた。

(B) 負極性沿面放電 図5はバインド線先端における負極性沿面放電の典型的な進展様相を示す。これは $V_m = 80$ kV、進展長が23 cmの場合である。負極性沿面放電は、バインド線先端では電線表面に密着して進展し、正極性沿面放電の場合に現れたような電線表面からのジャンプ現象は見られない。また、放電の幹をなすリーダから電線

の側面に沿って細い筋状の放電が多数伸びている。このような放電形態は、バインド線先端において、 V_m 及び進展長が変化しても常に観測される。

ところで、負極性沿面放電の進展長は、 $V_m \approx 50 \text{ kV}$ を境にして急変することを図2に示した。この原因を明確にするため、 $V_m \leq 50 \text{ kV}$ の領域（図2のA-B）と $V_m > 50 \text{ kV}$ の領域（図2のB-C）において沿面放電先端の様相がどのように変化するかを調べた。

(1) $V_m \leq 50 \text{ kV}$ のとき 図6は、この領域における負極性沿面放電先端の典型的な放電様相である。(a)は、 $V_m = 40 \text{ kV}$ の場合の様相であり、放電先端は電線表面に密着している。このように放電先端が密着した形態は、 $V_m \leq 40 \text{ kV}$ の場合に常に現れることが判明した。また、この電圧範囲における沿面放電の進展長は V_m の上昇とともに増加する。(b)は、 $V_m = 50 \text{ kV}$ の場合の様相を示す。この電圧値は図2における負極性沿面放電の平均進展長が増加から減少へ急変する境界の電圧であり、この場合には二種類の放電形態が存在する。すなわち、(b-1)に示されるように放電先端が電線表面に密着する場合と(b-2)に示されるように進展途中は密着しているが、放電先端付近になると電線表面からジャンプする場合である。以後、前者を先端密着型、後者を先端ジャンプ型と呼ぶことにする。進展長は先端密着型の方が先端ジャンプ型よりも約1.8倍長くなる。また、 $V_m = 50 \text{ kV}$ で約100回の測定を行った結果、先端密着型の発生確率は45%、先端ジャンプ型の発生確率は55%であり、両者はほぼ50%の確率で発生することが判明した。

(2) $V_m > 50 \text{ kV}$ のとき 図7は、この領域における負極性沿面放電先端の典型的な放電様相である。(a)は、 $V_m = 60 \text{ kV}$ の場合の様相を示す。この場合も放電先端の形態は、先端密着型と先端ジャンプ型が存在する。(a-1)は先端密着型の代表例であり、(a-2)は先端ジャンプ型の代表例である。 $V_m = 60 \text{ kV}$ の場合には、先端ジャンプ型の発生確率は93%に増加し、先端密着型の発生確率は7%となり極めてまれにしか発生しない。ただし、いったん先端密着型となると、その進展長は V_m が高いために先端ジャンプ型の約2倍程度に長くなる。(b)は、 $V_m = 70 \text{ kV}$ の場合における放電先端の様相を示す。放電形態は先端ジャンプ型となっている。 $V_m \geq 70 \text{ kV}$ における放電先端の形態は先端ジャンプ型のみとなり、先端密着型は存在しなくなる。

図2に示されたような負極性沿面放電の平均進展長が、 $V_m \approx 50 \text{ kV}$ を境として急変する原因は、沿面放電の進展形態と密接に関連しており次のように説明することができる。 $V_m \leq 40 \text{ kV}$ では、沿面放電先端の形態は全て先端密着型となるため、進展長は V_m の上昇とともに単調に増加する。 $V_m = 50 \text{ kV}$ では、先端密着型と先端ジャンプ型がほぼ50%の確率で混在する。前述したように、先端ジャンプ型の進展長は先端密着型のそれよりも短くなることから、 $V_m = 50 \text{ kV}$ では、先端ジャンプ型の混在により平均進展

図6 負極性沿面放電先端の様相 ($V_m \leq 50 \text{ kV}$ 、乾燥状態)

Fig.6. Typical examples near the tip of negative creeping discharge under dry conditions ($V_m \leq 50 \text{ kV}$).

図7 負極性沿面放電先端の様相 ($V_m > 50 \text{ kV}$ 、乾燥状態)

Fig.7. Typical examples near the tip of negative creeping discharge under dry conditions ($V_m > 50 \text{ kV}$).

長の伸びは抑制されることになる。また、 $V_m = 60 \text{ kV}$ の場合には、先端ジャンプ型の発生確率が圧倒的に大きくなるため、平均進展長は $V_m = 50 \text{ kV}$ の場合よりも低下する。さらに、 $V_m \geq 70 \text{ kV}$ では、全て先端ジャンプ型となり、平均進展長はますます減少することとなる。図8は、 $V_m \geq 70 \text{ kV}$ の場合に観測された負極性沿面放電先端の放電様相（先端ジャンプ型）を模式的に示したものである。負極性沿面放電先端近傍における放電形態は、次の三つの領域に分類することができる。

①放電が電線表面に密着して進展する領域

図8 負極性沿面放電先端近傍の模式図
(先端ジャンプ型、 $V_m \geq 70 \text{ kV}$)

Fig.8. Schematic diagram of near the tip of negative creeping discharge ($V_m \geq 70 \text{ kV}$).

- ②放電が電線表面上を円弧状にジャンプする領域
- ③放電が進行方向に対して約 $40 \sim 50^\circ$ の傾きを持ち、離散的にジャンプする領域

この三領域のうち、②と③が存在するとき、沿面放電の進展長は抑制されることから、先端ジャンプ型の放電形態は放電の進展に対して抑制効果を持つことが示唆される。それ故、負極性沿面放電の進展には、放電先端が電線表面に密着しているかジャンプしているかが重要な因子となる。

(C) 負極性沿面放電先端のジャンプ現象についての考察
誘導雷サージ電圧は、架空絶縁電線の心線に侵入するため、心線の電位が上昇し電線表面の電界も上昇する。これによって沿面放電は影響を受ける。負極性沿面放電の内部は、正イオン、負イオン及び電子が混在するプラズマ状態であるが、特に放電先端部では、陰極であるバインド線から供給される電子が多く存在し、衝突電離により生じた正イオンは放電先端後部に残される。プラズマ部分は電気的中性のため電界の影響をあまり受けないが、心線電位が上昇し電線表面の電界が強くなると、放電先端部の正イオン、負イオン、電子は、影響を受けることになる。すなわち、負イオン、電子は、心線の正電圧により電線表面に吸着され、逆に、正イオンは反発されて電線表面から離散する。この離散現象が負極性沿面放電先端に発生するジャンプ現象となって現れる。このため、放電先端部では、正イオン密度が減少し導電率が下がり、放電内部の電位降下が増大する。従って、放電先端ではバインド線からの新たな電子の供給が減少し、急激に電界が低下して周囲の空気を電離できなくなり放電の進展は停止する。今、放電先端の電荷に影響を与え、ジャンプ現象を起こさせるのに十分な電圧値をジャンプ現象誘発電圧 V_j とすると、 $V_m > V_j$ であれば、先端ジャンプ型が多くなる。この場合、放電先端は印加電圧が波高値に達する前にジャンプし始め、放電はこの時点で進展を停止するので、その進展長は V_m の値が高いにも関わらず短くなる。一方、 $V_m < V_j$ のときは先端密着型が多く発生する。この場合は、電線表面の電界が放電先端で発生する正イオンを電線表面から離散させるほど強くないものと考えられる。そのため放電先端後部の正イオンは先端電子群に吸引されプラズマ状態を形成する。この状態での放電先端部は導電率が高いため、バインド線

図9 印加電圧波高値－沿面放電進展長特性
(乾燥状態、負極性沿面放電)

Fig.9. Relation between peak value of applied impulse voltage and length of negative creeping discharge under dry conditions.

から供給される電子は放電先端まで十分に注入され得る。さらに、印加電圧が波高値に達した後においても放電先端のジャンプ現象は生じないため、バインド線からの電子供給時間は先端ジャンプ型の場合よりも長くなる。これは、放電先端において周囲の空気を電離し得るのに十分な電界強度を維持する時間の長いことを意味している。しかし、放電内部の電位降下は、放電進展とともに次第に増加し、バインド線先端から放電先端に供給される電子の減少によって放電先端の電界も次第に低下していく。やがて周囲の空気を電離できなくなると放電は進展を停止する。先端密着型は、先端ジャンプ型に比べバインド線からの電子供給を十分に得ることができ、しかも、その供給時間が長いいため、進展長は先端ジャンプ型より長くなるものと考えられる。

電線が地上より十分高い位置に架設されているため、心線、絶縁被覆、空気、大地からなる系をそれぞれ内円筒、二層誘電体、接地された外円筒とする同軸円筒電極系としてみなすことができる。これより、心線電位が V_j のときの電線表面の電界 E_j は、静電界におけるガウスの法則を適用すれば次式のように表される。

$$E_j = \frac{V_j}{b \left(\ln \frac{c}{b} + \frac{1}{\epsilon_s} \ln \frac{b}{a} \right)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 V_j ：ジャンプ現象誘発電圧、 a ：心線半径、 b ：電線半径、 c ：地上から電線中心までの高さ、 ϵ_s ：電線被覆の比誘電率

今回使用した絶縁電線(表1、これを電線Aとする)においては、 V_j の値は実験結果より 50 kV となる。また、図9に電線B(仕上がり外径 12.0 mm 、被覆の厚さ 3.0 mm 、

表2 各種絶縁電線における V_j 、 E_j Table 2. V_j and E_j of sample test wires.

電線	ジャンプ現象誘発電圧 V_j (kV)	電線表面の電界 E_j (kV/cm)
A	50	19.1
B	60	19.5
C	70	19.7

他の仕様は電線Aと同じ)、電線C(仕上がり外径15.0 mm、導体公称断面積60mm²、導体構成19/2.0本/mm、導体外径11.0mm、他の仕様は電線Aと同じ)についての印加電圧波高値と負極性沿面放電進展長の関係を示す。各測定点は10回の平均値であり、そのばらつきは、電線Bの $V_m=60$ kV、電線Cの $V_m=70$ kVの場合において約±30%、それ以外の電圧では約±10%であった。電線B、Cでは、それぞれ $V_m=60$ 、70 kVのときに平均進展長が最大となり、これらの値が各々の電線の V_j に相当する。表2は電線A、B、Cについての V_j の値と(1)式より求めた E_j の値を示す。表2より、心線電位の上昇によって絶縁電線表面の電界が約19 kV/cmとなる電圧値 V_j のとき、負極性沿面放電先端はジャンプし始めると言える。すなわち、絶縁電線の種類によらず電線表面の電界が、約19 kV/cmとなる電圧値 V_j 付近では、負極性沿面放電は、先端ジャンプ型と先端密着型がほぼ50%ずつ混在し、 V_j より高い電圧では先端ジャンプ型が多く、 V_j より低い電圧では先端密着型が多くなる。

(II) 電線表面が湿潤状態にある場合

(A) 正極性沿面放電 図10は、正極性沿面放電の典型的な進展様相である。(a)は、バインド線先端の様相を示したものである。乾燥状態のときと同じように、電線表面からのジャンプ現象が認められる。また、放電は電線表面のみならず水滴表面にも進展する場合がある。(b)は、バインド線先端から30 cm離れた位置における進展様相を示す。この場合も電線表面からのジャンプ現象が認められる。

(B) 負極性沿面放電 図11は、負極性沿面放電の典型的な進展様相である。(a)はバインド線先端の様相を示したものである。この場合の放電は電線表面だけではなく、水滴表面にも進展している。しかし、乾燥状態(図5)で認められたような電線表面上の規則正しい筋状の放電は見られない。(b)は、バインド線先端から30 cm離れた位置における進展様相を示す。この場合も、電線表面には規則正しい筋状の放電は見られず、乾燥状態での観測結果とは異なる様相を示し、むしろ、正極性沿面放電に類似した様相を示すと言える。また、放電の幹をなすリーダは電

(a) バインド線先端の様相 (b) 電線表面の様相
 $V_m=-80$ kV, $L=50$ cm $V_m=-80$ kV, $L=48$ cm

図10 正極性沿面放電の進展様相(湿潤状態)

Fig.10. Typical examples of positive creeping discharge under wet conditions.

(a) バインド線先端の様相 (b) 電線表面の様相
 $V_m=80$ kV, $L=35$ cm $V_m=80$ kV, $L=38$ cm

図11 負極性沿面放電の進展様相(湿潤状態)

Fig.11. Typical examples of negative creeping discharge under wet conditions.

線から滴っている水滴の表面に沿って進展する傾向を示す。

以上のように、湿潤状態にある電線表面の正及び負極性沿面放電は類似した形態を示す。そのため、図3に示されたように放電の平均進展長は、両者ともほぼ同じ特性を示すものと思われる。

4. 結論

模擬誘導雷を絶縁電線の心線に印加し、電線表面を進展する沿面放電の進展長及び進展様相を詳細に調べ検討を加えた。今回は特に、電線表面が乾燥及び湿潤状態にある場合の相違に着目して実験を行った。その結果、次のような新しい知見を得た。

(I) 電線表面が乾燥状態にある場合

(1) 正極性沿面放電は、電線表面をジャンプしながら進展し、その進展長は印加電圧波高値 V_m の上昇とともに単調に増加する。

(2) 負極性沿面放電は、細い筋状の放電を伴いながら電線表面に密着して進展する。ただし、放電先端において先端密着型と先端ジャンプ型が存在し、放電様相と進展長の関係は、 V_m とジャンプ現象誘発電圧 V_j の値によって次のように変化する。

(a) $V_m \leq V_j$ のとき

進展長は V_m の上昇とともに単調に増加し、正極性沿面放電よりも長くなる。また、 $V_m \doteq V_j$ において平均進展長は最大となる。この電圧範囲における放電様相は、 V_m の値により先端密着型のみの領域と先端密着型、先端ジャンプ型の両者が混在する領域の二つに分けられる。特に、 $V_m \doteq V_j$ においては、先端密着型と先端ジャンプ型の発生確率は、ほぼ50%である。

(b) $V_m > V_j$ のとき

放電先端において、先端密着型と先端ジャンプ型が存在し、後者の発生確率の高い領域と先端ジャンプ型のみの領域の二つに分けられる。先端ジャンプ型の進展長は、先端密着型より短くなるため、この電圧範囲の平均進展長は、 V_m の上昇とともに減少する。

(3) V_j の値は、電線表面の電界が約19kV/cmとなるときに心線電位であることがわかった。

(4) 負極性沿面放電先端のジャンプ現象に伴う進展長特性のため、 V_m の値が低いとき、負極性沿面放電の進展長は正極性沿面放電より長くなり、 V_m の値が高いとき、それらの進展長は逆転する。

(5) 以上より、電線被覆の弱点部がバインド線から離れた位置に存在する場合、比較的低い雷サージ電圧による負極性沿面放電の発生は、正極性沿面放電より電線溶断の危険性を増す。

(II) 電線表面が湿潤状態にある場合

(1) 正極性沿面放電には電線表面からのジャンプ現象が認められ、電線表面のみならず水滴表面に沿っても進展する。その進展長は V_m の上昇とともに単調に増加し、乾燥状態の場合における特性との差異はほとんど見られない。

(2) 負極性沿面放電は、電線表面のみならず電線の下部に滴っている水滴表面に沿っても進展する。また、乾燥状態の場合に存在する細い筋状の放電は見られない。沿面放電の進展長は、 V_m の上昇とともに単調に増加し、正極性沿面放電の進展長特性とほぼ同じ傾向を示す。

(3) 以上より、電線表面が湿潤状態にある場合は、絶縁電線に高い雷サージ電圧が侵入すると正、負いずれの極性の沿面放電が進展しても電線溶断の危険性を増すことが指摘される。

最後に、本研究の一部は、財団法人セコム科学技術振興

財団研究奨励金によって行われたことを付記する。

(平成7年5月25日受付、同7年10月9日再受付)

文 献

- (1) 西 敏行・櫻野仁志・石橋鑑造・高嶋 武：「架空絶縁電線のがいし支持点近傍におけるインパルス沿面放電特性」，電学論B，110，209（平2-3）
- (2) 西 敏行・櫻野仁志・石橋鑑造・高嶋 武：「絶縁電線表面における連続インパルス沿面放電の特性」，電学論B，111，1269（平3-12）
- (3) 電気協同研究会：「配電線雷害対策」，電気協同研究，第40巻，第6号（昭60-2）
- (4) 伊藤泰朗・富永 明・宮内秀幸・MSAA.Hammam：「ピンがいにしに把持された絶縁電線の放電特性」，電学論B，103，561（昭58-8）
- (5) T.Nishi, R.Hanaoka, R.Ishibashi & T.Korin: "Impulse Creeping Discharge Phenomena at Insulator Supporting Point of Aerial Insulated Wire", CEIDP, 1993 Annual Report, P.586
- (6) 西 敏行・花岡良一・石橋鑑造：「架空絶縁電線表面における沿面放電の進展様相」，平6電気関係学会北陸支部連大，A-55
- (7) 電気学会：「放電ハンドブック」，オーム社書店，P.222（昭49）

西 敏行

（正員）1959年3月8日生まれ。83年3月金沢大学大学院工学研究科修士課程修了。同年4月ユーザック電子工業（株）〔現、（株）PFU〕入社。85年4月富山工業高等専門学校電気工学科助手、93年7月同講師、現在に至る。主として、沿面放電現象に関する研究に従事。

花岡 良一

（正員）1950年1月12日生まれ。80年3月金沢大学大学院工学研究科修士課程修了。88年4月金沢工業大学電気工学科講師、89年同大学助教授、現在に至る。主として、液体誘電体中の電気伝導と絶縁破壊及び電界計算法に関する研究に従事。93年9月～94年8月米国MIT客員研究員。工学博士。

応用物理学会会員、IEEE 会員。

石橋 鑑造

（正員）1922年10月18日生まれ。45年9月東京工業大学電気工学科卒業。同年同大学助手。57年7月新潟大学助教授、63年4月金沢大学教授。88年4月金沢工業大学教授、現在に至る。主として、沿面放電及び液体誘電体中の絶縁破壊現象の研究に従事。工学博士。応用物理学会、日本雪氷学会会員。