UDC 621.315.616.96.015.533: 678.742.2-462
620.193.23

論 文

48-A 19

ポリエチレンの浸水課電現象に及ぼす液体の効果

住友電気工業株式会社 速 水 敏 幸

1. ま え が き

筆者は、さきにポリエチレンに種々の液体を塗布したり、あるいは吸収させたときの耐部分放電性、耐トリッキング性、交流破壊電圧について検討した結果を本紙に発表した。⁽¹⁾⁻⁽³⁾ このようにポリエチレンと液体とを組合せた場合、主として電氣的破壊特性について一連の実験を行ってきたが、今回はこの中でも重要な特性の一つであるポリエチレンの浸水課電現象とこの現象に及ぼす液体の効果について報告する。

一般にゴム、プラスチックは水に対する抵抗性が高いと考えられているが、単に浸水だけではなく、これに電圧が加わると劣化が促進されることが古くから知られている。⁽⁴⁾ また、空中 $V-t$ 特性に対して浸水 $V-t$ 特性のほうが低下が著しいが、このように浸水しかつ電圧を印加して劣化が促進される現象を、ここでは浸水課電現象または浸水課電劣化と称することにする。

ポリエチレンの浸水課電現象の原因については、宮下氏ら⁽⁵⁾ は 1.1mm の銅線に厚さ 0.3mm のポリエチレンを押し出被覆したポリエチレン線で実験した結果、ポリエチレン中の異物や欠陥に水が浸透し、局部電界が高まって“浸水トリック”が発生し劣化が促進するとしている。

鎌田氏⁽⁶⁾ は同じくポリエチレン線で一方が水電極、他方が銅電極の場合、銅イオンが触媒として促進作用をするという酸化劣化を、吉田氏ら⁽⁷⁾ もポリエチレンの水中における劣化の主要因は酸化劣化であると発表している。

このようにポリエチレンの浸水課電劣化に関するすぐれた発表があるが、特に劣化機構についてはまだ不

明な点が多い。また、上記実験は劣化の判定を主として交流破壊電圧の低下の割合で行なっている。

一般に材料の電氣的劣化を調べる手段として電圧-時間 ($V-t$) 特性がよくとられるが、寿命の推定を行なう場合、この特性が最も実際に近似している。

ここではポリエチレンの浸水課電現象を究明する手段として、構造が簡単で容易に電圧がかけられるポリエチレンチューブを用い、 $V-t$ 特性をとった。

劣化機構に対しては、特に水と接するポリエチレンの界面に着目し、電位の傾きと $V-t$ 特性の相関性や表面における液体の効果の面から検討した。

2. 実験方法

実験はメルトインデックスが 1.2、密度が 0.92 の低密度ポリエチレンのチューブを用いた。チューブは内径が 8mm で厚さが 1.2, 2.0, 3.0mm と内径が 4mm で厚さが 1.0, 2.0, 3.0, 4.0mm の計 7 種類のもを製作した。

試料の構成は第 1 図に示すように、内面に水溶性の半導電性塗料を塗り乾燥させた後、内径 8mm のチューブには 2mm の 7 本より (直径 6mm)、内径 4mm のチューブには 1mm の 7 本より (直径 3mm) の裸銅線をそう入しケーブルを模擬した。

この試料を第 2 図 (a) に示すように常温水中に浸せき

第 1 図 試料の断面

Fig. 1. Crosssection of sample.

Effect of Liquid on Wet Charge Phenomenon of Polyethylene.
By T. HAYAMI, Member, (Sumitomo Electric Industries, Ltd.).
速水敏幸: 正員, 住友電気工業株式会社第 1 研究部

第 2 図 実験装置

Fig. 2. Test arrangement.

し、導体に 60 Hz の交流電圧を印加し破壊するまでの $V-t$ 特性を調べた。

電圧 1 条件での試料の点数はそれぞれ 3～5 点とした。

1 本の試料の長さは 1.5 m で電極となる浸水部の長さは 0.8 m である。電極の末端処理は、主として自己融着性テープを円すい状に巻いたコーンを設けた。電圧が高いクラス（たとえば、1.2 mm 厚チューブに 20 kV 以上の電圧を印加する場合）の浸水課電試験の末端処理は第 2 図 (b) に示すように、水の上にシリコン油を浮かせた水-油エンド⁽⁶⁾を用いた。この場合、水中部のポリエチレンチューブ表面にシリコン油が付着しないように試料を水の中に入れた後、末端処理のシリコン油を浮かせた。

3. 実験結果

〈3・1〉 印加電圧の影響 まず内径 8 mm で 1.2 mm 厚のチューブを用いて浸水課電と空中課電の比較を行なった。空中課電はチューブの外側に金属はくを巻いて電極とし空中で課電した。縦軸を印加電圧 V 、横軸を破壊までの時間 t にとって実験結果をプロット

第 3 図 ポリエチレンチューブの浸水課電と空中課電

Fig. 3. Wet charge and dry charge of polyethylene tube.

第 4 図 浸水 $V-t$ のワイブル分布Fig. 4. Weibull chart of wet charge $V-t$ characteristic.

すると第 3 図に示すような $V-t$ 特性が得られた。

この結果から、ポリエチレンチューブの浸水課電と空中課電における寿命の差は印加電圧が 20 kV 付近で現われることがわかる。また $V-t$ 特性は、浸水課電と空中課電はともに印加電圧が 15～20 kV の所で折れ曲がる。

次に同じチューブを用いて浸水課電現象に及ぼす印加電圧の影響と破壊の形態を統計的手法によるワイブル分布で調べた。実験は印加電圧が 10, 13, 15, 20 kV の 4 種類で、それぞれの試料の点数は 22～24 点とった。得た結果をワイブル確率紙にプロットすると第 4 図に示すようになる。この結果形のパラメータ m は、印加電圧によって値が異なり電圧が低いほど大きくなる。

ワイブル分布では故障の発生現象を m の値によって分類することができ、一般に

$m > 1$ のときは摩耗形

$m = 1$ のときは偶発形

$m < 1$ のときは初期不良形

とされている。⁽⁹⁾ これをあてはめるとポリエチレンチューブの浸水課電劣化は低電圧領域に属する 10, 13 kV は明らかに $m > 1$ であり、摩耗形破壊と考えることができる。

さらに、印加電圧が高くなる領域では $m = 1$ または $m < 1$ となり、初期および偶発的破壊が支配的となる。すなわち、高電圧領域では最初から試料に存在する欠陥部よりひき起こす破壊が支配的となり、低電圧領域では劣化が累積的に進行する破壊とみなすことができる。そして、浸水課電と空中課電の差はこの低電圧領域で起こることから、ポリエチレンの浸水課電現象をみる実験は、低電圧長時間行なう必要があることがわかった。その電圧は後述する水が接する表面の電位の傾きで、10 kV/mm 以下である。

〈3・2〉 浸水課電と電位の傾き 次にポリエチレンチューブの電位の傾きと浸水課電劣化の関係を調べた。試料は内径 8mm チューブの 1.2, 2, 3mm 厚と内径 4mm チューブの 1, 2, 3, 4mm 厚の合計 7 種類のものを用いた。

この試料のように同心円筒の場合、導体半径 R_1 (チューブの場合は内面に導電性塗料を施してあるので導体直径はチューブ内径とする)、絶縁体表面までの半径を R_2 とすれば、絶縁体に電圧 V が加かったときの軸から r なる距離の点の電位の傾き E は次式で表わされる。

$$E = \frac{V}{r \log \frac{R_2}{R_1}} \dots\dots\dots (1)$$

この場合の最大電位の傾きは r の最小の位置すなわち $r = R_1$ の導体直上であり、最小電位の傾きは $r =$

第 1 表 印加電圧と電位の傾き (kV/mm)
Table 1. Applied voltage vs. potential gradient.

試料		印加電圧						$E_{\max}/E_{\min}$
		6 kV	10 kV	13 kV	15 kV	20 kV	30 kV	
内径 8mm チューブ	1.2mm 厚	5.7 4.4	9.6 7.4	12.5 9.6	14.4 11.1	19.2 14.8	28.7 22.1	1.3
	2mm 厚	—	—	—	9.3 6.2	—	—	1.5
	3mm 厚	—	—	—	—	9.0 5.1	13.4 7.7	1.7
内径 4mm チューブ	1mm 厚	7.4 4.9	12.4 8.2	—	—	—	—	1.5
	2mm 厚	—	7.2 3.6	—	—	14.5 7.2	—	2.0
	3mm 厚	—	—	—	—	10.9 4.4	16.4 6.6	2.5
	4mm 厚	—	—	—	—	—	13.7 4.6	3.0

第 5 図 $E_{\max}$ で表示したポリエチレンチューブの浸水 $V-t$ 特性 (内径 8mm チューブ)

Fig. 5. Wet charge $V-t$ characteristic in $E_{\max}$ of polyethylene tube.

R_2 の絶縁体表面になる。

実験に用いた 7 種類の試料に印加した電圧と、そのときの最大電位の傾きおよび最小電位の傾きを第 1 表に示す。

内径 8mm チューブの実験結果を縦軸に最大電位の傾きを取り、横軸に破壊までの時間をとって $V-t$ 特性を表わした場合を第 5 図に示す。

同じくこの結果を縦軸を最小電位の傾きにとって、 $V-t$ 特性を表わした場合を第 6 図に示す。

上記両図を比較すると、第 5 図に比べて第 6 図は絶縁厚の差がなくなり直線状となった。

次に、内径 4mm チューブの実験結果を最大電位の傾きでプロットした場合を第 7 図に、最小電位の傾きでプロットした場合を第 8 図に示す。この結果、内径 8mm チューブと同様に最大電位の傾きの場合は絶縁厚によって差が現われるが、最小電位の傾きの場合は絶縁厚にかかわらず各点は直線上にのる。

このことは、試料の外側に水がある場合のポリエチレンの浸水課電劣化による寿命は、水が接している表面の電位の傾きに支配されていることを示している。

第 6 図 $E_{\min}$ で表示したポリエチレンチューブの浸水 $V-t$ 特性 (内径 8mm チューブ)

Fig. 6. Wet charge $V-t$ characteristic in $E_{\min}$ of polyethylene tube.

第 7 図 $E_{\max}$ で表示したポリエチレンチューブの浸水 $V-t$ 特性 (内径 4mm チューブ)

Fig. 7. Wet charge $V-t$ characteristic in $E_{\max}$ of polyethylene tube.

第 8 図 $E_{\min}$ で表示したポリエチレンチューブの浸水 $V-t$ 特性 (内径 4mm チューブ)

Fig. 8. Wet charge $V-t$ characteristic in $E_{\min}$ of polyethylene tube.

すなわち、絶縁破壊は水が接している表面が起点となっていると考えられ、その部分の電位の傾きが高ければ浸水課電劣化が促進され、寿命が短くなるといえる。

また、内径 8mm チューブと内径 4mm チューブの最大電位の傾きの $V-t$ 特性を比較すると、同じ絶縁厚でも内径 4mm チューブのほうが寿命が長い。これは同じ絶縁厚でも内径 4mm のチューブのほうが水が接する表面の電位の傾きが小さいからである。また、最大電位の傾きでプロットした場合の絶縁厚の差は、内径 8mm チューブより内径 4mm チューブのほうが大きい。最小電位の傾きでプロットすると両方とも直線になる。すなわち、内径 4mm チューブのほうが効き方が顕著に現われるわけである。これは最大電位の傾きと最小電位の傾きの比が第 1 表にも示すように、内径 8mm チューブより内径 4mm チューブのほうが大きいからである。

次に内径 4mm の 3mm 厚チューブは 5 点のみ他の試料と異なり、内側に水を入れて 20kV 印加し浸水課電を行なった。すなわち、チューブの内外に水が存在する状態とした。実験結果をさきの第 7 図および第 8 図にプロットした。

この結果、内側水ありの場合は外側水より寿命が短く、いずれの直線からもはずれる。しかし、これを第 9 図に示すように外側水の試料を最小電位の傾きでプロットし、内側水、外側水の試料を最大電位の傾きでプロットするとすべて直線上にのる。すなわち、内側水、外側水の場合は水は両面に接しているのだから、絶縁破壊は内側の高いほうのストレスに支配されることを示している。

したがって、以上の実験結果からポリエチレンの浸水課電における絶縁破壊は、水が接している高いほうの電位の傾きによって決まるといふ法則がなりたつ。

第 9 図 水が接するポリエチレンチューブの電位の傾きと浸水 $V-t$ 特性

Fig. 9. Potential gradient of polyethylene tube in contact with water vs. wet charge $V-t$ characteristic.

第 2 表 液体の効果をみる実験条件

Table 2. Experimental conditions.

(A)		試料の表面に粘度 10 センチストークスのメチルシリコン油を薄く塗布した。
(B)		OF ケーブル油に試料を常温浸せし、重量で約 8% 吸収させた。
(C)		試験時に OF ケーブル油、シリコン油、アセトフェノン、PVC の可塑剤であるリン酸エステル (TCP) などを導体側に充てんした。

Tabata 氏ら⁽¹⁰⁾は 6.6kV の架橋ポリエチレンケーブルの導体側に水を入れると外側水よりも劣化が促進すると発表しているが、本実験からそのような現象が得られたことがうなずける。

〈3.3〉 浸水課電現象と液体の効果 ここではポリエチレンチューブの表面に液体を塗ったり、吸収させたり、あるいは、導体側に充てんさせたときの浸水 $V-t$ 特性の実験結果を述べる。実験はさきに示した内径 8mm で 1.2mm 厚のポリエチレンチューブに、第 2 表に示すような条件を施して浸水 $V-t$ 特性を比較した。なお、これらの実験は一度に行なったのではなく、約 5 年の間にそれぞれ別個に行なっているので、コントロールとして入れたオリジナル試料の $V-t$ 特性が若干異なる。これは試料の採取場所 (ロット間のばらつき) や水温などの実験条件の差によるものと思われる。また、以下の実験はすべて外側水の条件であるので、前節の結果から $V-t$ 特性を示すグラフの縦軸は最小電位の傾きでプロットした。

まず、シリコン油を試料表面に塗布した (A) の条件での実験結果を第 10 図に示す。この結果、シリコン油をごく薄く表面に塗っただけでオリジナル試料

第 10 図 シリコン油を塗布したポリエチレンチューブの浸水 $V-t$ 特性

Fig. 10. Wet charge $V-t$ characteristic of polyethylene tube with silicone oil coating.

第 11 図 OF ケーブル油を吸収させたポリエチレンチューブの浸水 $V-t$ 特性

Fig. 11. Wet charge $V-t$ characteristic of OF cable oil absorption polyethylene tube.

に比べて浸水課電劣化が明らかに抑制されていることがわかる。

次に、OF ケーブル油をポリエチレンに吸収させた (B) の条件での実験結果を第 11 図に示すが、この場合もオリジナル試料に比べ浸水 $V-t$ 特性が向上する。なお、ポリエチレンに三塩化ジフェニールや鉱物油を吸収させると、浸水課電後の交流破壊電圧が向上することを宮下氏ら⁽⁵⁾がすでに発表しているが、本実験結果はこれに合致する。

次に試料の導体側にシリコン油、OF ケーブル油、アセトフェノン、TCP などの液体を充てんした (C) の条件での実験結果をまとめて第 12 図に示す。なおこれらの液体を導体側に充てんした場合、液体の体積抵抗率はアセトフェノンが $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ と低い、他の液体は絶縁油であるので電位の傾きは試料の内側に半導電性塗料を施した今までの試料と若干異なるが、ここでは便宜上同一電位の傾きとして扱った。

第 12 図の実験結果から、これらの液体を導体側に充てんすると、浸水 $V-t$ 特性が格段に向上することがわかる。

第 12 図 種々の液体を充てんしたポリエチレンチューブの浸水 $V-t$ 特性

Fig. 12. Wet charge $V-t$ characteristic of polyethylene tube filled with various liquids.

第 13 図 ポリエチレンチューブの浸水 $V-t$ 特性に及ぼす液体の効果

Fig. 13. Effect of liquid on wet charge $V-t$ characteristic of polyethylene tube.

充てんした液体同志の効果は低電圧ではほとんど差が認められないが、高電圧付近の結果から順位をつけると次のようになる。

シリコン油 < アセトフェノン、TCP
< OF ケーブル油

以上の (A), (B), (C) のおのおのの条件での実験結果をまとめると、第 13 図に示すような $V-t$ 特性が得られる。すなわち、液体を表面に塗ったよりも絶縁体に吸収したほうが、さらに吸収した場合より導体側に充てんした場合のほうが浸水 $V-t$ 特性がよくなる。

4. 実験結果の考察

以上の実験により、ポリエチレンの浸水課電劣化は水が接する表面のストレスと相関性があることがわかったが、これは浸水課電における絶縁破壊の源は水が接する界面からであることを示唆している。このことは、〈3.3〉節の実験から水が接する表面にシリコン油を塗っただけで浸水課電劣化が抑制されることから証明できたと考える。

ここで、まず浸水課電劣化は表面効果が主体であるという上記結果に着目し劣化機構を推定してみる。

宮下氏⁽⁵⁾は浸水課電後のポリエチレン線の表面から、または絶縁体中のボイド、異物などからトリー状の劣化こん跡（浸水トリー）が発生しているのを観察している。本実験では全体を通じて上記浸水トリーを観察する綿密な調査を行っていないが、1.2mm厚試料に6kVを約200時間課電したものからはトリーは認められず、約1,000時間課電した試料に表面からあるいはボイドからのトリーが観察された。

第14図に6kV、1,000時間課電試料より観察されたトリーの写真を示す。浸水トリーの場合は、このように非常に細い管が集まったブッシュ状のトリーとなる。特に表面からのトリーの発生位置は、起点からの管が1本のため顕微鏡でも見にくい。しかし、この写真からも見うけられるように、トリーの起点は表面のくぼんだ所から発していることがわかった。

第15図にポリエチレンチューブの表面の状態を写した写真を示す。この写真からもわかるように、ポリエチレン表面は前記トリーの発生源と見られる凹凸や傷が多い。これらのトリーがいったん出ると次第に伸び、遂には絶縁破壊の原因となりうることが容易に想像される。

(a) 表面からのトリー

(b) ボイドからのトリー

第14図 ポリエチレンチューブのトリー
Fig. 14. Tree of polyethylene tube.

第15図 ポリエチレンチューブの表面
Fig. 15. Surface of polyethylene tube.

そこで、ここではそのトリーの発生の原因について考察することにした。このような浸水課電現象は直流においては認められないことを Liddicoat 氏⁽¹¹⁾および宮下氏⁽⁵⁾は指摘していることや、筆者の行なったポリエチレンの耐部分放電性や耐トリーイング性に液体の効果があつた実験結果などから、浸水トリー発生の原因は微小部分放電と仮定してみる。ポリエチレンの耐部分放電性や耐トリーイング性に及ぼす液体の効果についてはすでに本紙に発表⁽¹⁾⁽²⁾したので、ここではその結果と考察を簡単に述べる。

ポリエチレンフィルムの表面に種々の液体を塗布して耐部分放電性を比較した結果、たとえばメチルシリコン油やOFケーブル油のようにポリエチレンにぬれやすい、または膨潤させやすい液体が効果があることがわかった。このように表面に液体を塗布して耐部分放電性が向上するのは、破壊の原因となる部分放電劣化によってできるピットを液体が埋めるためと考察した。

次にポリエチレンにアセトフェノン、OFケーブル油、シリコン油などの液体を吸収させ、耐トリーイング性を比較した結果、針先にじゅうぶん液体が集まるような条件で吸収させた場合が最も効果が大きいことや、電極が導電性ポリエチレンの場合は効果が認められないことなどがわかった。針端からのトリー発生の機構については種々考えられるが、上記実験結果などから針先の微小空げき内で発生する部分放電と推定した。

このように液体を施すことによって微小ボイドやピットを埋めるという考え方は浸水課電劣化に適用できそうである。すなわち、浸水課電の場合も浸水トリー発生の原因は電極である水とポリエチレンとの間に存在する微小空げきによるものと考えられる。この場合水とポリエチレンとの間にどの程度の間げきができるか不明であるが、他の液体に比べると水はポリエチレンにぬれにくいことが知られている。

低密度ポリエチレンに対する液体のぬれを投影法により液滴の接触角を測定した結果、水の場合は60°～80°に対してOFケーブル油およびシリコン油は測定ができない(1°以下)ほど小さく、ポリエチレンに対してきわめてぬれやすいことがわかる。さらに、厚さ3mmの低密度ポリエチレンに金属針で針状ボイドをあけ、その位置から少し離れた所に液体を滴下し、その広がりによってボイド内に液体が充満するかどうかの実験⁽¹⁾を行なったところ、水は針状ボイドの上部にふたのようになり充満しないが、シリコン油およびOFケーブル油などは容易に充満した。

第 16 図 水とポリエチレンの界面のモデル図

Fig. 16. Enlarged view of surface of polyethylene in contact with water.

このように水はポリエチレンにぬれにくいですが、特に突起状のみぞがあった場合は端部までは入らない。水がポリエチレンに接する界面をモデル的に書くと、第 16 図に示すようになり、ポリエチレン表面に存在する凸凹、傷などの欠陥部の先端は空けきが残る、部分放電によって先端が損傷され次第にトリーが進展していくものと考えられる。ぬれやすい液体が界面にあると、この間隙を埋めるため部分放電が生じない。

実際にポリエチレンチューブの部分放電を測定したが、浸水課電劣化が起きている領域の電圧では、2 pC の測定感度の測定器では測定できなかったため、部分放電が出ているとすればさらに小さい放電電荷ということになる。

したがって、浸水課電現象の発生原因が部分放電ということを実証することができないが、今回の実験から微小空けきの存在が裏づけられたこと、浸水トリー発生に時間的効果のあること、直流において認められないとされていることなどから、筆者は発生原因を微小部分放電と考えたい。いずれにしても、これを実証するためにはパッシェンカーブであまり測定されていない大気中における数マイクロンまたはそれ以下の微小空けきの部分放電の検証が必要である。

次にチューブの実験で OF ケーブル油を絶縁体に吸収させた(B)の条件と、種々の液体を導体側に充てんした(C)の条件にすると浸水 $V-t$ 特性が改善されたが、この現象について考えてみる。

上記 2 条件とシリコン油を表面に塗った(A)の条件とでは液体が存在する位置が異なり、その劣化機構は前記表面効果だけでは説明が困難となる。そこで、これをわかりやすくするためにそれぞれの条件における液体が存在する位置をまとめて第 3 表に示す。この表において、たとえばシリコン油は常温ではポリエチレンに吸収されないことは、赤外吸収試験および重量測定法などで確認しているので、(A)の条件および(C)の条件では絶縁体内には存在しない。

TCP の場合はシリコン油に比べるとやや吸収さ

第 3 表 おのおの実験における液体の存在位置

Table 3. Locations of liquid in the tests.

	(A) シリ コン 油塗 布	(B) OF ケー ブル油吸 収	(C) 導体側液体充てん			
			シリコ ーン油	アセトフ ェノン	TCP	OF ケー ブル油
水が接する表面の液体の有無	有	(有)	なし	(有)	なし	(有)
絶縁体内の液体の有無	なし	有	なし	有	なし	有
導体側の液体の有無	なし	(有)	有	有	有	有

() は推定

れやすいが、常温ではほとんど吸収されない。また、(B)の条件の試料は OF ケーブル油をほぼ飽和するまで吸収させているので、絶縁体内に存在する他に表面にもわずかににじみでてるものと思われる。アセトフェノンは常温で約 3% ポリエチレンに吸収される。

(B)の条件での試料が(A)の条件より浸水 $V-t$ 特性がまざっていたが、これは(A)の条件の他に絶縁体中のボイド、異物などの弱点部に液体がはいり、この部分での部分放電が起こらなくなったためと考えられる。絶縁体中のボイド、異物に液体が充満する機構と、その効果については別途稿を改めて発表する予定である。次に(C)の条件のうち、特にシリコン油を導体側に充てんした場合は、絶縁体中にも水と接する表面にも液体が存在しないことになるが、それでも浸水 $V-t$ 特性はすぐれている。

筆者は架橋ポリエチレンケーブルの $V-t$ 特性を向上させるために、電位の傾きの高い導体側にシリコン油を充てんした液体充てん式架橋ポリエチレンケーブル⁽¹²⁾を開発したが、このように液体を導体側に充てんすると空中課電における $V-t$ 特性も向上する。このことは、表面に欠陥があっても導体側を補強すれば絶縁破壊を起こさなくなることを示している。すなわち、導体側の補強は表面効果を上回る補強効果があることになる。

したがって、以上の結果からポリエチレンの浸水課電現象の対策として考えられるのは部分的には、(1) 水が接する表面、(2) 絶縁体内部、(3) 導体上の 3 点をそれぞれ改善することである。その方法は、基本的には浸水トリーの発生原因となる表面の凸凹、傷、絶縁体内のボイド異物、導体上の電界不整が起こるようなボイド突起をなくすことである。そして電位の傾きの高い導体側に水を入れないことも基本的な対策の一つである。また、補強の一例としては今回実験した液体塗布、吸収、充てんなどの方法が考えられる。

安井氏ら⁽¹³⁾は、架橋ポリエチレンケーブルの外部半導電層に導電性ポリエチレンを押し出被覆すると、浸水

課電劣化が抑制されることを述べているが、これは、(1)の水と接する表面効果を防いだ方法と思われ、その有効性がうなずける。

5. ま と め

本報はポリエチレンの浸水課電現象の基礎的な検討をチューブを用いて種々検討した。実験で得た結果を要約して列記すると次のとおりとなる。

(1) 浸水 $V-t$ 特性は高電圧領域と低電圧領域で折れ曲がる直線となる。浸水課電現象を調べるためにはワイブル分布による摩耗形破壊の領域である低電圧(水が接する電位の傾きで 10kV/mm 以下)長時間行なう必要がある。

(2) ポリエチレンの浸水 $V-t$ 特性は水が接している表面の電位の傾きに支配される。また、導体側にも水が存在する場合には導体側の電位の傾きによって寿命が決まる。

(3) ポリエチレンに液体を施すと浸水 $V-t$ 特性が向上する。その効果の順位は次のとおりである。

オリジナル<シリコン油塗布<吸収<導体側に充てん

(4) 上記結果から浸水課電現象の発生原因はポリエチレン表面の傷、凸凹などと水との間にできる微小ボイド内の部分放電劣化と考察した。

最後に、本研究について有益なご討論とご助言をいただいた名古屋大学教授 家田正之博士に深く感謝する次第である。

(昭和 47 年 3 月 4 日受付, 同 47 年 12 月 4 日再受付)

文 献

- (1) 速水: 電学誌 91, 1661 (昭 46-9)
- (2) 速水: 電学誌 92, 343 (昭 47-7)
- (3) 速水: 電学誌 91, 1917 (昭 46-10)
- (4) 横瀬・椎葉・中野・井土: 昭 29 電気四学会連大 No. 160
- (5) 宮下・井上: 電学誌 87, 2009 (昭 42-10)
- (6) 鎌田: 日立評論 48, 4, 53 (昭 41)
- (7) 吉田・長谷部・福田: 古河電工時報 No. 43, 11 (昭 42)
- (8) 速水: 昭 43 電気関係学会関西支部連大 5-8
- (9) たとえば, 日科技連: 信頼性データの解析
- (10) T. Tabata, T. Fukuda & Z. Iwata: IEEE Transaction Paper 71-TP 545-PWR
- (11) C. A. Liddicoat & B. F. Brown: Wire & Wire Products p. 1874 (1963-12)
- (12) T. Ilayami: IEEE Trans. Power Apparatus Syst. PAS-88, 897 (1969)
- (13) 安井・川島・辻: 昭 43 電気四学会連大 270