

直流高電圧における導電釉がいしの特性

Insulation Characteristics of Semiconducting Glaze Insulator under Direct Voltage

河村 達雄*・石井 勝*

Tatsuo KAWAMURA and Masaru ISHII

近年の電力需要の増大による送電電圧の上昇に伴い、送電線鉄塔も大型化しているが、がいしの汚損による絶縁耐力の低下を防止できれば、鉄塔の小型化に寄与するところとなり、その効果は直流送電線において、より大きいと考えられる。有力な方策の1つは、導電釉がいしの採用だが、寿命の制約から直流送電線での使用が検討された例はない。本文は直流送電線に適用可能な導電性のあるがいしが開発された場合の効用を明らかにしたものである。

1. はじめに

わが国では、増大する一方の電力需要に対応して、送電電圧の高電圧化による送電線の大容量化が進められている。現在のわが国の最高系統電圧は交流500kVだが、次期送電電圧として、交流1000kV級の送電線がすでに検討されている段階にある。これらの送電線においては、必要な絶縁距離を確保するために、鉄塔は巨大なものとならざるを得ない。現行の設計手法のもとでは、交流1000kV3相2回線の鉄塔高は100mを越すと予想されているが、これは世界的にも例を見ない大きさである。もし、許容される絶縁信頼度の範囲内で、送電容量を犠牲にせず鉄塔の大きさを小さくできれば、送電線を構成する鉄塔基数は多いだけに、省資源上の効果は大きいと考えられる。

送電線の絶縁設計に際し、重視される事故原因は、自然雷、開閉サージ、がいし汚損の3種類である。この中で、自然雷による事故は、送電電圧の上昇に伴って減少する傾向にあると予想され、また開閉サージは、遮断器の改良、酸化亜鉛避雷器の導入などの対策が有効であり、それぞれ対応することが可能と考えられている。がいし汚損に対しては、がいし連長を長くして、過絶縁とするのが一般的であり、鉄塔の大型化の一つの原因となっている。

直流架空送電線は、同じ送電容量をもつ交流架空送電線にくらべて絶縁がかなり楽であり、鉄塔も小型化できるため、長距離大電力の輸送に際しては、両端に必要な交直変換所に要する費用を考慮しても、十分に検討に値する。しかし最近の研究の結果、直流高電圧のもとでは、がいしの汚損による絶縁耐力の低下は交流に対するよりも著しいことが明らかとなっている¹⁾。このため現行手法で絶縁設計を行うと、重汚損地域で必要となる直流送電

線のがいし連長は長大なものとなり、鉄塔の大きさが、同じ送電容量の交流送電線と余り変わらなくなるとの予測例もある。すなわち直流架空送電線においては、がいしの耐汚損性能向上に伴っての鉄塔の小型化による経済効果は、交流架空送電線の場合よりも大きい。

がいしの形状を変えずに耐汚損性能を向上させる方策としては、洗浄、シリコングリース塗布、導電釉がいしの採用が有力である。後2者は、軽汚損地区の直流架空送電線に発生する可能性のある、がいし連の部分フラッシュオーバー現象の防止にも有効である。中でも導電釉がいしは、保守が不要という大きな利点を持つ。

交流電圧のもとでの導電釉がいしの特性は詳細に研究されており²⁾、それが優れた性能を示す理由は、発熱、および電圧分担の均一化にあるといわれている。すなわち電圧印加直後で、がいしが冷えている状態では、通常がいしと同じ特性を示すが、発熱によって幅の広い乾燥帯が形成されるため、汚損フラッシュオーバー電圧は急速に上昇する。また電圧分担が均一化されることによって、がいし連からのコロナ放電も抑制される。

以上のように、交流電圧のもとでの導電釉がいしの使用についてはかなり検討が進んでおり、一部では実用に供されている。その最大の問題点は導電釉の寿命にあり、直流電圧のもとでは電食によって、これがさらに加速される。このため直流架空送電線に導電釉がいしを使用することは実際のではなく、検討された例はない。しかし、がいしの構成材料に導電性を持たせる等の方策により、導電釉がいしに類似した電気的特性を持った、直流電圧のもとで使用可能ながいしを想定し、その直流電圧のもとでの耐汚損性能をあらかじめ検討しておくことは、極めて意義があると考えられる。

直流電圧のもとでは、がいし連の電圧分担特性は交流の場合とは異なり、汚損沿面上の部分アークの進展状況もかなり異なる。このため直流電圧のもとで導電釉がいしが示す耐汚損性能を知るとは興味深い問題である。

* 東京大学生産技術研究所 第3部

以下ではこれを実験的に検討した結果について述べる。

2. 通常がいしの絶縁特性

はじめに比較のため、通常がいしの汚損直流耐電圧を、霧中耐電圧試験法により求めた。わが国では霧中耐電圧試験は温水霧または蒸気霧、蒸発霧で実施されることが多く、冷水霧による試験結果は少ない。しかし導電釉がいしの特性には周囲温度も関係するため、その霧中試験には冷水霧が用いられる。このため通常がいしの試験も冷水間接噴霧により行った。

霧中耐電圧試験は、はじめに所定の濃度の汚損液で洗浄ながいしを平等に汚損して乾燥させ、霧室に搬入して試験電圧を印加した後に、人工霧の噴霧を開始するという手順で行われる。印加電圧は変化させない。30分～1時間以上、もしくは部分アークがほとんど出なくなるまで1回の電圧印加は継続されるが、フラッシュオーバーが生じれば、そこで打ち切られる。1回の電圧印加が終了すると試料は新しいものと交換され、再び同一手順で試験が繰り返される。フラッシュオーバー電圧は統計的に変動するため、耐電圧値を推定するには何回かの電圧印加を行う必要がある。わが国において、霧中耐電圧試験によく用いられていたのは、4回同じ試験電圧に耐えたら、その電圧を耐電圧とみなす4回耐電圧法だが、最近50%フラッシュオーバー電圧を求めるのを主目的とした昇降法による試験も行われるようになってきた²⁾。

試験の対象としたのは250mm標準懸垂がいし5個連で、汚損度は等価塩分付着密度 0.1 mg/cm^2 、印加電圧極性は、より低いフラッシュオーバー電圧を示す負極性である。汚損液ははとの 40 g/l とNaClで調製し、これをがいしにスプレーがけて屋外で乾燥させた。電圧印加手順は4回耐電圧法によったが、試験時間の短縮をはかるため、通常の2倍の2連のがいし連に同時に電圧を印加した。電圧印加時間は最長60分とした。

人工霧濃度は噴霧開始後約15分で定常値 4 g/m^3 に達し、以後ほとんど変化していない。霧室内の気温 $26\text{ }^\circ\text{C}$ のもとで得られた4回耐電圧値は -7.5 kV/個 である。この数値は、温水霧のもとでの耐電圧値として従来報告されている値より10%程度高めている。

3. 導電釉がいしの特性

導電釉がいしは、設計電圧を印加した状態で、がいし表面温度が気温よりも数 $^\circ\text{C}$ 高くなるよう設計されている。このため等価霧中法のように、がいしに電圧を印加してからフラッシュオーバーさせるまでの時間が短く、がいしがまだ暖まっていない状態で行う人工汚損試験では、通常がいしにくらべてフラッシュオーバー電圧は余り高くない。一方、霧中耐電圧試験法では、導電釉がいしが十分に暖まった状態で人工霧を発生させるため、設計電圧の

2倍以上を印加してもフラッシュオーバーが生じないばかりか、がいし温度が著しく高くなり、熱暴走によって破壊する危険が生じる。このように通常がいしの人工汚損試験法をそのまま適用して導電釉がいしの性能を評価するのは不適當であり、種々の使用状態を想定しての試験が試みられている²⁾。

今回試験対象とした導電釉がいしは、250mm標準懸垂がいしと同一形状で、設計電圧は1個当たり 10 kV である。はじめに通常がいしの試験結果との比較のため、電圧先行定印で冷水霧を噴霧した状態での性能評価を行った。汚損度 0.1 mg/cm^2 の乾燥した導電釉がいし1連に設計電圧を印加し、20分後、がいしが十分暖まった状態で人工霧の噴霧を開始した。これを負極性電圧印加で2回、正極性で1回行ったが、いずれの場合も冷水噴霧開始後30分を経過しても部分アーク発生は認められず、フラッシュオーバーしないことが確認された。同時にコロナ放電による中波帯の放射電磁界も測定されたが、検出限界以下であり、通常がいしにくらべて極めて良好な特性を示すことが明らかにされている³⁾。

霧中での実使用状態を想定した以上の試験で、 0.1 mg/cm^2 の汚損度において、導電釉がいしは通常がいしより33%以上高い耐電圧値を持つことが確認されたが、この状態でのフラッシュオーバー電圧を強いて求めるため、そのままフラッシュオーバーするまで電圧を上昇させたところ、負極性で -35 kV/個 、正極性で $+60\text{ kV/個}$ というフラッシュオーバー電圧が各1例得られた。いずれも設計電圧の3倍以上であり、フラッシュオーバーの様相は汚損フラッシュオーバーではなく、気中フラッシュオーバーのようであった。

次に人工霧の噴霧を先行させ、後から電圧を印加する方法で試験を行った。これは長い線路停止中がいしが湿潤した後、線路が再充電される過程を想定したもので、導電釉がいしにとって厳しい条件となる。汚損度は 0.15 mg/cm^2 とし、冷水霧を発生させてから20分後に負極性電圧を印加した。なお設備の制約から突印はできず、電圧を所定の値まで上昇させるのに約15秒を要した。電圧は所定の値で最長5分間定印し、フラッシュオーバーしない最高の電圧を求めた。得られた耐電圧値は -12 kV/個 であり、汚損度 0.1 mg/cm^2 の通常がいしの霧中耐電圧値 -7.5 kV/個 にくらべ、かなり高くなっている。すなわち、わずか十数秒かけて線路電圧を上昇させるだけで、導電釉がいしは重汚損の場合にも設計電圧では容易にフラッシュオーバーしないことが判明した。交流送電系統では不可能だが、直流2端子系統でこのような制御を行うのは極めて容易であり、寿命の問題さえ解決すれば、直流架空送電線にこの種のがいしを適用するのは、交流送電線におけるよりも有利であることが結論できる。

4. 清浄がいしの霧中耐電圧

汚損した導電釉がいしの電圧上昇法によるフラッシュオーバーが、いずれも気中フラッシュオーバーのような様相であったことから、清浄がいしの霧中直流フラッシュオーバー電圧について実験的検討を行った。交流電圧に対しては、長ギャップの霧中フラッシュオーバー電圧が、乾燥時の半分近くに低下する現象が最近注目されているが³⁾、直流電圧下の清浄がいしに対するデータは知られていない。今回の試験では、清浄な250 mm標準懸垂がいしの霧中繰返し耐電圧値を求めた。すなわち霧中でフラッシュオーバーが生じると、試料、霧ともそのままの状態で電圧を5~10%下げて再課電し、30分間フラッシュオーバーしない最高電圧を耐電圧とした。霧室内の気温は26°Cであった。

3個連で得られた耐電圧値は、+29 kV/個、および-32 kV/個であり、いずれも汚損した導電釉がいしの霧中試験終了後に電圧上昇法で求められたフラッシュオーバー電圧よりも低い。すなわち導電釉がいしでは、設計電圧を印加されて表面温度が上昇し、安定状態になった後には、汚損によるフラッシュオーバーはほとんど生じないと思われる。

清浄がいしの霧中耐電圧値は、約50 kV/個という直流電圧に対する注水時のフラッシュオーバー電圧よりも低いが、軽汚損時のフラッシュオーバー電圧よりはまだはるかに高く、絶縁設計上問題になることはないと思われる。また霧中耐電圧値を得るまでには、フラッシュオーバーを繰り返すにつれて、徐々に低い電圧でフラッシュオーバーが発生するような試験経過をたどっており、同じ試料を使用しても、時間をおいて試験をすると高い耐電圧値を示すことがあった。汚損した導電釉がいしの試験の際にも同様の傾向が見られた。すなわち試験の途中経過がこの種の霧中フラ

ッシュオーバー電圧に関係している可能性が強い。霧中フラッシュオーバー現象自体を研究の対象とする場合は、それに影響を及ぼすパラメータを明らかにすることが大切である。

5. ま と め

直流高電圧のもとにおける導電釉がいしの耐汚損性能を初めて実験的に明らかにした。寿命の点から、現在入手可能な導電釉がいしを直流架空送電線で使用するのは困難である。しかし導電釉がいしと同様、発熱効果によって耐汚損性能を向上させる方式のがいしで、直流送電線に適用可能なものが開発されれば、その効用は交流送電線におけるよりも大きく、鉄塔の小型化による省資源に貢献し得ることを実証することができた。

最後に、実験に際して全面的にご協力いただいた日本碍子株式会社超高压研究所、内藤克彦博士に厚くお礼申し上げます。
(1981年3月30日受理)

参 考 文 献

- 1) I. Kimoto, T. Fujita and K. Naito: IEEE Trans. PAS-92, p943, 1973
- 2) 内藤, 入江, 大橋, 伊藤: NGKレビュー, No.40, p19, 1975. 5
- 3) 石井, 河村, 松本: 電気学会高電圧研究会資料, HV-81-18, 1981. 3
- 4) 杉沼, 野垣: 放電研究, No.79, C-17, 1980. 3
- 5) 高須, 新井, 今野, 新藤, 深沢: 電力中央研究所研究報告 178054, 1979. 5