

交流電車線路地絡保護の信頼性向上

電力技術研究部 き電
主任研究員 安喰 浩司

1. はじめに

鳥害、飛来物、および台風による塩害等に起因して発生する電車線路地絡故障では、人体の安全の確保および機器の損傷を防止する観点から、保護方式は大地電位を確実に抑制する方法が必要である。交流電車線路の地絡保護方式は、当初、がいしに負極絶縁部を設け、負極絶縁部と負き電線（NF）をせん絡導線で接続する「せん絡導線方式」が採用された。しかし、せん絡導線方式では配線作業が煩雑になること、素線切れが発生すること、および取り付け工事費が高いという欠点があった。そのため、在来線の駅構内および車両基地においては交流放電開始電圧が2500Vの保安器を用いた保護地線方式（FW方式）が採用され、駅と駅の間中点においては在来線および新幹線とも放電間隙方式（S状ホーン方式）が採用されるようになってきた。

しかしS状ホーン方式は、コンクリート柱の絶縁強度とS状ホーン放電開始電圧との協調、あるいは近年使用されるようになってきた鋼管柱とS状ホーン放電開始電圧との協調が十分ではなく、地絡故障時のコンクリート柱の損傷や弱電機器への影響が懸念された。そこで、コンクリート柱の絶縁特性および鋼管柱の接地抵抗等を調査することによりS状ホーンの適正な放電開始電圧を求め、S状ホーンの交流放電開始電圧を従来の10kV以上から3000V以下にする方法が有効であることを明らかにした。その結果に基づきS状ホーンの交流放電開始電圧を3000V以下に低下させる、S状ホーン用補助ギャップを開発し、人工地絡故障試験等の実施によりその動作機構および保護能力が有効であることを確認した。

2. 放電間隙方式（S状ホーン方式）

PWまたはNFの支持がいしに放電間隙（S状ホーン）を設け、S状ホーン的一端は電柱に、もう一端はPWあるいはNFに接続される。がいしせん絡時は、支持物（電柱等）の電位上昇により瞬時にS状ホーンが放電し、故障電流はPWまたはNFに流れ、故障電流の金属短絡回路を構成する（図1）。S状ホーン方式でがいしせん絡が発生した場合には、S状ホーンが放電するまで電車線電圧が直接電柱に印加される。

3. S状ホーンの保護能力

S状ホーンの形状を図2に示す。懸垂180mmがいしのクレビス部に下部ホーンを、キャップ部分に上部ホーンを取り付ける構造になっている。ホーン間隙長の調整はキャップ部に取り付けた上部ホーンを水平に回し、所定の間隙長に合わせてナットを本締めする方法により行う。S状ホーンの商用周波放電開始電圧

（交流放電開始電圧）の実測値を図3に示す。現在、S状ホーンの間隙長は標準的に在来線で4mm、新幹線で4.5mmであるが、乾燥状態で間隙長を4mmとしたときの放電開始電圧の50%値（平

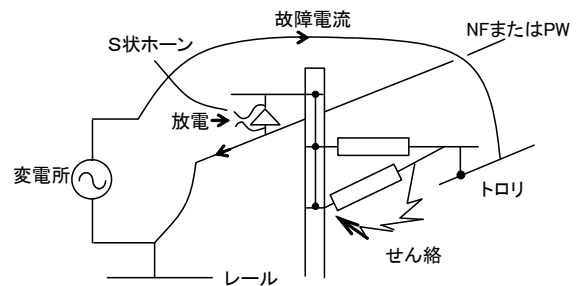


図1 放電間隙方式（S状ホーン方式）

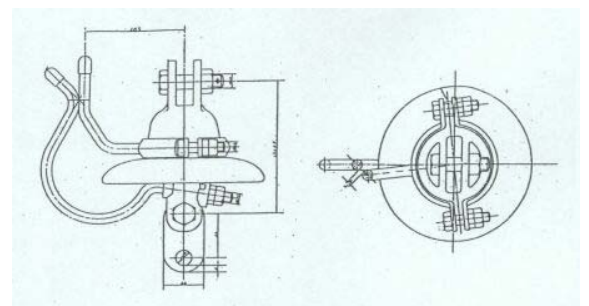


図2 S状ホーンの形状

均値) は約 10kV である。したがって鋼管柱においては、地絡故障時に電柱電圧が 10kV まで上昇することが必要であり、コンクリート柱においては瞬時的に交流 10kV 以上の絶縁強度が必要となる。

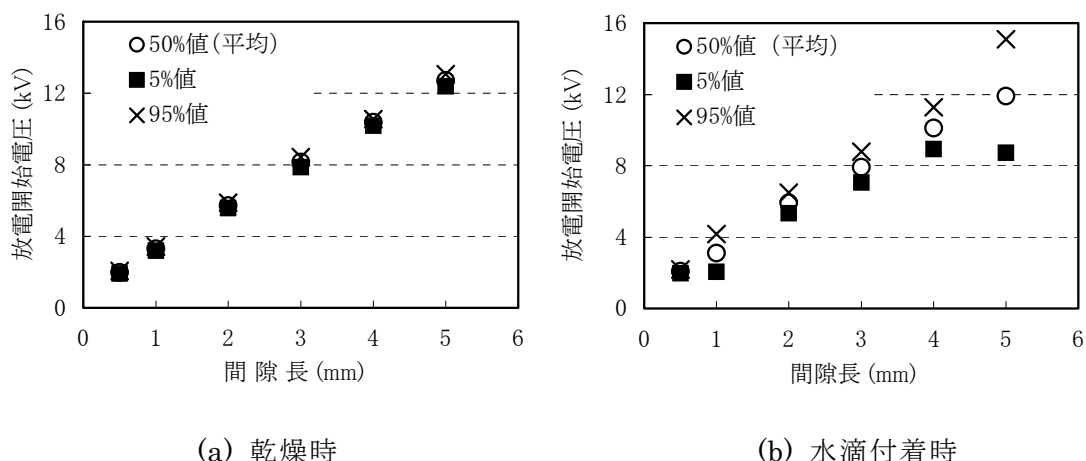


図3 S状ホーン商用周波放電開始電圧

4. S状ホーンの適正な放電開始電圧

4.1 コンクリート柱の場合

S状ホーン方式でがいしせん絡故障が発生すると、せん絡は地絡となり電車線電圧が突印的に電柱に印加される。このためコンクリート柱では地絡部と電柱内の鉄筋間で絶縁破壊を生じ、電柱を破損する可能性がある。したがってS状ホーンの放電開始電圧は、コンクリート柱の絶縁破壊電圧よりも低い値とする必要がある。図4に所定の交流電圧を突然印加する突印法によるコンクリート柱の絶縁破壊特性を示す。5000V程度以上になると瞬時に絶縁破壊することがあったが、3000V程度以下では100ms以内では絶縁破壊しなかった。したがってS状ホーンの放電開始電圧を交流3000V以下とすれば、コンクリート柱が破損する危険性は著しく低下すると考える。

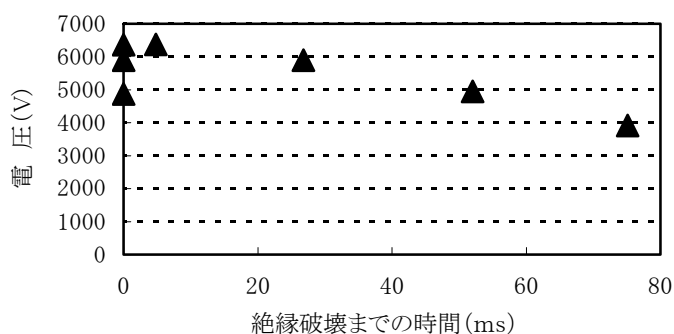


図4 コンクリート柱の絶縁破壊電圧 (突印法)



図5 コンクリート柱の絶縁破壊試験

4.2 鋼管柱の場合

鋼管柱の接地抵抗値の実測値は、接地工事を施工していない場合で4~100Ω程度、接地工事を施工してある場合で30Ω以下、高架区間で構造物の鉄筋を接地電極として利用している場合には2Ω以下となっている箇所もあった。接地工事がない場合の4~100Ωという値は、ほぼ現状のS状ホーンを動作させるのに十分な値であると考えられる。しかし鋼管柱に地絡が発生した場合には電車線電圧が鋼管柱全体に充電され、少なくともS状ホーン放電開始電圧(AC10kV以上)までは確実に電圧が上昇する。このため低圧回線が添架されている箇所では低圧ケーブル・機器の絶

縁破壊が懸念される。また鋼管柱埋設部と構造物鉄筋等の地中埋設物間に 10 kV 以上の電圧が印加されるので、S 状ホーンが動作せず鋼管柱と鉄筋等の間で放電が発生する可能性がある(図 6)。さらに鋼管柱の接地抵抗が 1Ω 以下というような低い値の場合には、現状の S 状ホーンでは地絡時に間隙電圧が放電開始電圧に至らない可能性がある。この場合、地絡電流はすべて大地に流れ出しレールに吸い上がる回路となるので、大地電位やレール電位の上昇が発生し弱電系への影響が懸念される。図 7 はき電電圧が 30 kV の新幹線での検討結果であるが、S 状ホーンの放電開始電圧を 3000V 以下とすれば低接地抵抗でも地絡時に放電することが分かる。また在来線での試験結果でも接地抵抗が 1.6Ω の電柱における地絡時の S 状ホーン間隙電圧が 2700V となった。したがって駅構内の地絡保護として使用されている保安器(電力 2 号)と同等の 2500V 程度が S 状ホーンの適正な放電開始電圧と考える。

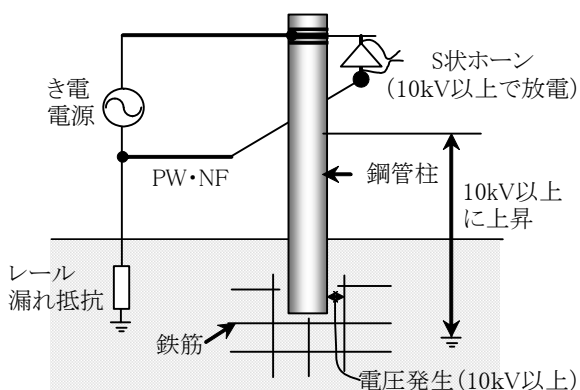


図 6 鋼管柱地絡時の電圧分布
(現状の S 状ホーン)

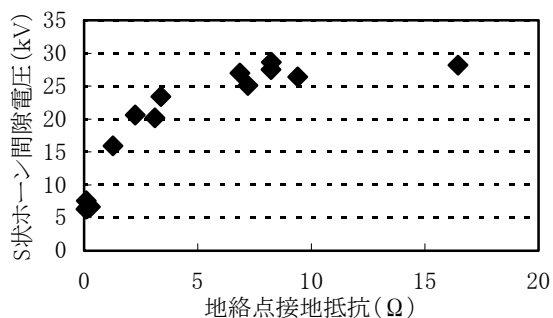


図 7 地絡時の S 状ホーン間隙電圧
(新幹線)

5. S 状ホーン補助ギャップによる放電開始電圧適正化

前章の検討の結果、S 状ホーンの放電開始電圧を 2500V ~3000V 程度とすればコンクリート柱に対しても、鋼管柱に対しても地絡保護の信頼性が著しく向上することが分かった。S 状ホーンの放電開始電圧を 3000V 以下にするには間隙を狭くする方法があるが、それには間隙長を 1mm 以下にする必要があり、現状の S 状ホーンでその調整を行うことは現実的でない。そこで放電開始電圧約 2700V の放電装置 (S 状ホーン用補助ギャップ) を試作した。この装置は S 状ホーンの電極間に取り付けて使用するものであり、S 状ホーンの放電開始電圧を等価的に 3000V 以下にする。本装置を S 状ホーンに取り付けた様子を図 8 に示す。S 状ホーン用補助ギャップは放電管と動作開始電圧が 1800V の酸化亜鉛素子(バリスタ)を直列に接続した構成とした。これはサージ電圧による放電を引き金として発生する可能性のある続流(交流放電電流)を阻止するためである。なお放電管とバリスタを直列に接続する方式は、在来線用続流抑止形保安器(電力 2 号)で実績のある方式である⁽¹⁾。

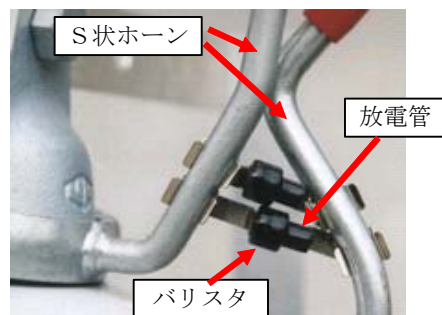


図 8 S 状ホーン用補助ギャップ

6. 人工地絡故障試験

地絡故障に対する S 状ホーン補助ギャップの動作機能の確認として、交流在来線 BT 区間において人工地絡故障試験を実施した。試験回路を図 9 に示す。き電区分所 (SP) に仮設した長さ 1 m に切断したコンクリート柱に地絡故障回路を構成し、変電所の遮断器を投入して 20kV 電源に

よる地絡故障を発生させた。試験は2箇所のSPで合計8回行い、すべての試番においてS状ホーン補助ギャップは正常に放電し、コンクリート柱は絶縁破壊しなかった。代表的波形を図10に示す。地絡電流（電柱電流）は1A以下で、地絡故障が短絡故障に移行していることが分かる。またS状ホーン補助ギャップの放電・破損により発生したアークは、正常にS状ホーンに移行しアークの伸長方向は電柱と反対方向であり、電柱やがいしに損傷はなかった。補助ギャップは2個取り付けたが、同時に2個放電することはなかったことから再閉路に対しても対応可能と考える。試験時の様子を図11に示す。

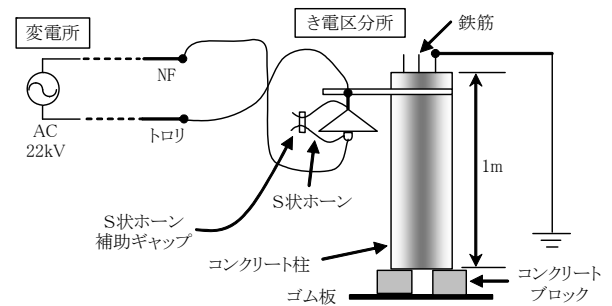


図9 人工地絡故障試験回路

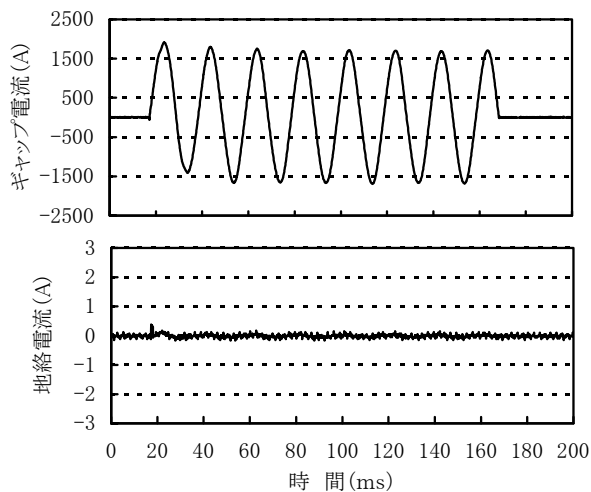


図10 人工地絡故障試験時電流（故障点）



図11 人工地絡故障試験の様子

7. 連続使用試験

新幹線電車線のS状ホーンに取付けて12ヶ月間使用したS状ホーン補助ギャップの交流放電開始電圧を測定し、初期値と比較した（図12）。その結果、放電特性に大きな変化は認められなかった。

8. あとがき

本研究ではコンクリート柱の絶縁特性や鋼管柱の接地抵抗を調査し、その結果を基に適正なS状ホーンの放電開始電圧を求め、それを実現するS状ホーン補助ギャップを開発した。またその機能検証として人工地絡故障試験や連続使用試験等を実施し良好な結果を得た。よって本装置による地絡保護の信頼性向上は可能と考える。

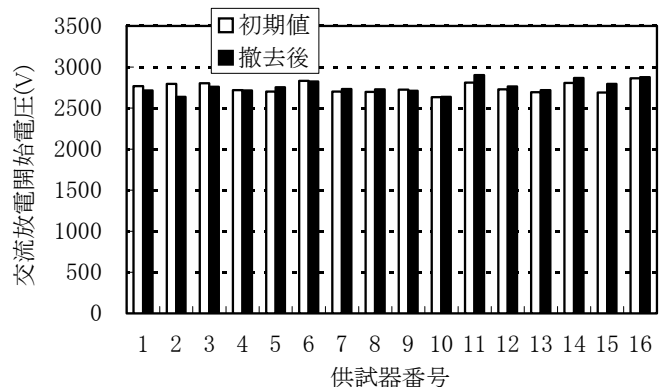


図12 現地連続使用後の放電特性

参考文献

- 1) 安喰、森本、久水、木下、高井、佐藤：「交流き電回路における続流抑止型電力用保安器の開発」、電気学会論文誌D、Vol.126.No.11、2006年11月