

# 配電線下方に取付ける架空地線による避雷器雷被害の抑制

杉本 仁志<sup>\*1</sup> 杉本 博昭<sup>\*2</sup> 浅岡 由伸<sup>\*3</sup>

## 1. はじめに

配電線事故停電の原因のうち、雷害の割合は常に上位を占めており、供給信頼度の面で最も重要な対策の一つである。配電線の雷害は、配電線への直撃雷のみならず配電線近傍への雷撃による誘導雷過電圧が原因となる。これは、配電線の絶縁レベルが送電線などに比べて低いためであり、これにより当初は誘導雷による被害を防止することを主体として対策が行われてきた。当社も誘導雷対策として避雷器と架空地線の併用を行い、配電線の雷被害は減少してきた。しかし、1980年代後半には明確な減少傾向が見られなくなった。この頃、誘導雷に対する避雷器や架空地線の耐雷効果について解析による研究が進められ、避雷器の施設間隔が200 m程度であれば、誘導雷による被害はかなり少なくなることが示され<sup>1)</sup>、残存している被害の多くは直撃雷によるもので、雷害の更なる減少には直撃雷を対象に検討する必要があると提案された<sup>2)</sup>。雷害の多くは避雷器の無い電柱で発生していること、高圧線や変圧器などに雷害が多いことなどから個別の機器保護を目的とした避雷装置が開発、適用されてきている。当社でも1992年より、高圧線保護用耐雷ホーン、変圧器保護用 ZnO 支持がいしなどの取付けを行ってきており、高圧線や変圧器の雷害は減少してきている。一方で、避雷器や機器個別の避雷装置（以下、これらの装置をまとめて避雷器と呼ぶ）自体が雷で焼損（損傷）する被害が増加してきている。これらの被害は誘導雷ではなく直撃雷などの雷撃電流によるもので、特に冬期に多く、エネルギーの大きい冬季雷が影響しているものと考えられる。

雷撃電流を分流させ、避雷器に流れる電流を軽減できる点で、架空地線は避雷器の焼損防止に効果を発揮するが、高圧線の上に取付けるため、増設や更新工事には作業停電が必要で、建設や保守の費用が増加する。そのため、工事・保守時などにおける作業停電を回避でき、施設コストの低減

が可能な、配電線下方に取付ける架空地線を考案し、その方法による避雷器の雷被害抑制効果をEMTP (Electromagnetic Transients Program, 汎用過渡現象解析プログラム) により把握し、その有効性を明らかにした。

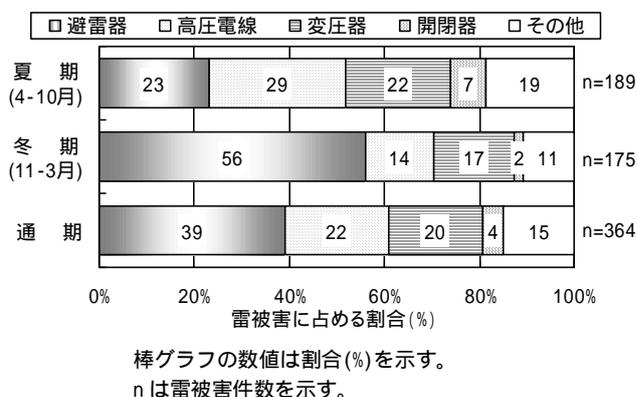
## 2. 配電線下方に取付ける架空地線について

配電線の雷害対策では、一般に避雷器と架空地線が併用されている。避雷器は、その放電動作により、一次端子と二次端子（接地端子）の間の電圧を避雷器の制限電圧に抑制するため、誘導雷過電圧にも直撃雷過電圧に対しても、ほぼ一定の電圧（避雷器の制限電圧）に抑制する効果がある。一方、架空地線には以下のような様々な耐雷効果がある。

- (1) 高圧線との電磁結合による雷過電圧の抑制
- (2) 高圧線への直撃雷の保護
- (3) 避雷器に流れる雷電流の抑制

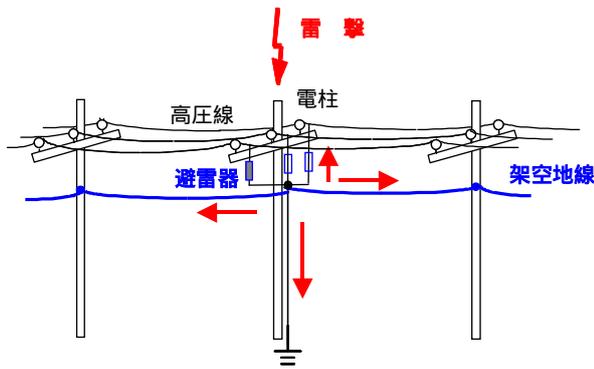
避雷器と架空地線を併用した場合の誘導雷過電圧抑制効果について、避雷器の施設間隔が短い場合（200 m程度）には避雷器単独の効果に近いことが明らかにされ、架空地線は誘導雷過電圧抑制にはほとんど貢献しない場合が多いことが指摘され<sup>3)</sup>、架空地線の必要性が問われた。

その一方、雷により避雷器が焼損する被害が発生しており、特に日本海沿岸の冬季雷による被害が多い。第1図に、北陸地域における雷被害を受けた配電機材の季節別の構成比率を示す。

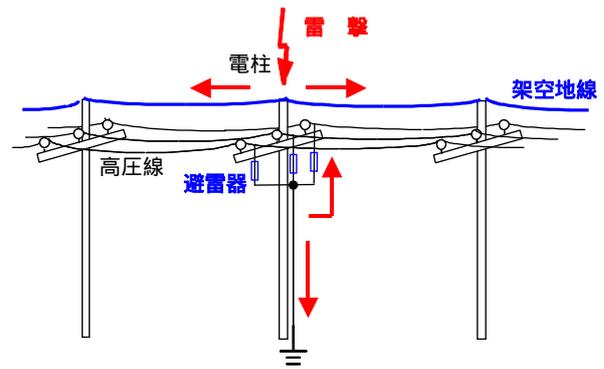


第1図 北陸地域での配電機材別の雷害比率にみる季節特性（2000～2004年度）

\*1 技術開発・環境保全センター 電力品質チーム  
\*2 福井支店 営業部 配電計画課  
\*3 配電部 技術管理チーム



(1) 配電線下方に取付ける架空地線（下方架空地線）



(2) 現在の架空地線の取付方法

第2図 配電線下方に取付ける架空地線（下方架空地線）の適用方法

4月から10月の期間を夏期,11月から3月の期間を冬期として区別した。冬期の避雷器被害の比率は全体の50%を超え,夏期に比べて約2.4倍と高く,このデータから冬季雷による避雷器被害が多いことが確認できる。このことから,避雷器に流れる雷電流を抑制し,雷被害を防止する点で架空地線の効果が期待される。しかし,高圧線上方に取付ける架空地線は増設,更新時は作業停電が必要で,建設や保守の費用が増加してしまう。

日本の配電線では,作業員,一般公衆などが誤って電線に接触することによる感電死傷を防止するために高低圧線に絶縁電線を使用している。絶縁電線は架空地線のような裸電線よりも雷撃しにくい特性があることが実験的に明らかにされている<sup>4)5)6)</sup>。つまり,高圧絶縁電線は雷撃しにくいので,架空地線が高圧線上方に無くても電柱頂部が雷避け物となり,高圧絶縁電線への雷撃の防止もしくは軽減が期待できる。そして,架空地線を雷電流の分流路として高圧線下方に施設して取付・取替費用および関連労務量を低減させる方法が考えられる。第2図に配電線下方に取付ける架空地線(以下,下方架空地線)を示す。

下方架空地線の避雷器雷被害の抑制効果については,以下の章において,一回の配電線への直撃雷により避雷器が焼損に至る確率<sup>7)</sup>を,EMTP解析と冬季雷の雷撃電流の発生頻度から求め,高圧線上方に取付ける従来の架空地線の場合と比較した。また,下方架空地線の効果的な配置を明らかにするために,下方架空地線の配置と避雷器雷焼損率の関係を求めた。

### 3. 避雷器雷被害対策の効果評価方法

下方架空地線の検討は,増加傾向にある避雷器の雷被害の抑制を目的としている。目的からして,避雷器が全柱に施設された線路の検討が主体となる。ここでは,配電線への雷撃により避雷器が焼損に至る雷撃電流を把握するための解析条件および避雷器雷被害対策の効果評価方法について述べる。

#### (1) 解析条件

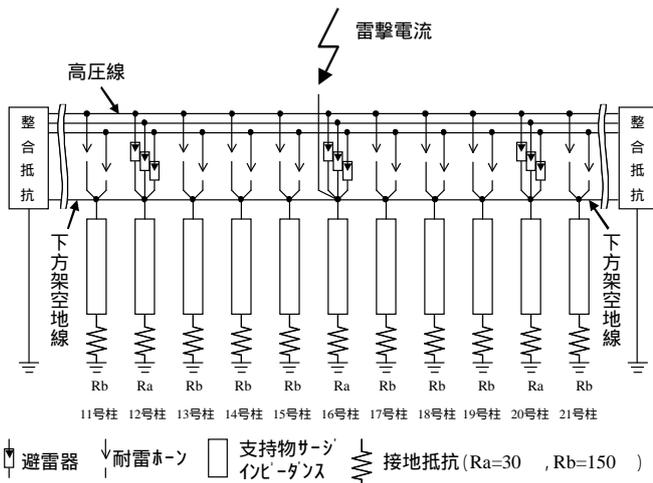
第3図に解析に用いた線路構成例を,第1表に主な解析条件を示す。

##### a. 配電線路

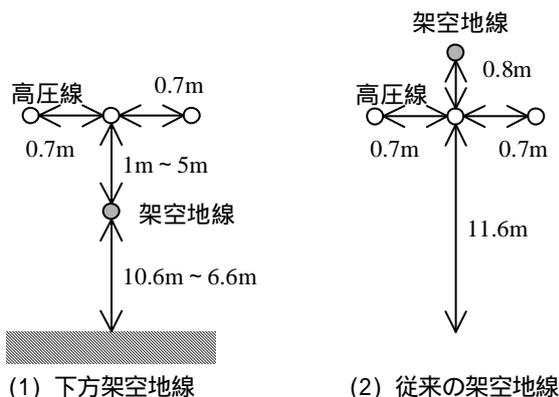
解析線路は,支持物(鉄筋コンクリート柱),水平配列の高圧線3相を基本構成とし,架空地線の有無および架空地線の取付位置に応じて架空地線を付加した。高圧線と架空地線の配置を第4図に示す。高圧線はOC5mmとし,電線の地上高は11.6mとした。線路は電柱33本32径間,径間長は40mの一定とし,JMARTI-LINEモデルを用いて高圧線と架空地線間の相互誘導と周波数特性を考慮できるようにした。線路の両端は,多導体系線路のサージインピーダンスに相当する整合抵抗で終端した。

##### b. 架空地線

架空地線の取付位置については,従来の架空地線では高圧線の上0.8mの地上高12.4mとした。また,下方架空地線では高圧線の下方1~5mの地上高6.6m~10.6mに変化させて検討した。(第4図)



第3図 解析モデル例(下方架空地線の場合)



第4図 架空地線の配置

c. 避雷器および高圧線保護用耐雷ホーン

避雷器は高圧3相に取付けた。そして、模擬線路中央の16号柱に取付けることとし、施設間隔は4径間とした。避雷器の無い柱には、高圧線保護用耐雷ホーン(以下、耐雷ホーン)を、中相を省略して両外2相に取付けた。非接地方式の日本の配電線では、雷による絶縁破壊が一相のみであれば、その地絡電流は数Aと小さく、短時間で自然消弧すると考えられる。この場合、高圧線は断線に至らない。つまり、高圧線の雷断線は、支持がいし近傍での絶縁破壊が二相以上で発生し、短絡に至り、AC続流によって発生する。したがって、三相のうちの二相のAC続流を遮断できれば短絡に至らず、雷断線が防止できるため、耐雷ホーンの一相省略取付方法が考案されており<sup>8)</sup>、本線路もこの方法を適用したものとした。

避雷器および耐雷ホーンは避雷素子の特性は、ギャップ付き非線形抵抗( $V_{2.5kA}=20\text{ kV}$ )として、折れ線で近似した。避雷器および耐

第1表 主な EMTD 解析条件

項目	条件
高圧線	OC5 mm×3相, 地上高 11.6 m, 線間 0.7 m, 1 径間 40 m
架空地線	無しもしくは有り (Fe22 mm <sup>2</sup> ×1条) ・線路上方の場合: 地上高 12.4 m ・線路下方の場合: 地上高 6.6~10.6 m
避雷器	ギャップ付, 放電開始電圧 27kV, $V_{2.5kA}$ = 20 kV, エネルギー耐量 15 kJ, 接地 30, 施設間隔 4 径間
耐雷ホーン	ギャップ付 放電開始電圧 90 kV, $V_{2.5kA}$ = 20 kV, エネルギー耐量 15 kJ, 接地は支持物, 避雷器柱以外の両外相取付
接地	避雷器と架空地線を併用する場合は架空地線の接地を避雷器と共用
支持物 (接地線含む)	サージインピーダンス 200, 伝搬速度 300 m/μ秒, 接地抵抗値(埋設部分)150
雷電流波形	波頭長 1 μ秒の三角波
雷道インピーダンス	400
雷撃箇所	線路中央の電柱頂部, 高圧線(径間中央)もしくは架空地線(電柱頂部)

雷ホーンはギャップは 27 kV および 90 kV の電圧スイッチでそれぞれを模擬した。避雷器および耐雷ホーンは焼損に至る処理エネルギー耐量は 15 kJ とした<sup>7)</sup>。

d. 支持物

支持物は実験結果<sup>8)</sup>を基に、サージインピーダンス 200, 伝搬速度 300 m/μ秒の分布定数回路とした。避雷器の接地線がある場合も同じ値とした<sup>9)</sup>。高圧アームおよび高圧アームから架空地線までの支持物部分は考慮していない。

e. 接地

避雷器の接地は 30 とした。耐雷ホーンの接地は、支持物に接続し、支持物の埋設部分を 150 の接地抵抗とした<sup>8)</sup>。従来の架空地線および下方架空地線の接地は、避雷器柱では避雷器接地に接続し、その他の柱では、耐雷ホーンと同じく支持物に接続した。

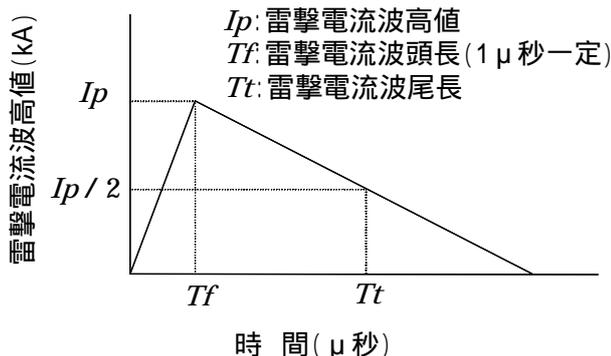
f. 雷撃電流波形

避雷器雷焼損の検討のため、雷撃電流は大きなエネルギーを持つ冬季雷<sup>10)</sup>を想定した。

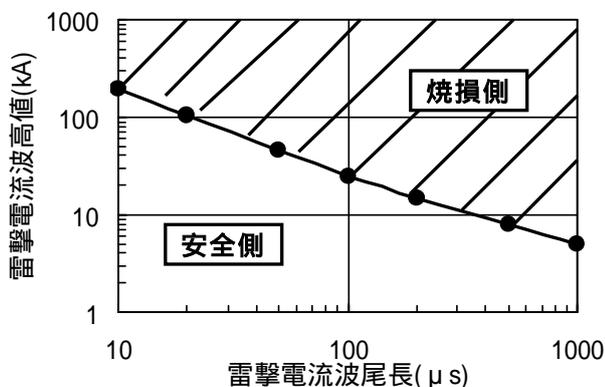
電流波形は第 5 図に示すとおり、波頭長 1 μ 秒の三角波とし、波尾長および波高値をパラメータとして変化させた。冬季雷の波頭長は夏季雷のそれと比べて長くなる特徴があるが、三角波での解析では同一の波尾長であれば波頭長が短い方が継続時間が長く、雷のエネルギーが大きくなり、避雷器の処理エネルギーを検討する上では厳しい条件となるため、波頭長を 1 μ 秒とした。

g. 雷撃箇所

模擬線路中央の避雷器が取付けられる 16 号柱を雷撃柱とした。架空地線が高圧線上方に無い線路の検討では、雷撃箇所は 16 号柱の電柱頂部もしくは 16 号柱と 17 号柱の径間中央の高圧線（外相）とした。架空地線が高圧線上方にある場合は、16 号柱の架空地線を雷撃箇所とした。



第 5 図 解析に用いた雷撃電流波形



第 6 図 避雷器が焼損に至る雷撃電流波尾長と電流波高値の関係

(架空地線なし、線路中間の電柱頂部雷撃の場合)

(2) 避雷器雷焼損率<sup>7)</sup>の計算方法

本検討では、想定した箇所への 1 回の雷撃において避雷器もしくは耐雷ホーンが焼損する確率、「避雷器雷焼損率」を求めて評価した。避雷器の雷焼損には雷撃電流の波尾長および波高値が大きく影響するため、それら 2 つをパラメータとして変化させ(第 5 図)、その累積頻度分布は電荷量が大きくなる第 2 表の冬季雷の値とした。雷撃電流の波尾長  $Tt$  (μ秒) に対して避雷器が焼損に至る波高値  $Ip$  (kA) を EMTP により計算し、波尾長を変化させて計算を行い、第 6 図に示す例のような波尾長と波高値の関係を求め、第 2 表の累積頻度分布<sup>10)</sup>と(1)式を用いて避雷器雷焼損率  $Pf$  を算出した。ここでは、雷撃電流波高値の対数値の確率密度関数および雷撃電流波尾長の対数値の確率密度関数が正規分布に従い、それぞれ独立であるとして算出している。

$$Pf = \int_1^{+\infty} \left\{ \int_{y(Tt)}^{+\infty} w(Ip) dIp \right\} h(Tt) dTt \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $w(Ip)$ : 冬季雷電流波高値  $Ip$  の確率密度関数

$h(Tt)$ : 冬季雷電流波尾長  $Tt$  の確率密度関数

$y(Tt)$ : 冬季雷電流波尾長  $Tt$  に対する避雷装置が焼損に至る最小電流波高値の関数

第 2 表 雷撃電流波形パラメータの累積頻度分布

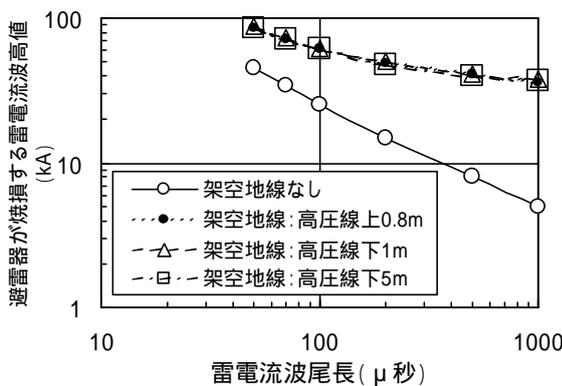
波形パラメータ	タイプ	研究者	累積頻度分布		
			95%	50%	5%
波高値 (kA)	冬季雷	三宅ら <sup>10)</sup>	7.0	24	83
		電中研 <sup>11)</sup>	7.6	26	89
	夏季雷	Berger <sup>12)</sup>	14	30	80
波頭長 (μ秒)	冬季雷	三宅ら <sup>10)</sup>	0.8	37	1821
		池田ら <sup>13)</sup>	1.8	3.5	8
	夏季雷	Berger <sup>12)</sup>	1.8	5.5	18
波尾長 (μ秒)	冬季雷	三宅ら <sup>10)</sup>	3.6	89	2210
		池田ら <sup>13)</sup>	23	40	85
	夏季雷	Berger <sup>12)</sup>	30	75	200

#### 4. 避雷器雷被害に対する配電線下方に取付ける架空地線の効果

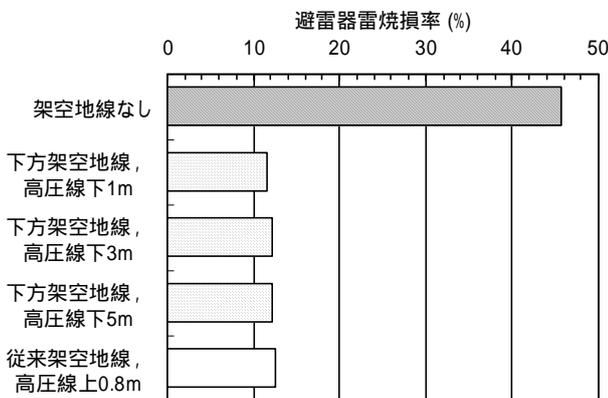
##### (1) 電柱頂部雷撃に対する下方架空地線の効果

下方架空地線の避雷器雷被害の抑制効果を把握するために、前述の条件におけるEMTP解析と(1)式を用いて避雷器雷焼損率を求めた。下方架空地線については、高圧線下1m、3m、5mの3つの配置で検討した。そして、高圧線上方に取付ける従来の架空地線の場合および架空地線が無い場合の避雷器雷焼損率も求めて比較した。

避雷器取付柱の電柱頂部への雷撃において、避雷器が焼損に至る雷撃電流波高値と波尾長との関係を架空地線取付位置別に求めた結果を第7図に示す。下方架空地線を取付けると、架空地線が無い場合に比べて、波尾長の値によらず、避雷器が焼損に至る雷撃電流波高値が大きくなる結果となった。つまり、避雷器が焼損しにくくなっている。下方架空地線の取付けによって、雷撃電流が下方架空地線に流れ込み、避雷器に流れる量が減少し



第7図 避雷器が焼損に至る雷撃電流波尾長と電流波高値の関係  
(線路中間の避雷器取付柱の電柱頂部への雷撃)



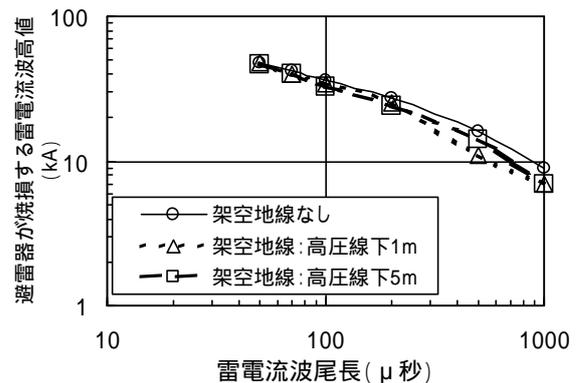
第8図 下方架空地線の配置と避雷器雷焼損率の関係  
(線路中間の避雷器取付柱の電柱頂部への雷撃)

たためと考える。

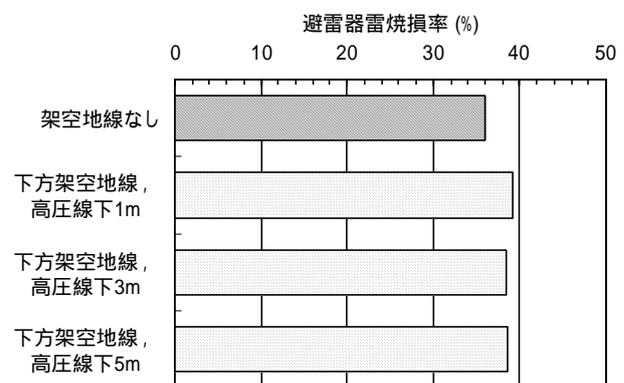
第7図と(1)式により求めた避雷器雷焼損率を第8図に示す。下方架空地線の取付けにより、架空地線が無い場合の避雷器雷焼損率が約1/4に抑制されることが分かる。下方架空地線の位置を高圧線下方の1mから5mの間で変化させると、間隔の広がりに応じてわずかに避雷器雷焼損率が大きくなるが、その差はほとんどなかった。このように、下方架空地線は避雷器雷被害の抑制に有効であり、下方架空地線の位置に関係なく、避雷器雷被害を抑制する効果があることが分かった。

##### (2) 高圧線外相雷撃に対する下方架空地線の効果

径間中央の高圧線外相への雷撃において、避雷器が焼損に至る雷撃電流波高値と波尾長の関係を求めた結果を第9図に示す。下方架空地線を取付けると、架空地線が無い場合に比べて、避雷器が焼損に至る雷撃電流波高値が、波尾長が長くなるにつれて小さくなる結果となった。つまり、下方



第9図 避雷器が焼損に至る雷撃電流波尾長と電流波高値の関係  
(線路中間の避雷器取付柱隣の高圧線径間中央への雷撃)



第10図 下方架空地線の配置と避雷器雷焼損率の関係  
(線路中間の避雷器取付柱隣の高圧線径間中央への雷撃)

架空地線の取付けにより避雷器雷被害が増加する可能性がある。下方架空地線の取付けにより各柱の避雷器接地が接続されて、架空地線が無い時の単独の避雷器接地よりも低い回路となる。この低減された避雷器接地により、高圧線に侵入した雷撃電流が、雷撃箇所に近い避雷器に多く流れ込んだため、避雷器が焼損に至る雷撃電流波高値が小さくなったと考える。

第9図と(1)式により求めた避雷器雷焼損率を第10図に示す。下方架空地線の取付けにより、避雷装置雷焼損率は架空地線が無い場合に比べて上昇する結果となった。しかし、その増分は高圧線下方1mの場合が最大で約8%のみにとどまった。

### (3) 下方架空地線と従来の架空地線の比較

電柱頂部への雷撃の場合では、第8図のとおり、下方架空地線を取付けた時の避雷器雷焼損率は、高圧線上方に取付ける従来の架空地線のそれよりもわずかに低くなった。これは下方架空地線が従来の架空地線と同等以上に避雷器雷被害の抑制に効果的であることを示している。下方架空地線の取付けでは、雷遮へいのための架空地線が無くなるため、高圧線への雷撃がわずかながら発生する可能性がある。その場合、第10図のとおり、避雷器雷被害の抑制に下方架空地線の効果は期待できない。しかしながら、高圧線に使用している絶縁電線は雷撃しにくいいため、高圧線への雷撃はわずかで、多くの場合は電柱頂部が遮へい物となって雷撃を受け止めてくれると想定される。電柱頂部への雷撃による避雷器焼損対策としては、上述のとおり下方架空地線が従来の架空地線と同等以上に有効である。

## 5. まとめ

増加傾向にある避雷器の雷焼損被害の抑制を目的として、架空地線を高圧線下方に取付ける方法を考案した。高圧線下方に取付ける架空地線の耐雷効果を明らかにするために、避雷器雷焼損率を求め、高圧線上方に取付ける従来の架空地線との比較を行った。電柱頂部への雷撃の場合では、高圧線下方に取付ける架空地線が従来の架空地線と同等以上に避雷器雷被害の抑制に効果的であることを明らかにした。そして、高圧線下方に取付ける架空地線の位置に関係なく、避雷器雷被害を抑制する効果があることが分かった。高圧線への雷

撃の場合、高圧線下方に取付ける架空地線は避雷器雷被害の抑制に効果的ではない結果となった。しかし、高圧線に使用している絶縁電線は雷撃しにくいいため、高圧線への雷撃はわずかで、多くの場合は電柱頂部が遮へい物となって雷撃を受け止めてくれると想定される。以上の結果から、架空地線を高圧線の下方に取付ける方法により、従来の架空地線の避雷器雷被害抑制効果を維持しつつ、コスト低減が実現できる可能性があると考えられる。

## 参考文献

- 1) 横山：「配電線誘導雷現象の解析とその実証」, 電力中央研究所総合報告, No.123, pp.183-200, (1986)
- 2) 横山：「架空配電線の直撃雷対策」, 電気学会論文誌 B, Vol.114-B, No.6, pp.564-568, (1994)
- 3) 諸岡, 横山, 浅川：「架空地線と避雷器併用時の配電線誘導雷電圧抑制効果の検討」, 電気学会論文誌 B, Vol.112-B, No.8, pp.711-719, (1992)
- 4) 御所, 佐伯, 末武, 中森：「絶縁バリアの雷しゃへい効果」, 電気学会放電・高電圧合同研究会資料, ED-88-109, HV-88-70, pp.23-31 (1988)
- 5) 橋本, 横山, 横田, 浅川：「架空配電線への雷撃距離特性に関する検討 - 裸電線と絶縁電線の放電特性 - 」, 電気学会論文誌 B, Vol. 115-B, No. 12, pp.1508-1514 (1995)
- 6) 後藤, 佐藤：「架空配電線への直撃雷特性と架空地線の雷遮蔽に関する検討」, 電気学会放電・高電圧合同研究会資料, ED-98-139, HV-98-83, pp.49-52 (1998)
- 7) 中田, 横山, 横田, 浅川, 橋本：「配電線直撃雷に対する避雷器焼損率の検討」, 電気学会論文誌 B, Vol.117-B, No.2, pp.265-271 (1997)
- 8) 谷口, 浅川, 横山, 中田, 大西, 本林：「配電線1相の避雷器省略時の耐雷効果の検討」, 電気学会論文誌 B, Vol. 114-B, No. 11, pp. 1150-1159 (1994)
- 9) 関岡, 山本, 横山：「コンクリート柱のインパルス大電流特性に関する実験的検討」, 電気学会高電圧研究会資料, HV-94-176 (1994)
- 10) K. Miyake, T. Suzuki & K. Shinjou, "Characteristics of Winter Lightning Current on Japan Sea Coast", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.7, No.3, pp.1450-1456 (1992)
- 11) 耐雷設計基準委員会送電線分科会：「送電線耐雷設計ガイドブック」, 電力中央研究所研究報告 No.175031 (1976)
- 12) K. Berger, R. B. Anderson, and H. Kroninger, "Parameters of Lightning Flashes," ELECTRA, No. 41, pp. 23-37 (1975)
- 13) 池田, 角：「日本の雷パラメータ」, Research Letter on Atmospheric Electricity, Vol.1, pp.41-44 (1987)