

送電用避雷装置を用いた瞬時電圧低下の影響軽減対策について

川村 裕直^{*1} 新庄 一雄^{*1} 新屋 輝^{*2}

1. はじめに

高度情報化社会の発展に伴って、瞬時電圧低下(以下、瞬低)の影響が半導体、繊維、化学、製紙工場などで問題となっている。瞬低は操業停止ならびに品質低下を引き起こす可能性があるため、影響を受ける機器は無停電電源装置などによる対策が行われている。一方、送電線のルート遮断事故防止の有効な対策として、送電用避雷装置の導入が進められているが、避雷装置の優れた地絡防止効果による瞬低影響の軽減も期待されている。したがって、避雷装置による瞬低影響の軽減度と非常に高価な装置導入コストの費用対効果を認識しておく意味は大きい。

送電用避雷装置による瞬低影響の軽減度を把握するためには、単一鉄塔における避雷装置の配置による瞬低影響の軽減度を明確化し、単一鉄塔における対策をどのように面的に広がる電力系統へ展開するかを検討する必要がある。

本報告では、77kV および 275kV 送電線における単一鉄塔における送電用避雷装置の配置方法を過渡現象解析プログラム(EMTP)を用いて検討した結果を紹介する。

2. 瞬低の影響と事故様相

送電線事故発生時における電圧低下の度合は、送電線事故様相と系統の中性点接地方式によって異なる。主に、154kV 以下の系統に採用されてい

る高抵抗接地方式において、1 相地絡による電圧低下は小幅で瞬低の影響は小さく、2 相以上の短絡を伴う事故様相で瞬低の影響が大きくなる。一方、275kV 以上の超高圧系統に採用されている直接接地方式においては、1 相地絡であっても電圧低下が大きく、瞬低の影響が下位系統を含む広範囲に拡大する¹⁾。

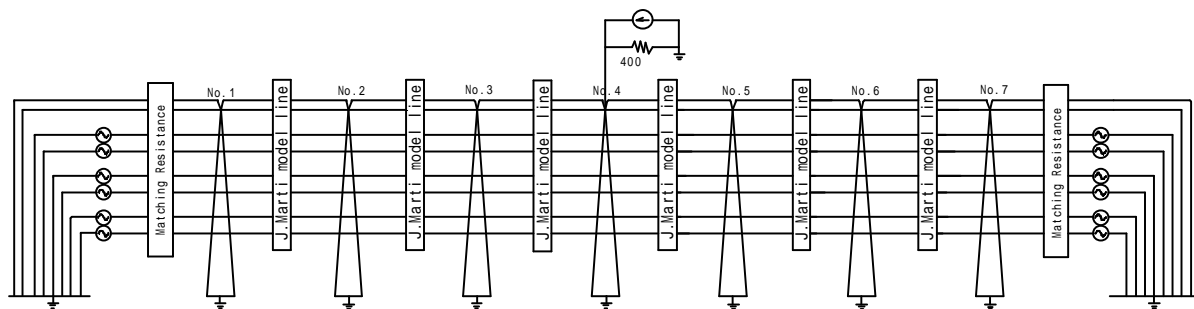
3. 解析条件

(1) 基本条件

雷サージ解析における等価回路として、275kV 送電線の回路モデルを第 1 図に示す。架空地線の条数について、77kV 送電線は 1 条、275kV 送電線

第 1 表 EMTP 解析条件

項 目	解 析 条 件	
	77kV	275kV
雷 撃 電 流 波 形	2×70 μs ランプ波	
雷道インピーダンス	400	
雷 撃 箇 所	鉄塔塔頂	鉄塔塔頂、電力線支持点
鉄 塔 モ デ ル	4段鉄塔モデル	
鉄塔サージインピーダンス (Z ₁₁ /Z ₁₂)	139 /139	135 /135
サージ伝搬速度()	300m/ μs	
減 衰 定 数()	0.8	
鉄塔接地抵抗(R _f)	10	
送 電 線 モ デ ル	J.Martiモデル	
送 電 線 径 間 長	300m	400m
電 力 線	ACSR 330mm ² , 単導体	ACSR 330mm ² , 2導体
架 空 地 線	AC 70mm ² , 1条	AC 120mm ² , 2条
フラッシュオーバーモデル	V t 交差法	

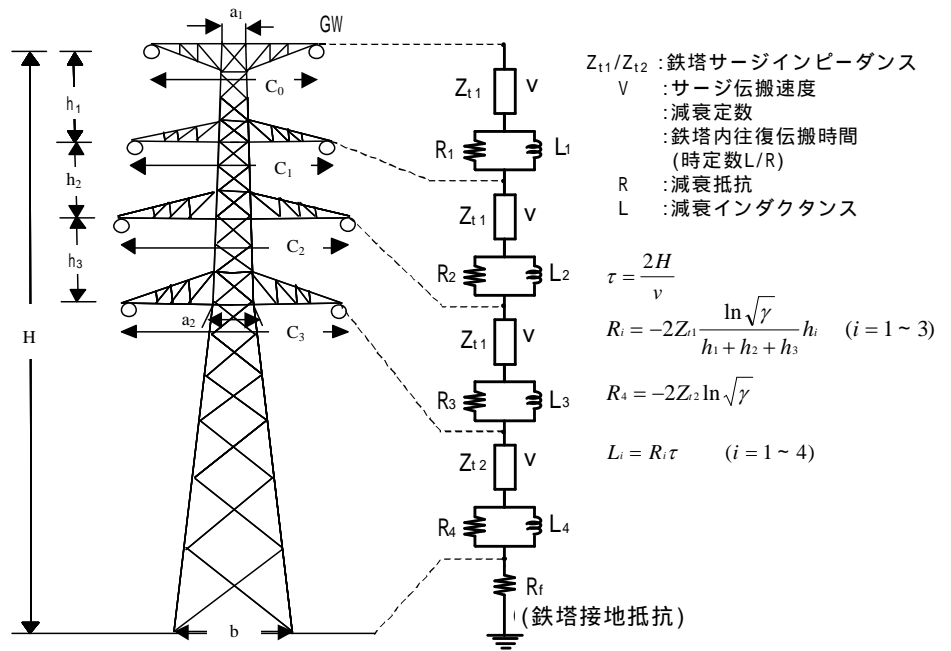


第 1 図 EMTP 解析回路(275kV : 架空地線 2 条)

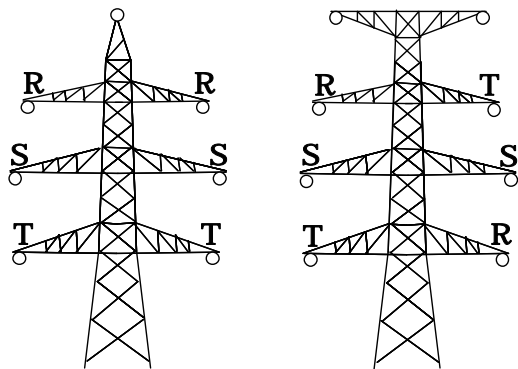
*1 技術開発・環境保全センター 電力品質チーム

*2 電力流通部 送電チーム

単位:m		
項目	77kV	275kV
h_1	4.5	8.5
h_2	3.8	9.0
h_3	3.8	7.4
H	37.1	64.9
a_1	1.0	2.0
a_2	1.4	3.7
b	5.4	9.0
C_0	0.0	14.6
C_1	5.8	12.6
C_2	8.2	18.8
C_3	6.4	14.2



第2図 送電鉄塔の導体配置および4段鉄塔モデル



(a) 同相順[77kV] (b) 逆相順[275kV]

第3図 送電鉄塔の相配列

は2条とした。

解析条件を第1表に示す。印加する雷撃電流波形は、送電線耐雷設計で一般的に使用されている $2 \times 70 \mu s$ ランプ波を用いている²⁾。雷撃箇所として、架空地線ならびに電力線の径間と比べて、過酷な条件となる鉄塔塔頂ならびに電力線支持点(電力線把持部)を考慮するが、77kV送電線においては、電力線への直撃雷で送電用避雷装置が破損しても、2相以上の事故に至ることはなく、電圧低下の影響が小さいため、鉄塔塔頂のみ検討した。導体数については、77kV送電線は単導体とし、275kV送電線は2導体としており、2導体における導体間隔は0.5mとした。また、アークホーンにおけるフラッシュオーバの判定は、 V_t 交差法を用

いており、避雷装置における直列ギャップの動作も同様なモデルで模擬している。

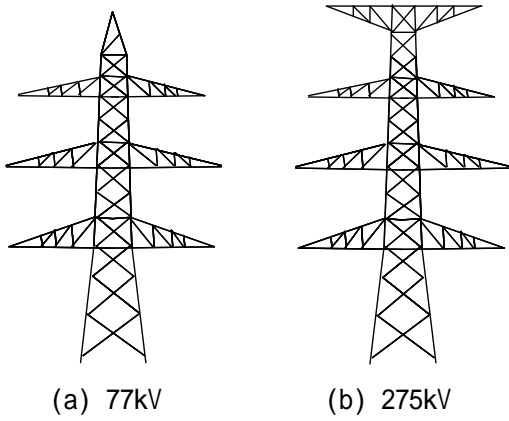
送電鉄塔における導体配置および鉄塔モデルを第2図に示す。シミュレーションにおける鉄塔モデルとして、4段鉄塔モデルを用いている。また、鉄塔サージインピーダンスは、円錐およびJordanの式に基づいて算出している³⁾⁴⁾。

相配列は第3図に示すように、77kV送電線は同相順、275kV送電線は逆相順としている。

シミュレーションにおける交流電圧の位相は、瞬低に至る送電線事故が最も発生しやすい位相としている。また、避雷装置の破損を考慮する場合のエネルギー耐量は、77kV用で約150kJ、275kV用で約750kJとし、処理エネルギーがエネルギー耐量に達したところで避雷装置が破損することにした。

(2) 送電用避雷装置の取付条件

送電用避雷装置取付位置の優先順位を第4図に示す。77kV送電線は、ルート遮断事故をほぼ完全に防止できる片側3相取付を基本とし、4~6相取付ならびに非設置状態の5通りについて検討する。275kV送電線も同様に、ルート遮断事故をほぼ完全に防止できる片側2相取付を基本とし、3~6相取付ならびに非設置状態の6通りについて検討する。



第4図 避雷装置取付位置の優先順位

4. 瞬低に至る最小雷撃電流値とその発生確率

(1) 77kV 送電線

77kV 送電線の各避雷装置取付状態における瞬低に至る最小雷撃電流値ならびに瞬低発生確率を第2表(a)に示した。

非設置，3相取付および4相取付の雷撃電流値は，避雷装置非設置相における2相事故に至る最小雷撃電流値を示しており，5相取付および6相取付の雷撃電流値は，避雷装置の破損に伴う地絡短絡事故に至る最小雷撃電流値を示している。6相取付の瞬低に至る最小雷撃電流値は，5相取付と比べて小さい。大電流雷撃の場合，6相取付においては，6相全ての避雷装置が動作して，雷撃電流を分担する。一方，5相取付においては，避雷装置が全て動作し，さらにアークホーン箇所で逆フラッシュオーバが発生する。逆フラッシュオーバ箇所には，避雷装置を介するよりも，多くの雷撃電流が流れるため，相対的に各避雷装置の負担する雷撃電流が小さくなる。したがって，6相取付は5相取付と比べて，各避雷装置における雷撃電流の負担が大きく，破損しやすくなるため，避雷装置の破損に伴った瞬低に至りやすくなる⁵⁾。

第2表における瞬低発生確率は，瞬低に至る最小雷撃電流値以上の雷撃の発生確率を示しており，文献6)に示される雷撃電流累積頻度分布を用いて算出している。現段階において，文献6)に示される雷撃電流累積頻度分布の冬季雷Aタイプは，北陸地方の冬季雷性状を最も適切に表現していると考えられ，一般的に用いられている夏季雷の分布と比べて，大電流雷撃の発生確率が高い特性があ

第2表 瞬低に至る最小雷撃電流値と発生確率

(a) 77kV 送電線

避雷装置取付数(相)	瞬低に至る最小雷撃電流値(kA)	瞬低発生確率(%)
0	88	14.0 (100)
3	105	11.0 (79)
4	140	6.5 (46)
5	334	0.7 (5)
6	255	1.4 (10)

()内は，非設置を100とした相対値

(b) 275kV 送電線

避雷装置取付数(相)	瞬低に至る最小雷撃電流値(kA)	瞬低発生確率(%)
0	163	5.0 (100)
2	230	1.8 (36)
3	303	0.9 (18)
4	429	0.3 (6)
5	496	0.2 (4)
6	699	0 (0)

()内は，非設置を100とした相対値

る。雷撃電流累積頻度分布の観測データには，180kAを超える大電流雷撃がないが，180kAを超える領域においても，対数正規分布を満たしていると仮定して，利用している。雷撃電流の最大値は，1994年から2004年における落雷位置標定システムによる観測で得られた落雷電流の最大値である510kAとした。

第2表の瞬低発生確率における()内の値は，非設置状態に対する各取付状態における相対的な値を示している。

(2) 275kV 送電線

275kV 送電線の各避雷装置取付状態における瞬低に至る最小雷撃電流値ならびに瞬低発生確率を第2表(b)に示した。77kV 送電線の場合と同様に，()内の値は，非設置状態の瞬低発生確率に対する各取付状態の相対的な値を示している。

6相取付の雷撃電流値は，避雷装置の破損に伴う1相地絡に至る最小雷撃電流値を示しており，その他の取付状態における雷撃電流値は，逆フラッシュオーバに伴う1相地絡に至る最小雷撃電流値を示している。

77kV 送電線の場合と同様に、雷撃電流累積頻度分布として冬季雷 A タイプを用いて、瞬低発生確率を算出している。6 相取付における瞬低に至る最小雷撃電流値は、落雷位置標定システムで観測された最大落雷電流値である 510kA を超えているため、瞬低発生確率を 0% とした。

次に、直撃雷による避雷装置の破損に伴う瞬低について検討した。275kV 送電線における直撃雷の頻度を電気幾何学モデル⁷⁾に基づいて算出すると、年間当たり 1 件/100km 程度であり、想定される最大雷撃電流値は約 50kA であった。しかし、EMTP による検討において、電力線支持点への直撃雷により避雷装置が破損に至る最小雷撃電流値は 58kA であり、電気幾何学モデルによって想定される範囲を越えている。そのうえ、長期に渡る冬季の雷放電路カメラ観測において、これまでに観測された直撃雷は 1 件のみである⁸⁾。

以上より、電気幾何学モデルおよび冬季雷放電路観測結果に基づく、シミュレーションで用いた標準的な雷撃電流波形の直撃雷によって、避雷装置が破損し、瞬低に至ることはないと考えられる。

5. 瞬低影響軽減対策の費用対効果

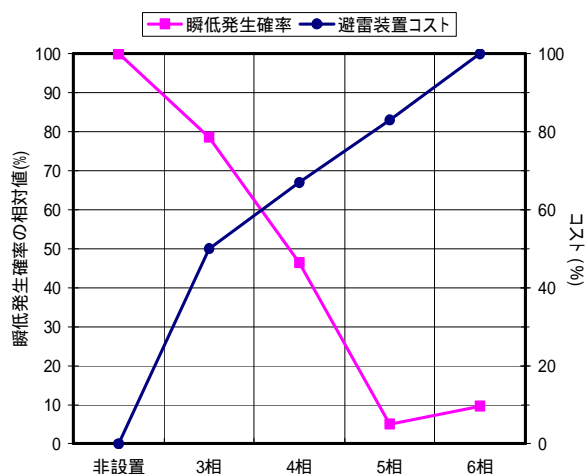
(1) 77kV 送電線

77kV 送電線における瞬低影響軽減対策の費用対効果を第 5 図(a)に示す。瞬低発生確率は、第 2 表(a)における非設置状態を 100 とした相対値を用いており、コストは 6 相取付を 100 とした相対値を表している。

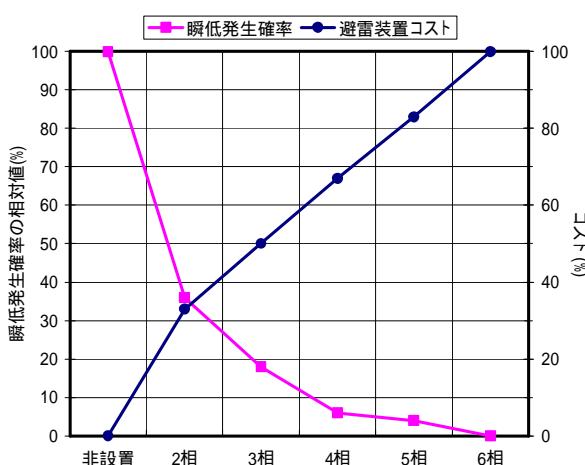
避雷装置の片回線 3 相取付は、ルート遮断事故をほぼ完全に防止できるが瞬低発生確率は 20% 程度しか低下せず、費用対効果が低い。4 相取付においては、地絡に至りやすい上相が両回線とも保護されることで瞬低発生確率が大きく低下する。また、5 相取付は避雷装置が破損しなければ、瞬低が発生しないため、瞬低発生確率の大幅な低下が期待できる。よって、4 相および 5 相取付の費用対効果が高い。6 相取付は 5 相取付と比べて避雷装置が破損しやすくなるため、瞬低発生確率が 2 倍程度に上昇して費用対効果が低下する。

(2) 275kV 送電線

275kV 送電線における瞬低影響軽減対策の費用



(a) 77kV 送電線



(b) 275kV 送電線

第 5 図 費用対効果

対効果を第 5 図(b)に示す。77kV 送電線の場合と同様に、瞬低発生確率は第 2 表(b)における非設置状態を 100 とした相対値を用いており、コストは 6 相取付を 100 とした相対値を表している。

77kV 送電線の費用対効果と異なり、ルート遮断事故をほぼ完全に防止できる片回線 2 相取付の費用対効果が最も高く、3 相取付以上においては、地絡を引き起こす大電流雷の発生頻度が低いいため、費用対効果が低下する。

6. まとめ

単一鉄塔における瞬低影響の軽減対策としての送電用避雷装置の配置方法を検討した。主な結果を以下に要約する。

(1) 77kV 送電線における避雷装置の片回線 3 相取付は、ルート遮断事故をほぼ完全に防止で

きるが、非設置状態と比べて、瞬低発生確率が20%程度しか低下しない。4および5相取付は、瞬低影響の軽減対策として効果的であり、3相取付と比べて、費用対効果が高い。6相取付は、避雷装置が破損しない範囲においては、地絡事故がほぼ完全に防止されるが、5相取付と比べて、避雷装置が破損しやすく、瞬低発生確率が2倍程度に上昇する。それゆえ、避雷装置の6相取付の費用対効果は、5線取付よりも低い。

- (2) 275 kV 送電線において、ルート遮断事故をほぼ完全に防止できる避雷装置の片回線2相取付は、非設置状態と比べて瞬低発生確率の約60%の低下を期待でき、費用対効果が高い。3相以上への取付は、費用対効果が低下する。

本報告において、単一鉄塔における送電用避雷装置の配置方法についての検討結果を記載したが、実際に瞬低影響を軽減させるためには、単一鉄塔における対策をどのように面的に広がる電力系統へ展開するかが重要になる。当所においては、本課題についても、費用対効果に基づいた評価を行っている。

参考文献

- 1) 瞬時電圧低下対策専門委員会：「瞬時電圧低下対策」，電気協同研究，第46巻，第3号(1990-7)
- 2) 耐雷設計委員会送電分科会：「送電線耐雷設計ガイド」，電中研報告，T72(2003-2)
- 3) A.Ametani, Y.Kasai, J.Sawada, A.Mochizuki and T.Yamada:“Frequency dependent impedance of vertical conductors and a multiconductor tower model”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., vol.141, No.4, pp.339-345 (1994-7)
- 4) T.Yamada, A.Mochizuki, J.Sawada, E.Zaima, T.Kawamura A.Ametani, M.Ishii and S.Kato:“Experimental evaluation of a UHV tower model for Lightning surge analysis”,IEEE Trans. Power Delivery, vol 10, No.1, pp.393-402 (1995-1)
- 5) H.Kawamura, K.Shinjo and T.Araya:” Evaluation of Lightning Outage Rate Condidering Line Surge Arrester Failure”, IEEJ Trans.PE, Vol.125, No.7 (2005-7)
- 6) 浅川，三宅，横山，横田，酒井：「冬季雷における放電進展様相と電流波形の特性」，電中研報告，T93024(1994-10)
- 7) H.R.Armstrong, E.R.Whitehead: “Field and analytical studies of transmission line shielding”, IEEE Trans., Vol. PAS-87, pp.270-281 (1968)
- 8) 島田，新庄，若井，酒井，上，杉本：「北陸地域の冬季雷放電路観測による送電線事故の推定」，電気学会 放電・開閉保護・高電圧合同研究会資料，ED-01-180，SP-01-25，HV-01-79，pp.7-11(2001)