

交流電圧による碍子の閃絡破壊基礎実験

北村 岩雄, 沢田 慎一, 武田 栄一
山崎登志成, 高橋 隆一, 池田 長康

1. 序 論

超高電圧送電時代に入り, 500KV 用架空送電線の絶縁として, 現在, 280mm 径の懸垂碍子35個程度を連ねて使用し, その長さが7mから9mにもなっている¹⁾。ここで今後の懸垂碍子絶縁技術が現在のそのまま延長線上で良いのか, 今一度根本から考え直す時期にさしかかっていると考えられる。懸垂碍子の形状も見直し, もう少しコンパクトに出来ないものであろうか。

前報告²⁾³⁾で一個の懸垂碍子の閃絡破壊電圧について調べ, 碍子沿面各部での閃絡破壊電圧を測定し, これら種々の閃絡破壊電圧を比較検討し, 更に, この碍子について等価回路を作り, 碍子表面に印加される電位差を考慮し, 交流電圧による碍子全体の閃絡破壊について一つの考察を行った。本報告では今後の新しい碍子の絶縁設計指針を得るため, 2, 3の模擬碍子を用いて交流電圧による閃絡破壊基礎実験を行った。この結果について報告する。

2. 交流高電圧発生装置と電圧測定法

交流高電圧発生には500kV(実効値)用の試験変圧器を使用している。この試験装置の詳細な仕様については前報告に既に示した。高電圧の測定には図1に示すように, 高電圧用100M Ω セラミック抵抗4本を直列に繋ぎ, これと10k Ω 抵抗を分圧することにより(分圧比は1/40000)電圧を求め, 測定を行った。また, 電圧波形は少し歪んでいるが, ほぼ正弦曲線であり, 破壊電圧はすべて実効値で示した。

3. 絶縁破壊防止に関する一つの考え方

絶縁破壊を防止する一般的な考え方, 設計指針というものは現在まだ確立されていない。それ故, 絶縁距離を経験的に決め, 相似形状の実験結果を考慮し, 十分な安全係数をかけて決定しているのが実状であろう。我々は絶縁破壊が

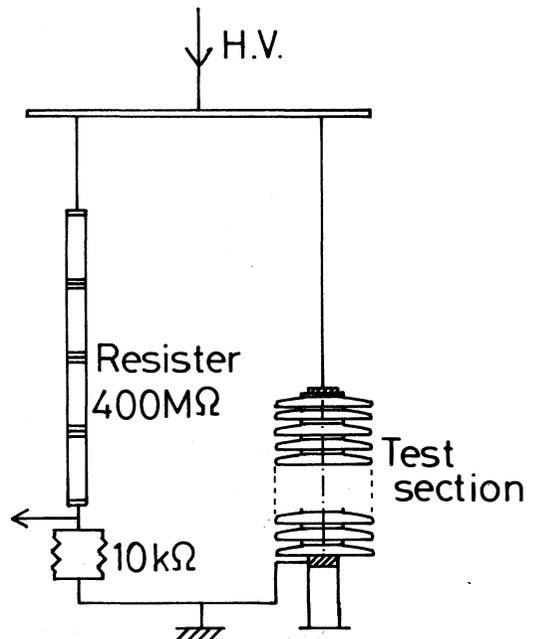


図1 電圧測定法と電圧印加法

- 1) 絶縁破壊の初期段階では電気力線に沿ったある幅をもって進展する。
- 2) 絶縁破壊は無電極でも電気力線上の電界が破壊電圧以上になれば起こる。
- 3) 破壊の進展は電界が低くなる方向には進展しない⁴⁾。

という実験的事実がある。これをもとに絶縁破壊を防止する方法、設計指針を考えると、

- 1) 電気力線を耐圧の高い材料で可能な限り小さく分断する、すなわち、 E/P (電界の強さ/ガス圧) の値を小さくする。
- 2) 電気力線が耐圧の高い材料に集中するように材料の誇電率制御を行う。
- 3) 電気力線をトラップするような形状をとり、破壊の進展を防ぐ⁴⁾。

ということになる。

この絶縁破壊を防止する設計指針に従って、次の2、3の模擬碍子について交流電圧による閃絡破壊実験を行った。この実験では10回の測定の平均値を閃絡破壊電圧(実効値)としている。

4. 模擬碍子の交流電圧による閃絡破壊の実験とその結果

4.1 電気力線分断実験

まず、5種類の直径からなる洋皿を重ねて閃絡破壊の実験を行った。この実験は図2 a) に示すように洋皿を重ねて行った。洋皿は5種類の直径のものを用いた。これらの直径と高さの間隔は表1に示す。

表1 洋皿の直径、高さの間隔

洋皿	直径D (mm)	高さh (mm)	間隔d (mm)
LL	262	26.7	11
L	234	28.0	8
M	208	26.0	7
S	192	19.9	12
SS	167	20.7	10

この閃絡破壊の実験の結果を図3 a) および b) に示す。同図 a) は皿の間隔に関係なく枚数を重ねたものであり、b) はM、SS皿にガラスのスペーサを挿入し、LL皿の間隔を一定に保持した場合である。両実験とも破壊は皿の外周、包絡線で起り、皿と皿の間では起らなかった。当然予想されることであったが、皿の直径が小さい程、低い電圧で閃絡破壊を起している。また、直径の小さい皿でもガラスのスペーサを挿入し、間隔を上げたb) の場合の方が破壊電圧が多少高くなっていることを示す。 V_{BD}/D の値で結果を片対数でまとめると図4のようにほぼ1つの曲線の上に乗ることが分かる。しかも、間隔が40mm以上になると直線になり、単位電極間距離(mm)あたりの単位碍子直径に対する閃絡破壊電圧が一定値を示し、この実験では $1.32/\text{mm}^2$ という値を得た。間隔が40mmまでは両端の電極の影響があり、電気力線が湾曲しているためであると考えられる。

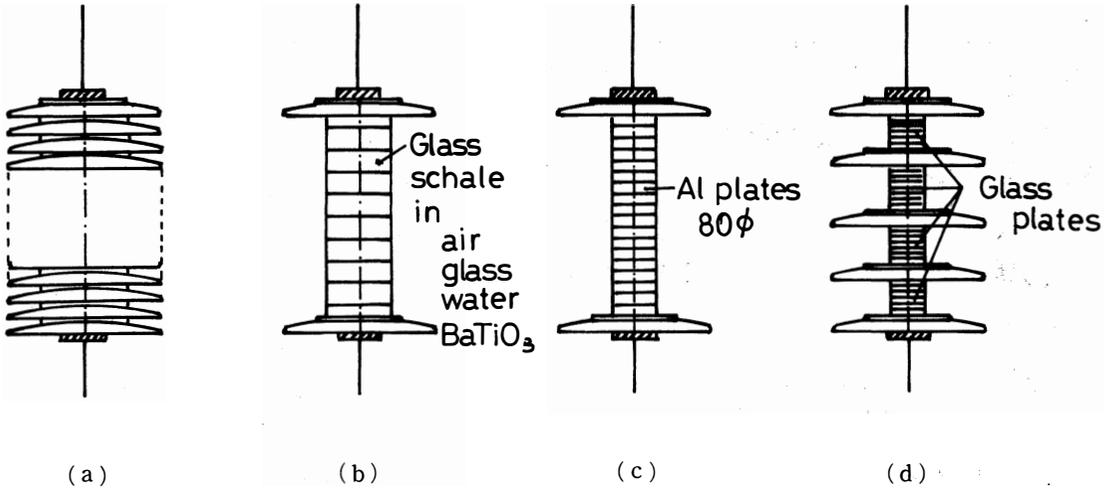


図2 供試模擬碍子形状

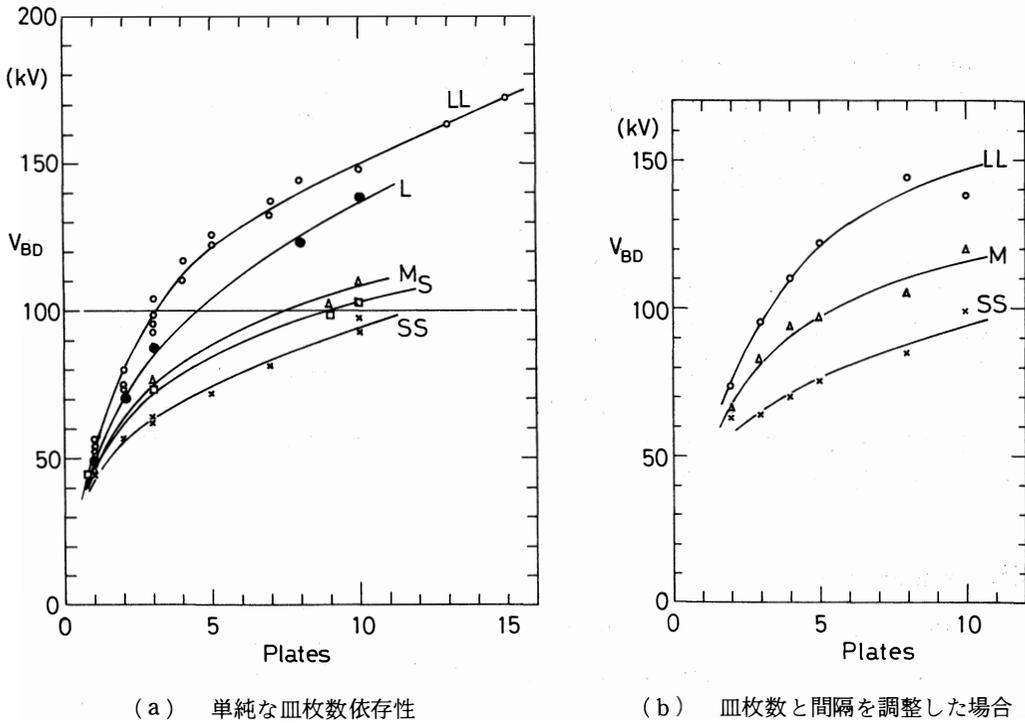


図3 閃絡破壊電圧の皿枚数依存性

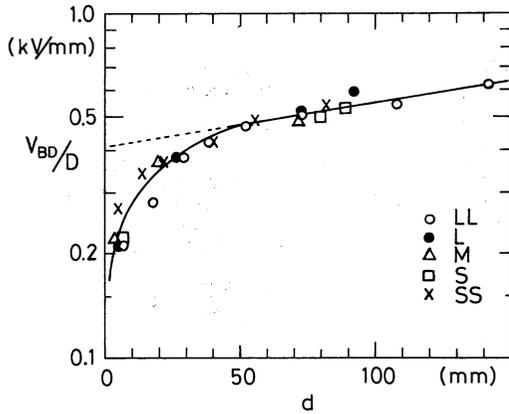


図4 単位電極間距離に対する単位碍子直径あたりの閃絡破壊電圧

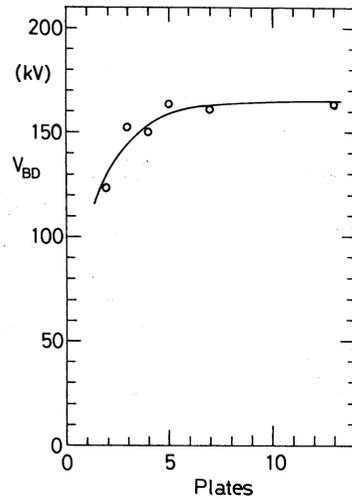


図5 一定電極間距離に対する閃絡破壊電圧

次に、図2 d) に示すように、電極間隔をLL皿13枚の時に固定し、皿を一枚ずつ抜き、ガラスのスペーサを挿入した場合の閃絡破壊電圧を調べた。この結果を図5に示す。これから分かるように、5枚程度で閃絡破壊電圧は飽和し、枚数を増やしても耐電圧は向上しない。これから電気力線を分断する最適な間隔が存在すると考えられる。この結果をもとに、単位枚数あたりの閃絡破壊電圧と枚数による単位皿間隔の関係を調べると、図6のようになる。間隔を拡げて行くと、単位枚数あたりの閃絡破壊電圧が確実に上がり、次第に飽和する傾向を持っている。平等電界における空気の破壊電界（波高値）は3kV/mmであるから、これを同図に図示すると、点線で表す直線になり、この直線の上側は閃絡破壊の領域である。この実験では間隔が50mm程度までこの破壊電界の約1/2以上で閃絡破壊している。

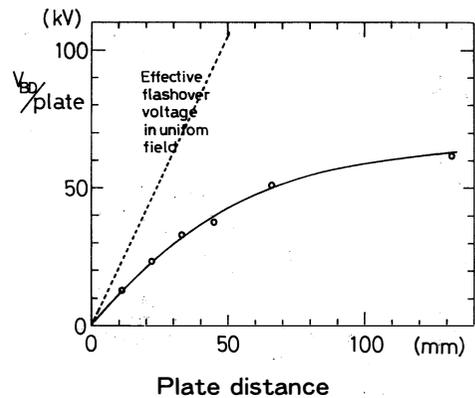


図6 枚数による単位皿間隔に対する単位枚数あたりの閃絡破壊電圧

4.2 電気力線集中化実験

電気力線を耐圧の高い材料に集中させ、破壊電圧を高めようとする設計指針の2)の効果を調べるため、図2 b) に示すような、2枚のLL皿の間に次の5種類の誘電率の異なる材料、すなわち：

- 1) ガラスシャーレ（中は空気、比誘電率1）を用いた場合
- 2) SS小皿（比誘電率～6）のみを積み重ねた場合
- 3) ガラス板スペーサ（比誘電率6～10）のみを用いた場合

- 4) ガラスシャーレ (中は水, 比誘電率 ~ 80) を用いた場合
- 5) ガラスシャーレ (中は粉末, チタン酸バリウム, 比誘電率 ~ 1600) を用いた場合

について間隔を変えて閃絡破壊実験を行った。さらに, 図 2 c) に示すような電気力線を集中する金属 (アルミニウム) スペーサを用いた場合についても実験を行った。

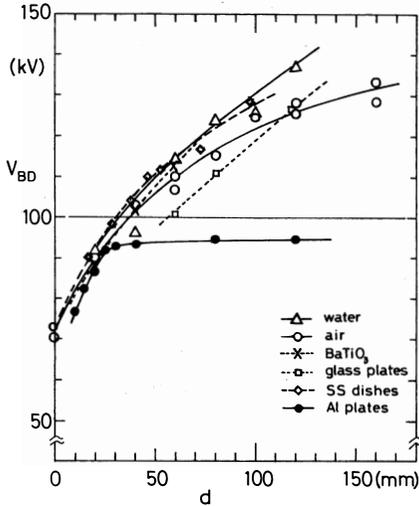


図 7 誘電率の異なる材料の挿入による閃絡破壊電圧

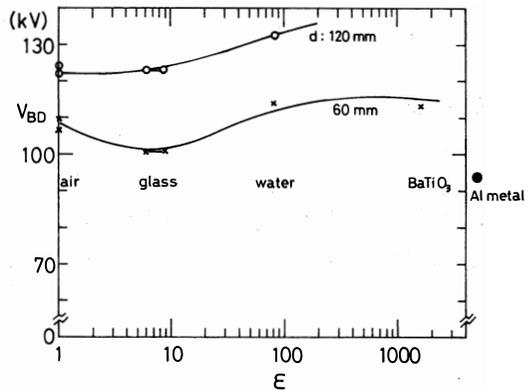


図 8 閃絡破壊電圧の比誘電率依存性

これら閃絡破壊の実験結果を図 7 に示す。容器のガラスシャーレの影響も考えられ, 明確な結果は得られなかったが, 誘電率の高い材料は全般に高い閃絡破壊電圧を示し, 電気力線集中化の効果が多少見られる。これら誘電体に対して, アルミニウム金属のスペーサを用いた場合も同図に示すが, 皿の間隔が 30mm 程度で飽和性を示す。この程度までは金属のスペーサも電気力線を集中させる効果があると考えられるが, 耐電圧は 2 枚の皿によって決まっているものと推測される。

次に閃絡破壊電圧の比誘電率依存性を図 8 に示すが, ガラス板スペーサのみを用いた場合に比べ, ガラスシャーレに水を入れた場合確実に閃絡破壊電圧が上がっていることを示している。ガラスシャーレに粉末のチタン酸バリウムを入れた場合, 期待したほど耐電圧が上がらないのはこのような使用状態で比誘電率を高くすることが出来るのか疑問であり, 今後の問題である。

電気力線の集中化の程度は今後の数値計算によらねばならないが, 閃絡破壊電圧が向上していることは確実なようである。

5. 結 論

超高電圧送電用碍子の開発を目差して行っている基礎研究として, 行った実験とその検討から, 現在, 次の事柄が分かった;

- 1) 碍子の閃絡破壊防止に関する 3 項目の設計指針, すなわち,
 - (1) 電気力線を耐圧の高い材料で可能な限り小さく分断する。
 - (2) 電気力線が耐圧の高い材料に集中するように材料の誘電率制御を行う。

- (3) 電気力線をトラップするような形状をとる。
を設定し、(1)、(2)については有効であることを確かめた。また、(3)については今後の研究で確める予定である。
- 2) 電気力線を耐圧の高い材料で分断することによる閃絡破壊電圧の向上効果は十分ある。
 - 3) しかし、電気力線の分断には最適な間隔が存在する。
 - 4) この実験では、閃絡破壊電圧を碍子の直径で割った値は電極間距離の関数として1つの曲線で表すことが出来る。電極の影響の無い状態では単位直径あたり閃絡破壊電圧 (kV/mm) の単位電極間距離 (mm) の値は $1.32V/mm^2$ という一定の値を得た。
 - 5) 誘電率の高い材料を碍子の間に挿入することにより電気力線の集中化を制御する方法では明確な結果は得られなかったが、その効果は一部の材料では明らかであった。

参 照 文 献

- 1) 電気学会通信教育会, “がいし”, 電気学会, 1983.
- 2) 北村岩雄ら, 交流電圧による懸垂碍子の閃絡破壊, 富山大学工学部紀要, 第42巻, p 1, 1990.
- 3) 北村岩雄ら, 懸垂碍子の等価回路, 富山大学工学部紀要, 第42巻, p 12, 1990.
- 4) 池田長康ら, ケーブルの沿面閃絡とその防止に関する実験, 電気試験所彙報, 第32巻, p 1008, 1968.

Fundamental experiments on flashover of a porcelain insulator with AC high voltage

Iwao Kitamura, Shin-ichi Sawada, Eiichi Takeda, Toshinari Yamazaki,
Takakazu Takahashi, Nagayasu Ikeda

Following previous papers²⁾³⁾, flashover characteristics of a porcelain insulator by applying AC high voltage are fundamentally examined. We get the many protections on flashover of a porcelain insulator into the guiding principle from many experiences of high voltage experiments. The principle consists of the following three items:

- 1) divide the electric line of force into small length as possible.
- 2) concentrate the line within high insulation materials by a specific dielectric constant control.
- 3) trap the line with the shape of high insulation materials.

Experiments belonging to two categories are carried out. One is of division of the line by several layers of dishes. Another is of concentration of the line with the high dielectric materials. It is found from the fundamental flashover experiments that there are an optimum distance for the divide the electric line of force into small length and a certain curve which represents flashover voltage per unit diameter of a porcelain insulator as a function of the distance of two electrodes and our guiding principle on the protection of flashover of a porcelain insulator is certain to be available.

[英文和訳]

交流電圧による碍子の閃絡破壊基礎実験

北村 岩雄, 沢田 慎一, 武田 栄一
山崎登志成, 高橋 隆一, 池田 長康

前報告²⁾³⁾に引き続いて、交流高電圧による碍子の閃絡破壊特性を基本的に調べた。我々は多くの高電圧に関する実験の経験から得た数多くの碍子の閃絡破壊防止法を今後の指針にまとめた。この指針は次の3項目からなっている；

- 1) 電気力線を可能な限り分断する。
- 2) 電気力線が耐圧の高い材料に集中するように材料の誘電率制御を行う。
- 3) 電気力線をトラップするような形状をとる。

2つの範疇に属する実験がなされた。一つは洋皿を重ね、電気力線を分断するものであり、もう一つは高誘電材料で電気力線を集中させるものである。閃絡破壊の基礎実験から、電気力線を小さく分断するのも最適な距離があること、および、碍子の単位直径あたりの閃絡破壊電圧は電極間距離の関数として一つの曲線で表されることが分かった。そして、我々のまとめた碍子の閃絡破壊防止に関する指針は確かに使うことが可能である。