UDC 621.316.93

621.3.015.33: 621.3.064

論文

50-B 56

開閉インパルスによる雷しゃへい実験と その考察

電力中央研究所

岸 嶋 勇

電力中央研究所

井 上 敦 之

1. ま え が き

送電線耐雷設計のうちの架空地線の雷しゃへいに関しては、各種の考え方、モデルを使った実験検討など数多く発表されている^{(1)~(8)}。最近の代表的な考え方としては、Armstrong-Whitehead 両氏の説⁽⁷⁾、モデル実験では Wagner 氏らの報告⁽¹⁾⁽²⁾がある。しかし、現状ではこれらの結果で十分満足されているとは判断できない。これは自然雷の不明確さ、実線路の実績はあくのむづかしさなどが原因である。特にモデル実験では自然雷との対比も含めて雷撃模擬のサージ電圧波形や極性の妥当性、モデルの縮尺に含まれない放電現象の非直線性の扱い方などが問題になり、絶対論を論じることではできない。しかしながら、雷しゃへいのような問題は、理論、実験結果と実績の3つを合致させることが一つの手法であると考えることができる。この考え方に立って、将来への1ステップとして可能な範囲の大形モデルで実験的に検討したものである。実験は雷しゃへい特性に影響すると予想される要因について検討し、その結果とこれらの結果から雷しゃへいについて若干の検討を考えて示した。なお、この実験では開閉インパルスを使ったが、これは電極先端の電荷生成速度を雷インパルスよりも遅くするためで、Wagner 氏らも電荷生成速度は雷インパルスよりも遅くするほうが自然雷に近づくとしてしている⁽¹⁾。

2. 実験の概要

〈2.1〉 実験の前提 実験の前提条件は、発表さ

Experimental Study of Lightning Shield Using Switching Impulse and Consideration of Results. By I. KISHIZIMA, Member & K. INOUE, Member (Central Research Institute of Electric Power Industry)

岸嶋 勇: 正員, 電力中央研究所
井上敦之: 正員, 電力中央研究所

れているモデル実験^{(1)~(5)}を参考に、実験設備も考慮して次のように決めた。

雷撃模擬の電極は先端を半径で丸くした 12mmφ の丸棒電極、その高さは最終ステップリーダ位置と仮定し、雷電圧は開閉インパルスで模擬する。極性は自然雷に多い負極性とする。モデルの大きさは 0.5×2m、電極の高さは2m までとする。大地面は金属板で模擬する。印加電圧は実験能率から、電極配置位置で 70~80% のフラッシュオーバー電圧とする。

〈2.1〉 電圧発生回路とモデル構成 電圧発生回路は、第1図に示す通りで、発生する波形は約 150~2,000μs である。波形はできるだけ長距離をフラッシュオーバーさせるため、実験対象範囲のギャップ長で低いフラッシュオーバー特性を示す 150×2,000μs とした。

基本モデルは、平地では第2図、傾斜地では第3図のように考えた。電極は全て垂直配置とした。架空地線、相導体は 1.6mmφ の銅線を使い、接地を原則とした。

第2図、第3図に示した記号は、組合せて使用する

第1図 開閉インパルス発生回路

Fig. 1. Generating circuit of switching impuls.

第2図 送電線モデルの構成(平地)

Fig. 2. Organization of transmission lines model. (Flat area)

第3図 送電線モデルの構成と配置(傾斜地)

Fig. 3. Organization and arrangement of transmission lines model (Slope area).

場合も含めて、それぞれ、次の意味を表わす。

H : 電極の高さ

A : 架空地線と電極位置の水平距離

hg : 架空地線の高さ

hc : 相導体の高さ

lg : 電極先端から架空地線までの距離

lc : 電極先端から相도체までの距離

X : 架空地線と相導體の水平距離

Y : 架空地線と相導體の高さの差

θ : シャーヘイ角

〈2・3〉 実験方法と結果の取扱い 実験は各配置で H を固定し、 A を 10~20 cm ステップで移動し各場所への放電率を求め、第4図のような分布曲線を求めた。放電場所の確認は目視と写真によった。1電極位置の電圧印加は放電が50回に達するまでとし、相導體が多いときはこの2倍とした。シャーヘイ率は第4図のような分布曲線から面積計算で求めた。また、

第4図 放電分布曲線の例

Fig. 4. Example of distribution curve by this method.

送電線への放電率 P に対応する A または A/hg を求めるような場合は、結果が正規確率上ではほぼ直線として扱うことができるのでこの直線から求めた。

〈2・4〉 実験項目 実験項目は、(1)大地と架空地線の組合せ、(2)大地、架空地線の他に相導體を追加した場合、の二つに大別することができる。前者を基本特性、後者をシャヘイ特性と呼称する。基本特性は架空地線単独のシャヘイ範囲を、 H および hg を替えてその変化を調べた。シャヘイ特性は主にシャヘイ率に影響が予想される相導體の高さと、配置数の影響、電極高さの影響、機圧の影響、傾斜地の影響および、相導體下部のシャヘイ線の効果などについて検討した。これらの実験の H , θ , hg および hc は、そのつど影響がはあくしやすい値を決めて実施した。

3. 実験結果

〈3・1〉 基本特性 第1表は架空地線のシャヘイ範囲を示す分布曲線から、架空地線への放電率 $P_g = 95, 50$ および 5% に対応する A/hg と、 σ を求めて示したものである。架空地線のシャヘイ範囲は、 hg を一定とし、 H を高くすれば広がる。 H を固定して hg を低くしても同様である。しかし、いずれも

第1表 基本特性の数値表示

Table 1. Number indicate of basic characteristic.

電極の高さ H (m)	モデルの高さ hg (m)	H/hg	$P_g(\%)$ を与える A/hg			σ (カッコ内は $(\sigma/50(\%))$)
			95 (%)	50 (%)	5 (%)	
1.0	0.5	2	2.00	2.40	2.75	0.23(10.3)
"	1.0	1	1.10	1.31	1.53	0.14(9.4)
1.5	0.5	3	2.37	2.97	3.60	0.38(12.8)
"	1.0	1.5	1.55	1.88	2.15	0.23(12.2)
"	1.5	1	1.18	1.30	1.45	0.12(9.2)
2.0	0.5	4	2.55	3.50	4.43	0.45(13.0)
"	1.0	2	1.75	2.23	2.70	0.27(12.1)
"	1.5	1.33	1.32	1.60	1.88	0.17(10.6)
"	2.0	1	1.04	1.26	1.48	0.14(11.1)

第 5 図 規格化した基本特性の例

Fig. 5. Example of standardized basic characteristic.

しゃへい範囲の広がり方は飽和傾向を示す。この様子は第 5 図に示されている。なお、架空地線 2 条の場合も対象架空地線位置からの A で考えれば 1 条の場合と同じしゃへい範囲を示すことを確認した。すなわち架空地線の径に比較して、架空地線間の距離が大きい ($hg=0.5\text{m}$ に対して、架空地線間隔は 15cm)、ために、対象架空地線周囲の電界がほとんど影響されないためと考える。

〈3・2〉 しゃへい率に影響する要因の検討 各種の要因について、しゃへい特性を求めて検討した。

(1) 相導体の位置と配置数の影響 ($\theta = \text{一定}$)

相導体の位置は、ある θ に対して任意の高さが考えられ、この高さ hc/hg が変化したときのしゃへい率の変化と hc/hg の異なる位置に、順次相導体を配置した場合のしゃへい率について調べた。

第 6 図は、 hc/hg を変化させたときの結果で、しゃへい率は hc/hg が小さいほど良くなることわかる。 $hc/hg=0.9 \sim 0.5$ は、実送電線の相導体の高さを参考に決めたもので、この範囲のしゃへい率の変化は、 $\theta=45^\circ$ と 37.5° では約 10%、 $\theta=30^\circ$ では約 8% で略直線的に変化している。しかし、 θ が小さくなれば、その変化は少なくなる。これは、 θ が小さく、しゃへい条件が良いために変化は少ないと考えられる。ここでは、 hc/hg が小さいほど、しゃへい率が良くなることが重要な結果である。

相導体を順次追加配置した場合の結果は第 2 表に示した。総合しゃへい率は全相導体を対象にしたもので 2 相への放電は 1 回のしゃへい失敗、各相のしゃへい率では、2 相にわたる放電は各相それぞれに 1 回のしゃへい失敗として扱った。

第 6 図 相導体位置によるしゃへい率の変化

Fig. 6. Variation of shielding ratio by location of conductors.

第 2 表 相導体配置としゃへい率の関係

Table 2. Relation of conductors arrangement and shielding ratio.

電極の高さ $H(\text{m})$	$H=1.5(\text{m})$				$H=1.0(\text{m})$					
	$\theta=45^\circ$		$\theta=45^\circ$		$\theta=45^\circ$		$\theta=30^\circ$		$\theta=30^\circ$	
しゃへい角 $\theta(^{\circ})$	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
総合	75.8	81.7	82.5	52.8	47.0	48.9	88.0	90.4	91.6	
上相	75.5	86.3	84.3	52.8	87.4	86.2	88.0	94.6	93.3	
中相	—	94.0	92.8	—	59.8	78.8	—	95.8	96.5	
下相	—	—	97.0	—	—	77.9	—	—	100	

総合しゃへい率は各ケースとも相導体の配置数で変動はあるが、この変動は実験誤差と考えている。すなわち、同一条件の繰返し実験でも、しゃへい率の算出方法も含めた実験誤差を考えれば 5% 程度の変動は予想されるし、実際に経験している。したがって、第 2 表の総合しゃへい率を相導体の配置数に関係なく、ほぼ θ だけで決まると判断できる。各相のしゃへい率に注目すると、上相では、上相だけのときより中相まで配置したときの方が良く、下相の配置によっては、あまり変化がない。一方、中相では、下相の状態異なり、下相にしゃへい失敗が多いときは良くなり、しゃへい失敗が少ないときは変化が少ない。この結果は相導体を追加配置すると新たに配置した相導体への放電は、既配置の最も近い相導体から移行するといえる。したがって、総合のしゃへい率には変化が現れないといえる。

以上の結果から、上相の θ が最も大きい場合は、上相にしゃへい失敗がないように考えれば良いことになる。いい換えれば、しゃへい率の検討には上相に相当する相導体 1 条で十分であるといえる。

(2) 電極高さ (H) の影響 第 7 図は、 $hc/hg=0.7$ の場合について、 H 別に θ を変えて求めたしゃへい率を示したものである。しゃへい率が 80% 以

第 7 図 電極高さによるしゃへい率の変化
Fig. 7. Variation of shielding ratio by electrode height.

第 8 図 DC バイアスによるしゃへい率の変化
Fig. 8. Variation of shielding ratio by DC bias.

下の場合、 H が大きくなるに従ってほぼ直線的にしゃへい率は良くなる。しゃへい率 80% 以上でも同様な傾向はあるが飽和している。このように、 H を高くするに従ってしゃへい率が良くなるので、雷撃の最終ステップリーダの高さを送電線の高さに対して、どの位の高さに考えるかが、雷しゃへいを考える場合の重要なポイントになる。

(3) 機圧の影響 相導体の機圧模擬のバイアス電圧は、表面電位傾度が実送電線と一致するように決めた。実送電線の電位傾度は $14 \sim 16 \text{ kV/cm}$ で、これにより線による増加率 40% を考え⁽⁷⁾、最大電位傾度を 20 kV/cm と仮定した。これは考慮したモデルに対しては約 10 kV に相当する(θ によって若干異なる)。したがって、直流は 10 kV 、交流は波高値 10 kV を

第 9 図 AC バイアスによるしゃへい率の変化
Fig. 9. Variation of shielding ratio by AC bias.

第 10 図 平地と傾斜地のしゃへい率の比較
Fig. 10. Comparison of shielding ratio on flat area and slope area.

基準とし、一部 20 kV まで考えた。

結果は、直流の場合を第 8 図に、交流の場合を第 9 図に示した。しゃへい率は雷撃の極性を負極性としたためバイアス電圧が正極性のときは悪く、負極性のときに良くなっている。

$H=1.5 \text{ m}$, $\theta=37.5^\circ$ のケースは、しゃへい率が 100% に近いために他のケースと傾向が異なるが、他は H および θ に関係なくバイアス電圧の影響はほぼ一定である。バイアス電圧 10 kV あたりのしゃへい率の変化は、直流で 7~8%, 交流では 4~6% と交流の方が若干影響が少ない。直流と交流でその影響が異なるのは、交流では正負に電圧が変化することによる空間電荷の影響によるものと考えられる。

なお、バイアス電圧 0 のときのしゃへい率が同一条件の第 7 図と異なるのは、バイアス電源保護の抵抗も含めた電源インピーダンスで相導体が接地された形に

第 4 表 $G.W_{下}$ によるしゃへい率の変化 (傾斜地)

Table. 4. Variation of shielding ratio by down ground-wire (Slop Area).

$hq=1.0\text{ m}$				
しゃへい角	架空地線	$H/hg=1$	$H/hg=1.5$	$H/hg=2$
0°	$G.W_{上}$	(%) 86.6	(%) 96.6	(%) 99.7*
	$G.W_{上}+G.W_{下}$	89.5	96.4	100

*: 上相, 中相へ各 1 回放電

6 分の配置を考え, それぞれ, A タイプと B タイプ (傾斜地のみ) とした。モデルの高さは, 1m を原則とし, 相導体の両端は 500Ω で接地した。

平地の場合: 結果は, $G.W_{下}$ のある場合とない場合を比較して第 3 表に示した。この結果からはしゃへい率は $G.W_{下}$ に影響されていない。すなわち, $G.W_{上}$ に放電しない分は全てしゃへい失敗となって上相に放電している。

〈3・2〉節(1)の結果によれば, 下部に配置される導

第 5 表 相導体への放電分布 (傾斜地)
($H=1.5$, $hq=1.0$, $Q=0^\circ$)

Table. 5. Distribution of discharge for conductors (slope area).

		$(H=1.5, hq=1.0, Q=0^\circ)$								
G.W の条件	導体	A (m)	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
(ケース 1) $G.W_{上}$ $\eta=94\%$	A	1	4	2	2	6	2	1		
	B		5	5	6	5	1	1		
	C		2	4	6	6	1			
	A'		1		2					
	AB					3				
	BC		1	1	3	2				
	CA'		1		1					
	BA'				1					
	計	1	10	10	11	12	4	2	0	
(ケース 2) $G.W_{上} + G.W_{下}$ $\eta=97\%$	A		1	1			1			
	B		5	3	2		3			
	C		1	1	2	3	1			
	A'				1	1				
	AB						1			
	BC			1			1			
	計	0	7	4	5	4	3	0	0	
(ケース 3) $G.W_{上} + G.W_{下}$ (3m 張出) $\eta=95\%$	A	1	4	9	4	1				
	B		2	3	6					
	C		2	6	6	3				
	A'		2	1						1
	B'		2							
	AB				1					
	BC		2	1						
	CA'				1					
	AC				1					
	$G.W_{下}$				1	1				
	計	1	6	19	15	4	0	0	1	

体への放電は見かけ上直ぐ上の導体の放電を吸収する形で現われるので, 中, 下相に放電のないこの例では $G.W_{下}$ の効果がないのは当然の結果といえる。

傾斜地の場合: $G.W_{下}$ のある場合, ない場合の結果を比較して第 4 表に示した。 $G.W_{下}$ のある場合の $H/hg=2$ では, しゃへい失敗はなく, $G.W_{下}$ のない場合は, 上, 中相に 1 回ずつ放電した。他のケースのしゃへい失敗の分布状況は第 12 図に示した。 $G.W_{下}$ のある $H/hg=1$ の下相の分布図に点線で示したのは $G.W_{下}$ への放電を示し, もし, $G.W_{下}$ がなければ下相に放電していたと考えられ, $G.W_{下}$ の効果が表われている。図中の () 内の数値は面積を表わし, $G.W_{下}$ への放電分の面積は 100 で, 送電線への放電分の 2% に相当している。すなわち, $G.W_{下}$ があるために, しゃへい率が 2% だけ良くなる。全体のしゃへい率で比較すると約 3% の差があり, その差 1% の違いは誤差と考えられる。

B タイプモデルの結果は, 放電分布状況とともに第 5 表に示した。ケース 1 は $G.W_{下}$ のない場合, ケース 2 は $G.W_{下}$ のある場合, ケース 3 は $G.W_{下}$ を相導体直下より 3m 分張出した場合である。第 5 表の集計では同時放電は各 1 回と扱い, 内訳は, AB, BC のように示した。計欄はしゃへい失敗数から同時放電数を差引いたもので, しゃへい率はこの値で算出した。

各ケースのしゃへい率は 94~97% であまり差がない。しかし, ケース 3 では $G.W_{下}$ に 2 回放電があり $G.W_{下}$ を張り出した効果は一応認められる。ケース 2 で $G.W_{下}$ に放電が生じないのは, 〈3・2〉節(1)の結果から考えれば当然の結果といえる。

以上のように, $G.W_{下}$ で, $G.W_{上}$ のしゃへい失敗分を吸収することは困難であり, 傾斜地といえども, $G.W_{上}$ による雷しゃへいに重点を置くべきである。

4. 結果に基づいた雷しゃへいの考え方

〈4・1〉 送電線雷撃領域と大地雷撃領域 第 13 図は各種実験結果から, 〈3・2〉節(1)の結果に基づいて基本特性としゃへい特性から $hq=0.5\text{ m}$ について, H 別に送電線への放電の割合 P_L を A/hg との関係で示し, 平均的な直線を引いたものである。

いま, 送電線への雷撃率を P_L とすれば, 大地への雷撃率 P_E は $(100-P_L)$ で自動的に決まる。したがって, 雷撃可能領域を, ある同一の送電線雷撃率 P_L に対応する A/hg を H ごとに第 13 図から求めてプロットすれば, それぞれの雷撃確率を持った送電線と大地への雷撃領域に分割することができる。

〈4・2〉 架空地線雷撃領域 架空地線雷撃領域は

第 13 図 P_L と A/hg の関係Fig. 13. Relation of P_L and A/hg .

送電線雷撃領域から相導体雷撃領域を差引いたもので示すことができる。第 6 表はしゃへい特性の試験結果から、送電線、相導体それぞれへの雷撃範囲を示したものである。それぞれの雷撃範囲を示す A/hg の上限は各ケースごとに見れば一致している。相導体雷撃範

第 6 表 各種しゃへい特性から求めた雷撃範囲の比較 ($hg=0.5$)Table. 6. Comparison of lightning range from all kinds shielding characteristics. ($hg=0.5$)

hc/hg	$H(m)$	しゃへい角 $\theta(^{\circ})$	相導体雷撃の範囲 Ac/hg	送電線雷撃の範囲 Al/hg
0.9	1.0	45°	0.86~3.06	1.94~3.06
		"	0.98~3.20	2.00~3.20
		37.5°	1.20~2.96	1.86~3.02
		30°	1.26~3.00	2.00~3.06
0.7	1.5	15°	2.60~3.00	2.00~3.24
		45°	1.95~3.87	2.20~3.87
		"	1.72~3.76	2.20~3.76
		37.5°	2.20~3.70	2.40~3.94
	1.0	"	2.20~3.40	2.20~3.82
		45°	1.12~3.08	1.80~3.08
		"	1.06~3.00	1.88~3.00
		"	1.00~3.34	2.00~3.34
		37.5°	1.20~3.20	2.00~3.20
		"	1.20~3.00	1.88~3.20
		"	1.18~2.94	1.82~2.94
		30°	1.74~3.20	2.00~3.24
	0.5	37.5°	0.20~2.06	1.40~2.06
		30°	0.25~2.00	1.40~2.00
		15°	0.40~1.95	1.10~1.95
		10°	0.90~2.00	1.20~2.00
0.5	1.0	45°	1.14~3.30	1.80~3.30
		37.5°	1.40~3.00	2.06~3.20
		30°	1.80~3.00	2.00~3.04

第 14 図 P_G' と lg/lc の関係Fig. 14. Relation of P_G' and lg/lc .

囲の下限は、 H が同じであれば θ が大きいほど小さく、相導体雷撃範囲は広がる。

この傾向は θ と H を一定とし、 hc/hg を大きくしても同じである。これは架空地線雷撃範囲（領域）が架空地線と相導体の位置関係で変わること示している。すなわち、相導体を架空地線から離していくと、遂には相導体がない場合と同じになり、架空地線雷撃範囲は送電線のそれと一致する。逆に相導体を架空地線に近づけて行けば、遂には相導体と架空地線は重なり、架空地線雷撃範囲はなくなる。このように架空地線雷撃範囲は、零から送電線雷撃範囲の間にある。

いま、 $lg/lc \equiv \gamma$ として、 γ と送電線雷撃中の相導体雷撃の割合 P_G' の関係を実験結果から求めると第 14 図のようになる。完全に全ての雷撃が架空地線に起きる完全架空地線雷撃領域を決定する γ は、常識的に $\gamma < 1$ であることは明らかである。

いま、第 2 図のような配置で、 $\gamma < 1$ の条件を与えるならば、この条件を満たす点の軌跡は、

$$\left(A + \frac{X\gamma^2}{k}\right)^2 + \left(H - \frac{hg - hc\gamma^2}{k}\right)^2 = \frac{\gamma^2(hc^2 + X^2) - hg^2}{k} + \left(\frac{hg - hc\gamma^2}{k}\right)^2 + \left(\frac{X\gamma^2}{k}\right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $k=1-\gamma^2$

のように円の式となる。架空地線雷撃領域はこの円の内部で表わされる。

〈4・3〉 雷撃領域の分割 第 15 図は雷撃領域を分割した 1 例である。 E および L 曲線は、それぞれ大地と送電線への雷撃の限界を第 13 図の 3σ で描い

第 15 図 雷撃領域の分割

Fig. 15. Division of lightning stroke area.

たものである。G 曲線は架空地線雷撃の限界を示す意味で、同様に第 14 図のシビア側の直線の 3σ (0.936) を仮定し、 $hc/hg=0.7$, $\theta=45^\circ$ について描いた。点線の G' 曲線は $\theta=30^\circ$ の場合を示す。

いま、 $H/hg=2$ の最終ステップの雷撃を考えると、送電線雷撃範囲は、線分 $\overline{ad}$ 、相導体雷撃範囲は線分 $\overline{bd}$ 、そして、架空地線雷撃範囲は線分 $\overline{ab}$ で表わせる。このように考えた $b(b')$ 点の A/hg と第 6 表の結果の下限を比較すると多少の差はあるが傾向の矛盾はない。

〈4・4〉 シャヘイ条件 以上の雷撃領域の分割図を用いて、シャヘイ条件を求める方法を示す。

ここでは H/hg を仮定して、これ以下の雷撃はないとして考えを進める。

シャヘイ条件は、仮定した H/hg において、架空地線雷撃領域が送電線雷撃領域をカバーすれば良い。すなわち、第 15 図の G 曲線を移動させ、仮定した H/hg で E 曲線と交わるようにすれば良い。G 曲線の移動は、相導体の位置の移動を表わすので hc/hg = 一定とすれば θ を替えばよい。

注意する点は、G 曲線の曲率が γ に影響されるので、 γ によっては E 曲線と交わる H/hg が制限される。第 15 図の例では $H/hg=1$ 以上の所に交点を求めようとすると、必ず $H/hg < 1$ で 1 度交わるようになる。

〈4・5〉 今後の問題点 以上、実験結果に基づいて雷シャヘイの 1 つの考え方を示したが、実際の対比という点では問題がある。すなわち、負極性の開閉

インパルスによる実験を基にしているが、正極性の方が自然雷に近いという説もあり⁽¹⁾、極性問題はモデルの大きさに関連もあり、今後、十分検討する必要がある。また、G 曲線を決める γ の値も放電現象面からの十分な検討が必要であり、この考え方そのものも実績との対比において修正、検討が必要と考える。

5. むすび

以上、主要点を列記すれば次のとおりである。

(1) 従来、雷シャヘイの検討は相導体 1 条で検討する例が多く結果に差が生じることが危ぐされていたが、シャヘイ角一定の場合、相導体の配置数に関係なくシャヘイ率は一定になり、シャヘイ失敗の分布を考えなければ従来どおりの考え方で良いことを示した。

(2) 傾斜地の送電線の谷側回線の実効シャヘイ率が悪化することは定性的に知られていたが、この点に検討を加え、傾斜地の実効シャヘイ角は、シャヘイ角に傾斜角を加えたもので代表できることを示した。

(3) 相導体の機圧を考えた場合 シャヘイ率は機圧と雷撃の極性が互に逆のときに悪化し、同じときは良くなる。その程度は相導体の表面電位傾度 10kV/cm あたり、DC で $3.5\sim 4\%$ 、AC が $2\sim 3\%$ で、DC の方が若干その効果が大きいことを示した。

(4) 誘導対策上から相導体下部に配置されるシャヘイ線の雷シャヘイ効果は、傾斜地で効果が現われるが非常に少なく、雷シャヘイの面からは架空地線のほうが有効であることを示した。

(5) 一連の実験結果に検討を加えながら、雷シャヘイの 1 つの考え方を提示した。

終わりに、本研究の実施にあたり、ご指導とご助言をいただいた、当所、電力第 1 部々当任、有働龍夫博士、系統絶縁研究室長、大和玄一博士、および前塩原実験場長、中村 宏博士に深く感謝いたします。また終始実験に協力いただいた系統絶縁研究室員および、塩原実験場関係者に深く感謝します。

(昭和 49 年 6 月 26 日受付、同 50 年 3 月 29 日再受付)

文 献

- (1) C. F. Wagner, et al: Trans. Amer Inst. Elect. Engrs 60, p. 313 (1941)
- (2) C. F. Wagner, et al: Trans. Amer Inst. Elect. Engrs 61, p. 96 (1942-2)
- (3) 高松・河角: 電学誌 90, p. 673 (昭 45-4)
- (4) R. W. Sorensen, et al: Trans. Amer Inst. Elect. Engrs 61, p. 159 (1942-3)
- (5) 三田: 電試研究報告 510 (1950-1)
- (6) 藤高・三田, 他: 電学誌 89, 13 (昭 44-11)
- (7) H. R. Armstrong & E. R. Whitehead: IEEE Trans. Power Apparatus Syst. PAS-86, p. 1223 (1964-12)
- (8) H. R. Armstrong & E. R. Whitehead: IEEE Trans. Power Apparatus Syst. PAS-87, p. 270 (1968-1)
- (9) 加賀谷: 超高压送電 (昭 36-12) 日刊工業新聞社