

油中における絶縁筒の沿面フラッシュオーバー特性

Flashover Characteristics of Insulating Cylinder in Oil

鎌 田 譲*
Yuzuru Kamata

内 容 梗 概

変圧器などの油入機器で問題となる沿面フラッシュオーバーに対する絶縁設計を合理的に行なうことはきわめて重要なことである。

この報告ではインパルス電圧 ($1 \times 40 \mu\text{s}$, 正極) と交流電圧 (50 c/s) による絶縁筒の沿面フラッシュオーバー試験を行ない, 次のような事柄を明らかにした。すなわち絶縁距離 (l) とフラッシュオーバー電圧 (V) との間に $V = Al^B$ (ただし A, B は定数) なる関係のあること, インパルス電圧では背後電極がある場合のフラッシュオーバー電圧と絶縁距離の関係は背後電極のない場合よりも非直性が著しいが, 交流電圧では必ずしも成立しないこと, インパルスの場合同一試料を数回フラッシュオーバーさせても破壊電圧は低下せず, 痕跡(こんせき)は必ずしも同一経路をたどらないこと, 沿面フラッシュオーバーの衝撃比は試料の構造によって大幅に変化することなどである。

1. 緒 言

高電圧機器は絶縁上油タンクに収納されることが多く, かつこれらの機器には種々の形の固体絶縁物が用いられている。したがって油中の沿面フラッシュオーバー特性を解明することは, 油入機器の設計上きわめて重要なことである。特に絶縁筒は変圧器や油遮断器などに数多く使用されているので, 実験試料として絶縁筒を選び, 交流およびインパルス電圧の油中フラッシュオーバー特性を求めた。

絶縁筒は比較的簡単な構造であり, 沿面フラッシュオーバー特性を基本的に検討するうえでも好都合である。この報告はインパルスフラッシュオーバー特性と交流フラッシュオーバー特性の比較や放電現象の観察を中心にしてまとめた。

2. 実 験 装 置

2.1 衝撃電圧発生装置

実験に使用した衝撃電圧発生装置のおもな仕様は次のとおりである。

公称発生電圧	3,000 kV
最大蓄積エネルギー	56 kWs
コンデンサ単位容量	DC 75 kV
全直列容量	0.0125 μF
内部抵抗	1,200 Ω

得られた発生波形は $1.7 \times 40 \mu\text{s}$ で抵抗分圧器と陰極線オシログラフにより測定した。

2.2 試験用変圧器

高圧交流電源として下記の仕様の試験用変圧器を使用した。

一次電圧	4 kV
二次電圧	1,100 kV
定格出力	1,100 kVA
定格運転時間	30 分
周波数	50 c/s

なお交流電圧は結合コンデンサ形計器用変圧器で測定した。

2.3 試験タンク

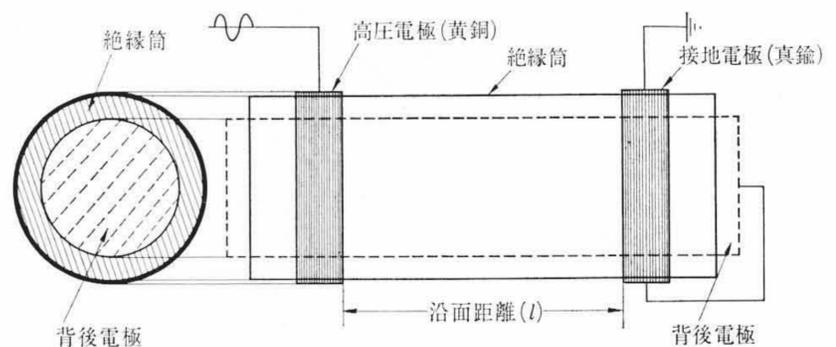
試験タンクは供試タンクと油貯蔵タンクからなっている。供試タンクの高さは約 2.4 m, 直径は 1.7 m で必要とされる油量は 5,000 l である。またこのタンクには真空処理のための真空配管と油をギヤポンプでかきまぜるための循環用配管, 140 号ブッシングおよび破

壊現象を観察するため 500×700 のアクリル樹脂の窓が設けてある。この窓には暗箱を取り付けて放電現象の撮影を行なった。

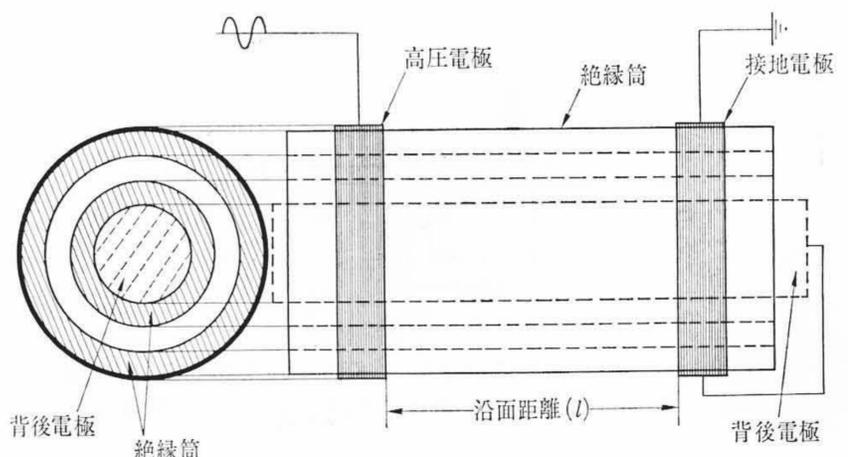
3. 試料の構造と処理

使用した絶縁筒はクラフト紙に樹脂を含浸させ, 加熱圧縮加工し, さらに乾燥する工程を経てきたものである。第 1~3 図に絶縁筒と電極の構成を示す。実験を行なった電極は図のように 3 種類である。また背後電極を有する構造は一番内側の円筒に銅棒をはめ込み接地電極とした。

以上のような構造とした試料は乾燥処理をするために所定の温度で何日か放置し, その後大気中に取り出して電極を取り付け, 表面を清浄にしてからタンクに収容する。取り付け台は金属体であると電界をひずませるおそれがあるのですべて木製のものないしはがいに用いた。取り付け後真空ポンプで真空引きを行ない, それから油を静かに注入した。いくらか気泡が付着したり, また微細なちりなどが流動するので, 注入終了後さらに静置し, その後電圧を印加した。

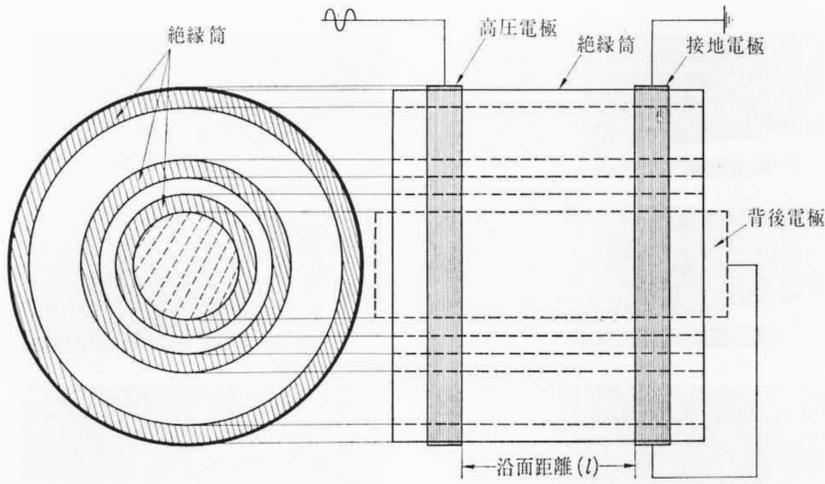


第 1 図 A 絶縁筒の構造



第 2 図 B 絶縁筒の構造

* 日立製作所日立研究所



第3図 C 絶縁筒の構造

4. 試験方法

4.1 インパルス試験

気中絶縁のように何回も破壊させて50%放電電圧を求めるわけにはいかないので、予想破壊電圧の60~70%から電圧を印加しステップアップで破壊せしめた。測定値は一応同一試料を5回破壊させてその平均値をとっている。

沿面フラッシュオーバーを行なうのであるから油の絶縁耐力管理には十分注意し、試験前と試験後の油耐圧を測定した。絶縁油が劣化して耐圧が低下したときはフィルタによりろ過し、常に規定値以上になるようにした。

4.2 交流試験

電圧上昇速度は1.5~3.5 kV/sで、破壊したときの電圧値を求めた。なお測定点は3点で、3個の試料の破壊電圧である。

5. 実験結果と検討

5.1 ギャップ長とフラッシュオーバー電圧の関係

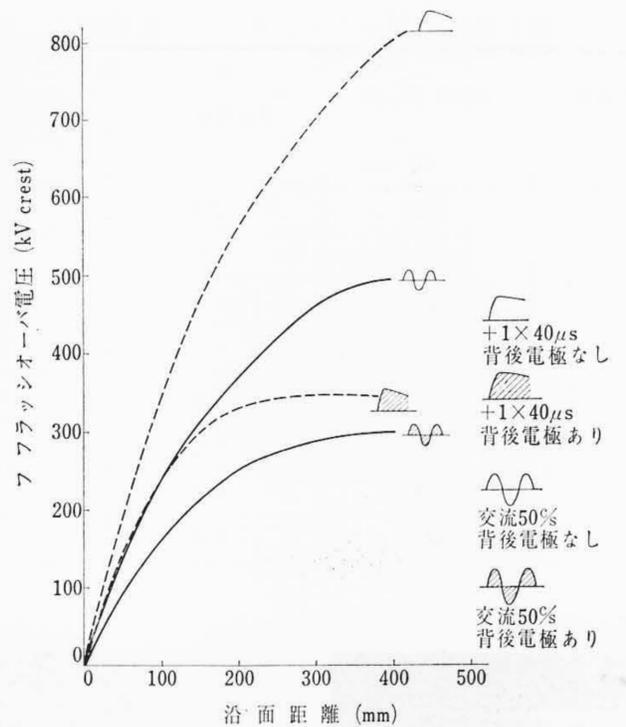
第4~6図はそれぞれの絶縁筒についてインパルス正極波および交流電圧のフラッシュオーバー特性を記入したものである⁽¹⁾。図から明らかのように、いずれも交流電圧のほうの非直線性が著しいこと、沿面距離が大となるほどインパルスフラッシュオーバー特性と交流フラッシュオーバー電圧の差が大きくなっていることなどが知れる。この特性は背後電極がない試料で顕著で、逆に背後電極のあるものではそれほどでもない。実験式を求めてみるとこれらのフラッシュオーバー特性は、フラッシュオーバー電圧を V (kV)、沿面距離を l (mm) として、 $V = Al^B$ (ただし A と B は定数) な形にあらわされる。 A の値は4~15、 B は0.3~0.8の範囲にある。

以上のように試料の構造によってインパルスフラッシュオーバー特性と交流フラッシュオーバー特性の相対的關係が変わることは、衝撃比が試料の構造、沿面距離によって変化することを意味する。従来は油中沿面フラッシュオーバーの衝撃比は常識的に一定であると考えられていたが、そうではないことが明らかになった。そこで第1表に衝撃比の値をまとめてみた。表から衝撃比は1.1~1.7と大幅に変動することがわかる。背後電極のない場合は沿面距離が大となるほど衝撃比が大となること、背後電極のある場合は逆に沿面距離が大となるほど小さくなることなどが示されている。

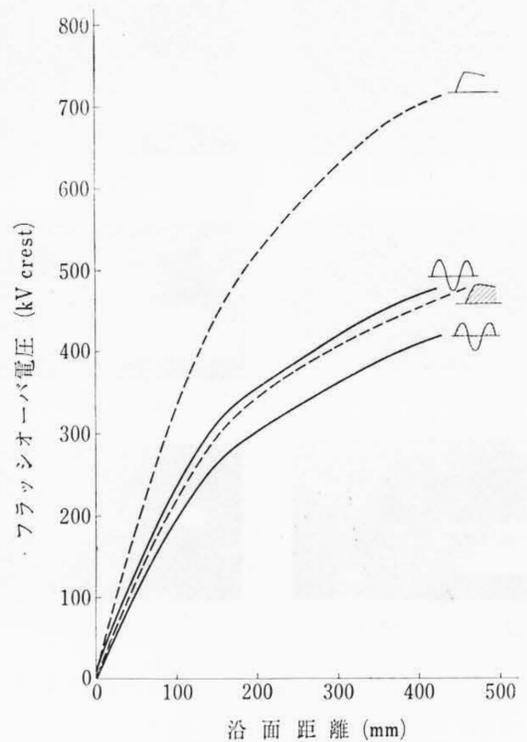
5.2 印加電圧に対するコロナストリーマの伸び

前節で述べたように、背後電極を持つ試料と持たない試料では、フラッシュオーバー特性がかなり異なることが明らかになった。したがって現象的にも相当な差が生じていると予想される。そこでインパルスフラッシュオーバーの様子を静止カメラにより観察してみたのが第7図および第8図である。

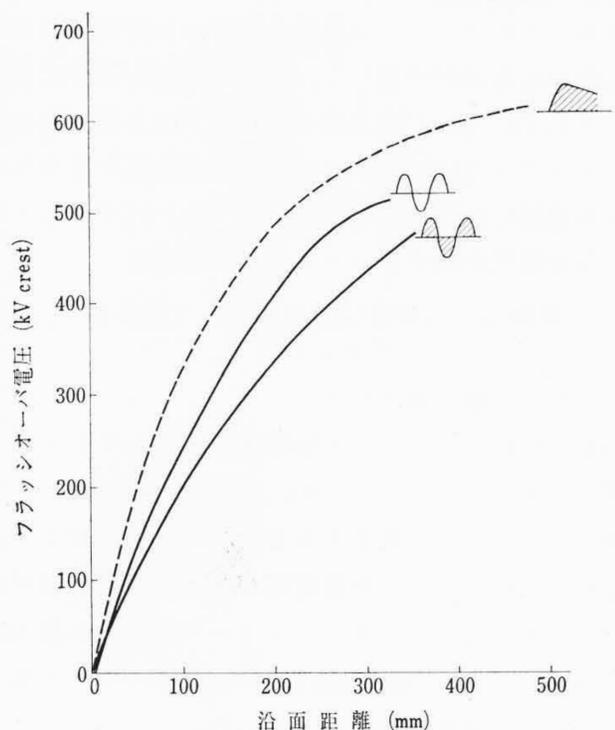
フラッシュオーバー現象の撮影は試料の両面から行ない、ここにのせ



第4図 A 絶縁筒のインパルスおよび交流フラッシュオーバー特性



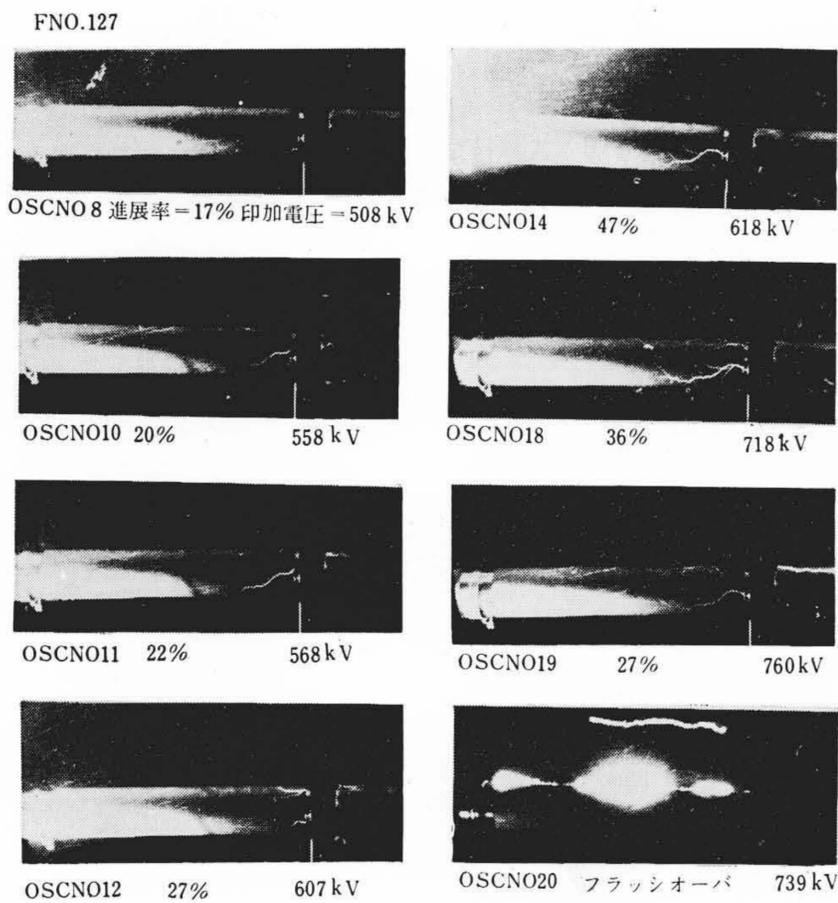
第5図 B 絶縁筒のインパルスおよび交流フラッシュオーバー特性



第6図 C 絶縁筒のインパルスおよび交流フラッシュオーバー特性

第1表 沿面フラッシュオーバの衝撃比

絶縁筒の種類	沿面距離	衝撃比	
		背後電極あり	背後電極なし
A	100 mm	1.4	1.5
	200	1.3	1.6
	300	1.2	1.6
B	100	1.1	1.4
	200	1.1	1.5
	300	1.1	1.5
C	100	1.7	—
	200	1.4	—
	300	1.3	—



第7図 B絶縁筒(背後電極なし)の沿面ストリーマ

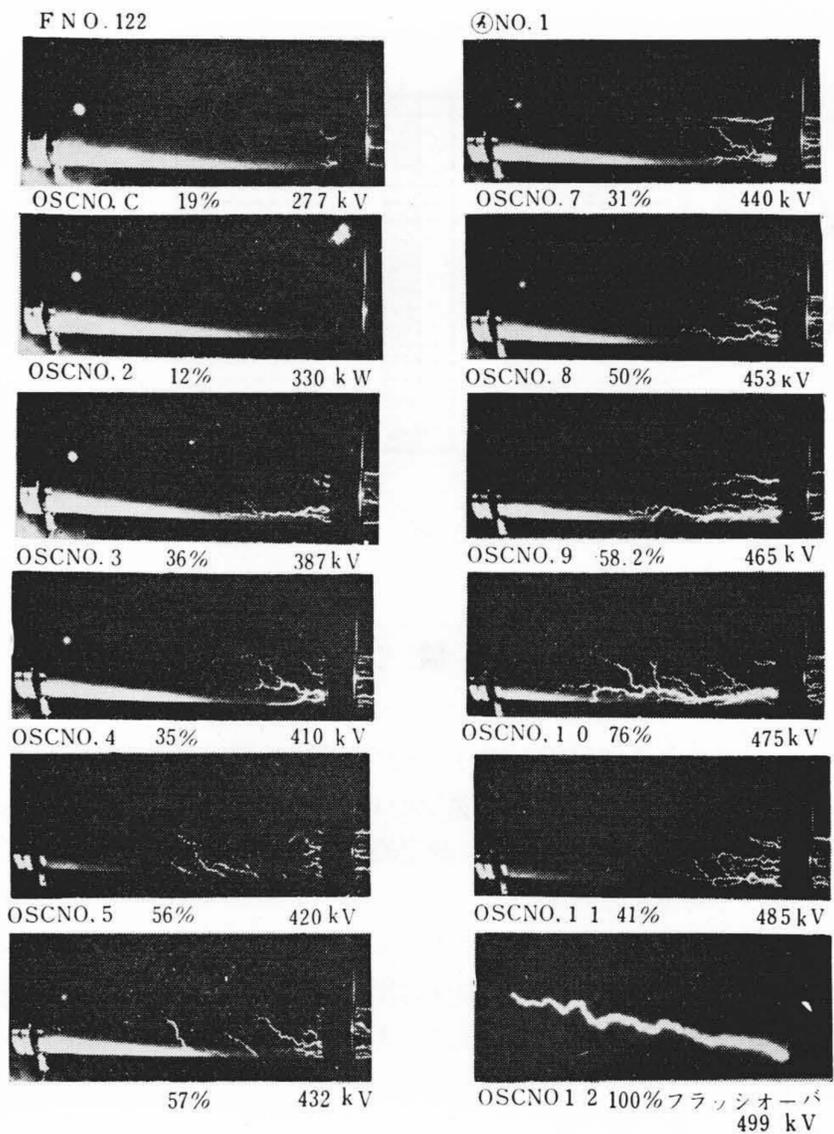
た例はその内の一面からの観察である。印加電圧 ($1 \times 40 \mu s$, 正極) が高くなるにつれて, 高圧電極(右側)から生じたストリーマが絶縁筒表面を徐々に進展して行き, フラッシュオーバにいたっているのがわかる。このストリーマ進展の様子は背後電極のない試料よりも背後電極のある試料で著しく, またその数も格段に多くなっているのが示されている。J. G. Anderson 氏⁽²⁾によれば図に示されている明るいストリーマは good conductor の性質を持つから, このストリーマが進展した部分だけ絶縁距離が失われていると考えられる。そこで印加電圧に対するストリーマの進展率

$$\left(= \frac{\text{横軸方向に測定したストリーマの長さ}}{\text{ギャップ長}} \times 100 \right)$$

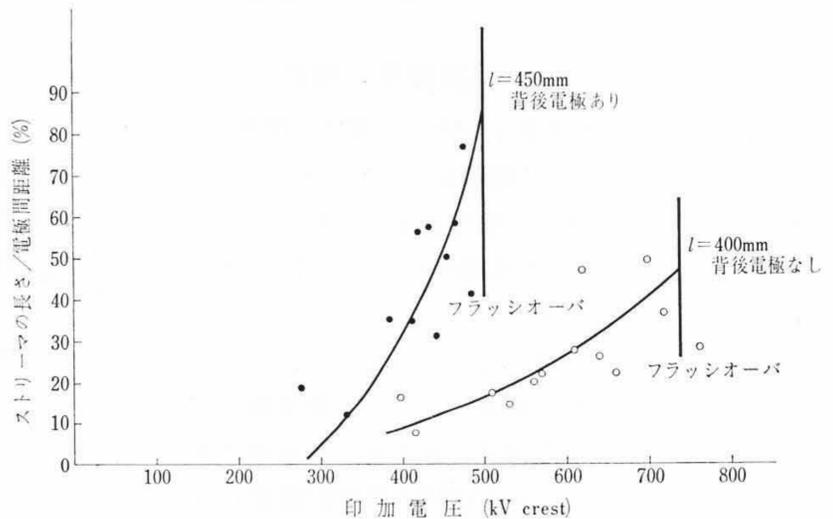
を測定してみたのが第9図である。

測定点が相当変動していて, 印加電圧が上昇してもストリーマの長さが必ずしも大きくはならないが, だいたいの傾向としては印加電圧がませばストリーマの長さも大となることが知れよう。そして背後電極なしの試料よりも, 背後電極のある試料の傾斜がはるかに大きいことが示されている。またストリーマ進展率の最大は, 背後電極ありで80%くらい, 背後電極なしで50%くらいになり, それ以上になるとフラッシュオーバに至っている。

測定点がばらつくという原因は, いろいろ考えられるが, いちばん大きなものは残留電荷の影響であろう。すなわち油中に沈められ



第8図 B絶縁筒(背後電極あり)の沿面ストリーマ

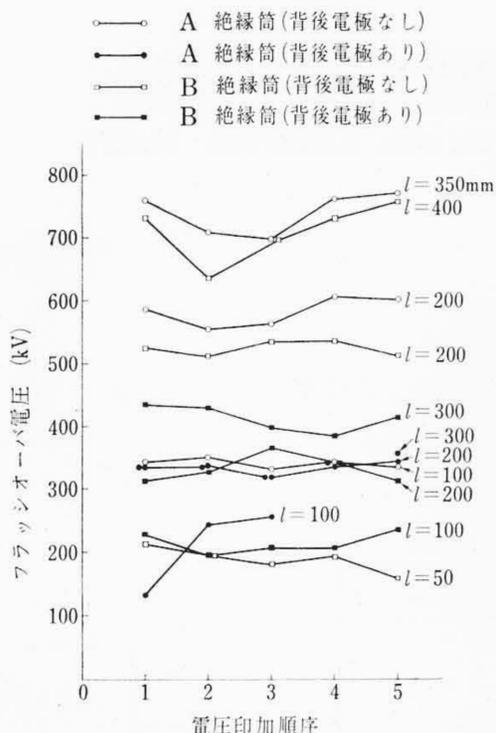


第9図 B絶縁筒におけるストリーマの長さとの印加電圧の関係

た試料は電圧を印加されるごとにコロナによって生じた電荷が絶縁筒表面に累積し, 複雑な模様をつくる。そして次の電圧印加で生ずるストリーマの発達をさまたげたり, 助長したりすることが予想される。たとえば第7図をみると, 558, 568 kV ではほとんど同じところに1個のストリーマを生じているが, 607 kV になるとその部分にはストリーマが生ぜず, 少しずれた所に2個の小さなストリーマを生じ, この面の反対側には27%の進展率をもつ1個のストリーマが発生している。つまり558 kV と568 kV を印加して生じた正極性の残留電荷が大きなものになって, 高圧電極から進展するストリーマの発達を阻止する結果, 残留電荷の比較的少ない反対側に大きなストリーマを生じたと説明できる。

5.3 インパルスにおける電圧印加回数と破壊電圧

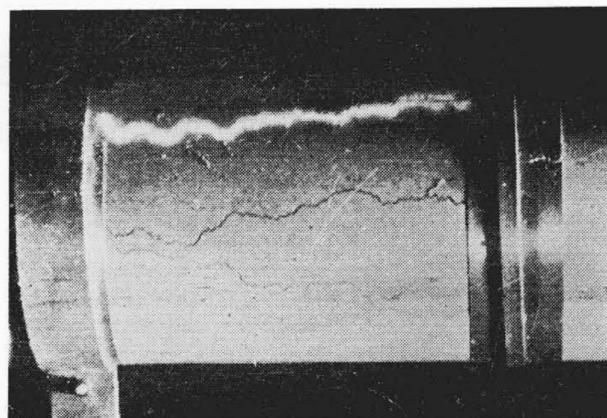
油中で絶縁物に一端フラッシュオーバを生ぜしめると, その部分に破壊痕跡を生じ痕跡を生じない他の部分よりも電氣的に弱くなることが知られている。特に貫通破壊の場合にはこの傾向が著しいが,



第10図 電圧印加回数と破壊電圧の関係

沿面破壊の場合はあまり成立しないこともわれわれは経験してきた。

インパルス電圧の場合、同一試料を5回破壊せしめ、その平均値をとっているから数回の破壊によって電圧が低下し、誤った測定値を得ている恐れがある。これを検討したのが第10図である。図から明らかなように、5回目の破壊電圧値が1回目の値より高くなっているものもあるし、若干低くなっているものもある。この程度では前回の破壊が次回の値に特に悪い影響を与えたとはいえないのであろう。すなわち1回の沿面フラッシュオーバーアークで、絶縁筒表面は1個の痕跡ができるが、次のフラッシュオーバーアークが再びこの痕跡を通ることなく(わずかの例外もあった)、別の経路でフラッシュオーバーしている。この様子は第11図をみれば明らかである。図ではフラッシュオーバーアークの下部に2個の痕跡がみられるが、これは2回のフラッシュオーバーが別々の経路で行なわれたことを示すものである。なお3回目のフラッシュオーバーではさらに異なった部分でフラッシュオーバーしている。



B絶縁筒, 背後電極あり
l=200 mm, V=508 kV

第11図 沿面フラッシュオーバーの痕跡

このように別個の痕跡を生ずるおもな理由はインパルス破壊であるから、熱破壊的要素がほとんどないこと、破壊ごとに絶縁油をかきまぜ脱気していることの二つであろうと思われる。

6. 結 言

本研究により絶縁筒の油中における沿面フラッシュオーバー特性が明らかになった。結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 絶縁筒の沿面フラッシュオーバー電圧(V)と沿面距離(l)の間には $V=Al^B$ (ただしA, Bは定数) なる関係が成立する。
- (2) 沿面フラッシュオーバーの衝撃比は試料の構造や沿面距離によってかなり変化する。
- (3) インパルス電圧で同一試料を5回くらいフラッシュオーバーさせても破壊電圧は低下せず、またその痕跡が同一経路をたどることは少ない。

終わりにのぞみ、熱心なご指導をいただいた日立製作所国分工場関係者に謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) Standring: ERA Report S/T, 89 (1955)
- (2) Anderson: AIEE Part, 2 (1955)
- (3) 橋野, 井関: 電学誌 79, 12~14 (Jan. 1959)
- (4) Keneth, Michael: AIEE Power Apparatus and Systems (Aug. 1961)



特許第313362号

特 許 の 紹 介



永 山 幸

2種の熱処理特性が異なる鋼材間の溶接法

本発明はたとえば炭素鋼と13Cr鋼というように熱処理特性が相違する二種の鋼材を溶接する方法にかかわり、溶接後の溶接部近辺の硬度の不均一さを回避することを目的とするものである。

溶接によって一体に溶接された二つあるいはそれ以上の母材が異なる材質でありしたがって焼戻しのための熱処理条件が異なる場合には各母材の焼戻しのために全体を一様に熱処理することは適当でない。すなわち炭素鋼と13Cr鋼とでは前者の焼戻し温度が500°Cで、後者の焼戻し温度が650°Cであるから、両者を溶接で一体に接合した場合、これをたとえば500°Cで熱処理しても13Cr鋼側の焼戻しは戻らず、したがってこのような溶接部は溶接後の熱処理が不完全となるため硬度が不均一になったり脆くなったりする材質的欠陥が生ずることになる。

本発明は上述のような欠陥を是正する溶接法を提案するもので、その要旨は熱処理特性の異なる2種の鋼材のおのおのの溶接開先部に同種材質を肉盛溶接した後、各鋼材に適した条件で各鋼材を別個に熱処理して焼戻しを行ない、次に上記2種鋼材の各肉盛溶接部同志を前記肉盛溶接に用いたものと同材質または焼のはいらない材質のもので溶接し、そのうえで肉盛溶接に用いた材質に適した条件で熱処理を施すことを特徴とするものである。

肉盛を行なった母材は本溶接の際に肉盛部に遮へいされて高温に持ちこまれないから焼がはいらない。もし肉盛材が焼のはいる材料であれば本溶接の結果、この部分に焼がはいりけれども焼のはいた部分はすべて同材質であるからそれに適した条件は一つであり問題はない。(高橋)