架空地線3条付500KV送電線のホーン間電圧のインパルス波応答測定とEMTP計算

正員 樋口 武光 (関西電力)

Measurement and EMTP calculation of Impulse Responses across
Insulator Horns of 500KV Transmission Line with Three-Ground-Wires.
Takemitsu Higuchi, Member

The number of line ground faults by lightning on 500KV transmission lines has been reduced significantly during the past ten years. This is because the three-ground-wire system, which has been installed instead of the two-ground-wire system, plays an important role.

Where the ratio of voltage across the insulator horns in the two-ground-wire system was 1.0, the measured horn-to-horn voltage ratio was reduced to 0.40~0.64 by adapting the three-ground-wire system.

Measurement showed the voltage ratio became much smaller (0.33~0.57) after suspending a 77KV XLPE cable from the tower top to its foot, with the cable sheath connected at each tower arm.

These measured voltage ratios were in fairly good agreement with the calculated values obtained by the EMTP method.

キーワード：鉄塔インピーダンス、EMTP、ホーン間電圧、架空地線3条

1. ま え が き

架空地線（以下GWと呼ぶ）を3条化した耐雷性能を向上させた500KV送電線は、運用を開始後、ほぼ10年となるが雷による両回線トリップは全くなき、1線地絡のみで、これも数件以内となっており、発雷頻度の多い地域を通過している箇所としては、少ない被害と言える。

GW3条化は極めて有効な雷害防止対策であることは、最近でも鉄塔高15mについて1989年に実測されている¹⁾が、すでに鉄塔高94mに実送電線路・東近江幹線、伊吹山の掘野個所において1983年、運用開始前にGW3条のインパルス波応答試験を実施していたのでこの結果を述べる。インパルス発生器（以下IGという）を地上に設置し、塔頂に印加する直接法であるので、鉄塔インピーダンスは、真値よりも低く測定される²⁾。しかしホーン間電圧については光ファイバーによる信頼度の良い測定であるので、この電圧で従来のGW2条方式に対してGW3条方式および鉄塔頂と鉄塔各アームをXLPE電力ケーブル（以下CVケーブルという）で接地するGW3条方式にCVを並用する方法について比較した。

前者のGW2条方式については、1979年当社の奥吉野線で直接法により実測されており、³⁾後者は、東近江幹線140号（#140'）で3条化の試験時に合せて、同様にして、ホーン間電圧抑制効果について比較した。

また、EMTP（汎用過渡現象プログラム）でステップ

波による応答として、ホーン間電圧を計算する場合、その両端の隣接鉄塔の各相導体とアーム間の碍子連のキャパシタンスとして各相に2000PFのキャパシタンスを付加した等価回路が良いことを提案する。

2. 測 定 方 法

〈2・1〉実送電線での測定

600KV IGからのサージ波を塔頂に印加し、上相、中相、下相の各ホーン間電圧を各アーム上に設置したE/O変換器に導き、ここから光ファイバーによって情報を伝達し地上O/E変換器に接続した。

O/E変換器からの出力をメモリ付きシンクロ・スコープで同時に各点の過渡電圧を測定した。試験回路は図1のように、9基の鉄塔で全長2,959mにおいて、中央鉄塔（#140）にインパルスを印加し、各相のホーン間電圧（AH、BH、CH）と各相導体電圧（VA、VB、VC）を測定した。相導体電圧は、線路に直角とした500m遠方の地上点からの電位差とした。GW3条付500KV送電線の鉄塔概要は図2のようである。地上高GW72、上相58、中相48、下相31〔m〕であり、1号線側と2号線側との幅は、それぞれ37、19.2、26.4、20.4〔m〕、相導体は810mm²、間隔50cmの正方形4導体方式となっている。

送電線の1号線を1L、2号線を2Lと表示し、IGを1L側201m離れて地上に置き、塔頂のGW3条のうち、1L側、中央、そして2L側とケースごとに印加点を変え

た。鉄塔アーム、相導体電位は2 L側の遠方接地点からの電位差とした。

I Gからのインパルス印加鉄塔#140は9基のうち一番高く約94mであった。

人工的に上相ホーン間をフラッシュオーバーさせるためアルミ線で、ホーン間を約2cmに縮めた。2回線6相の各線は、両端で500Ωで接地した。

〈2・2〉鉄塔塔頂を電力線ケーブルで接地したときの試験

図3のように77KV級CVの移動用ケーブルの芯線を塔頂に、シースを各アームに接続し、大地側の芯線を塔脚に、シースを別接地したときの各相ホーン間電圧を測定した。

これは、鉄塔のインダクタンス型に対して、ケーブルのキャパシタンス型を並用したとき、ホーン間電圧をどの程度低下できるかを把握するためであった。この比較は、塔

頂に印加したインパルス電流波高値に対する各相ホーン間の電圧波高値を $[V/A]$ で表示し、電位上昇インピーダンス $Z[\Omega]$ とした。⁴⁾

波形 $0.5 \times 28 \mu s$ 、400KV と $3 \times 25 \mu s$ 、400KV に対するCVケーブル敷設前後のホーン間電圧を測定した。I G回路直列にインダクタンス $440 \mu H$ を付加したとき、 $L = 1$ とし、波頭は $3 \mu s$ 、波尾が $25 \mu s$ となり、付加しないときを $L = 0$ と表示し、波頭は $0.5 \mu s$ 、波尾が $28 \mu s$ となった。芯線上部はGWに、下部は塔脚に接続した。そして、上、中、下の各アームへは、シースをそれぞれに接続し、下部では20m塔脚から離して接地した。

3. 測定結果

図4の(b)の波形を図5.によって説明する。電流波頭が $0.5 \mu s$ と急峻波であると各アーム先端からの反射波が顕

図1. インパルス印加点と試験回路 2,959m長

Fig. 1. Applied point and testing circuit for impulse responses

図2. 500KV鉄塔寸法

Fig. 2. A scale of 500KV tower

図3. CVケーブル布設前後のホーン間インピーダンス
Fig. 3. Impedances between horns with and without the XLPE(CV) cable suspended from the tower top.

図4. 塔頂の1L側GWへ400kV印加時フラッシュオーバーしないときの印加電流波形と、上、下相ホーン間電圧波形（1L側）CVケーブルなしのとき。

Fig.4. Current wave, and upper and lower voltage waves for horns when non flashover

著である。この急峻波は、ホーン間フラッシュオーバーしたとき、波頭が急峻となり、健全相のホーン間が図8.のように大きくなるので、続けて、波及的にフラッシュオーバーするかを検討を要するため0.5μsの波頭で実測した。

主要点からの反射波を説明すると図5.のようになる。図6.は上相のホーンギャップを縮めて0.9μs時でフラッシュオーバー（以下FOと表示する）させて、中相、下相のホーン間電圧を測定した。印加電流波形は図7.のとおりである。

図5. 図4. の(b) の拡大図

Fig. 5. Magnification of Fig. 4.(b)

図6. 塔頂の1L側GWへ400kV印加時上相ホーン間フラッシュオーバーしたとき、上中、下ホーン間の電圧波形（1L側）CVケーブルなしのとき。

Fig.6. Upper middle and lower voltage for horns when the flashover was generated

フラッシュオーバーした点図6.(A)0.9μs時点は、鉄塔アーム側から相導体へ向うさい断波の急な電流がホーン間を流れるので、この急変に対する相互誘導によって、中相、下相のホーン間電圧はその時点で大きくなった。図6.(B)(C)

図6.(b)(c)のように2.5μs時点で、負側に振れているのは、隣接鉄塔からのGWと相導体への負反射に寄るものである。このフラッシュオーバーによって電流波頭部からの相導体への電磁誘導により健全相のホーン間の波頭峻度が

図7. 塔頂の1L側GWへの印加電流波形

Fig.7. Current wave at GW of 1L

図8.のように大きくなる。

GWおよび鉄塔へ流れる電流波頭峻度が大きいほどホーン間電圧波頭部が大となる。

次に、GW2条方式、3条方式、そしてCVケーブル並用を比較するため印加電流 438 A、 $0.5 \times 28 \mu\text{s}$ および $3 \times 25 \mu\text{s}$ の波形を塔頂に加えたときのホーン間電圧波高値〔V〕をその電流波頭値〔A〕で割算した〔V/A〕を電位上昇インピーダンス Z 〔 Ω 〕として表示すると図9.のようになった。また従来の架空地線2条方式でのこの値は、別の500KV送電線 奥吉野線実測データによるものである。³⁾⁴⁾

図8. 電磁誘導とホーン間電圧

Fig. 8. Voltage between horns and induced voltage at line

図9. 500KV鉄塔での印加波頭長によるホーン間電圧のインピーダンス表示 (GW2条、GW3条、GW3条+CVケーブル) (中央GWに印加時)

Fig. 9. Increase of voltage unit current as a function of front wave length as expressed in terms of impedance (ground wires two or three, and with CV cable)

表1. 波頭長の違いによるホーン間インピーダンス
Table 1. Horn-to-horn impedances at $0.5 \mu\text{s}$ and $3.0 \mu\text{s}$ front wave lengths when imp applied the center GW.

0.5 μs 波頭長			3 μs 波頭長		
上相ホーン間			上相ホーン間		
GW 2条	GW 3条	CV並用	GW 2条	GW 3条	CV並用
5.1.0 Ω	2.1.0 Ω	1.7.0 Ω	2.2.5 Ω	1.0.9 Ω	9.6 Ω
1	0.40	0.33	1	0.48	0.43
中相ホーン間			中相ホーン間		
GW 2条	GW 3条	CV並用	GW 2条	GW 3条	CV並用
4.0.0 Ω	2.2.0 Ω	1.8.0 Ω	2.0.0 Ω	1.2.7 Ω	1.1.4 Ω
1	0.55	0.45	1	0.64	0.57
下相ホーン間			下相ホーン間		
GW 2条	GW 3条	CV並用	GW 2条	GW 3条	CV並用
3.6.0 Ω	1.8.0 Ω	1.6.0 Ω	1.9.5 Ω	1.0.7 Ω	9.5 Ω
1	0.49	0.44	1	0.55	0.49

(中央GWに印加時)

図10. 中央GWに印加時の1 L側ホーン間電圧、CVなしのとき
Fig. 10. Voltage wave between horn No.1. line side when imp applied the center ground wire

図11. 中央GWに印加時の2 L側ホーン間電圧、CVなしのとき
Fig. 11. Voltage wave between horn No.2. line side when imp applied the center ground wire

GW2条を基準の1としてGW3条の方がZの低下比率は、 $0.5 \mu\text{s}$ 波頭長のとき上、中、下相に対して、0.41、0.55、0.49、となり、 $3 \mu\text{s}$ 波頭長のとき0.48、0.64、0.55に低下した。¹⁾

波頭が急峻なほど3条方式は鉄塔の地上高と寸法から相

導体への電磁逆起電圧よりも静電的結合率が大となり2条方式よりホーン間Zの低下比率が大きくなる。

すなわち、急峻な波頭ほど3条方式のZ〔Ω〕は2条方式よりも低くなり、さらに、CVケーブルを並用すると0.5 μs 波頭長るとき、同様に0.33、0.45、0.44に低下し3 μs 波頭長るとき、0.43、0.57、0.49に低下した。急峻波ほどCVケーブル側へ分流する比率が大きいのでホーン間電圧低下比率も大となった。

GW3本のうち、中央のGW塔頂点に印加したとき1 L

図12. 1 L側GWに印加時のCV塔脚部側での芯線電流とシース電流

Fig.12. Current of CV at TW foot of 1 L

(a) 上相ホーン間電圧 6 KV

(b) 中相ホーン間電圧 6 KV

(c) 下相ホーン間電圧 5.8 KV

図14. 2 L GWへ印加で波頭長0.5 μs (上)、3 μs (下) による1 L側ホーン間電圧 (CV付加するとき)

Fig.24. Voltage waves between

hours when impulse applied I G側である1 LへC with the front wave 0.5 μs Vケーブルを布設した方が2 L側へ布設するよりもCVケーブルへ流入する電流図12. が大きかった。また図14. の2 L GWへ印加したときより、図13. の1 L GWへ印加した方が1 L側ホーン間電圧は小さかった。GW2条の1に対して上相0.27、中相0.30、下相0.26の低下比率となった。このことから落雷側にCVケーブルを設置した方がホーン間電圧の抑制効果は大である。

そこで塔脚の4脚のすべてにCVケーブルを設置すると、どの方向の雷撃によるサージ侵入があっても効果が安定する。

1 L側GWに印加時の1 L側のホーン間電圧図13. の上相ホーン間はアーム先端からの反射波が顕著である。中相、下相と印加点から遠距離となるに従って、斜材への分流と減衰によってその反射波と各点からの合成波は顕著でなくなる。

また、下相は、上相よりも、大地に近く下相ホーン間電圧は上相よりも早い時間に低下している。さらに、2.5 μs 時点では、隣接鉄塔 353mと 356mとからの負反射が正側の0.8(上相)~0.6(下相) 倍となり、顕著である。下相は、大地に近く、鉄塔と相導体とのキャパシタンスも上相より

図13. 1 L側GWに印加時CVケーブル付加のときの1 L側ホーン間電圧 0.5×28 μs, 438Aを印加 Fig.13. Horn-to-horn voltage waveforms on No.1 line side when impulse 438A, 0.5×28 μs applied to the GW on the No.1 line side (XLPE cable suspended)

1 L 側から印加

図15. EMTP計算回路

Fig.15. Circuit for EMTP'S

大であることから $2.4 \mu s$ 点で負反射の影響を受けている。図14. は、2 L GWの塔頂に印加したときで1 L GWにCVケーブルを吊し1 L側ホーン間で電圧を示す。印加電流が $0.5 \mu s$ (電圧波頭の高い方) と $3 \mu s$ (電圧波頭の低い方) の波頭によるホーン間電圧の違いを示す。 $0.5 \mu s$ の高周波 (急峻波) ほどアームからの反射波が顕著である。

4. EMTP計算等価回路

図6.(b),(c)のようなCVケーブルなし、FOあり、なしでの測定波形を図15. の回路により計算で求めることを試みた。とくに、隣接鉄塔の各相ごとの碍子のキャパシタンスを2000 PFとして考慮すると実測値に計算値が良く一致することがわかった。

EMTPによる計算は、送電線モデルを10KHz に対するR.L.Cの定数を π 形回路模擬で構成し、9行9列で40m長

表2. 四段モデルの定数

Table2. Constants of four section

鉄塔番号	Σh	h_1	h_2	h_3	h_4	L_1	L_2	L_3	L_4	R_1	R_2	R_3	R_4
単位	m	m	m	m	m	μH	μH	μH	μH	Ω	Ω	Ω	Ω
#138	77	14	15	12	36	8.61	9.22	7.38	17.18	16.77	17.99	14.37	33.48
#139	79.8	"	"	"	38.8	8.92	9.56	7.64	17.81	"	"	"	"
#140	93.8	"	"	"	52.8	10.49	11.24	8.99	20.94	"	"	"	"
#141	78.8	"	"	"	37.8	8.81	9.44	9.55	17.59	"	"	"	"
#142	72.5	"	"	"	31.5	8.1	8.69	6.95	16.18	"	"	"	"

図16. 鉄塔等価インピーダンス

Fig.16. Equivalent impedance for tower

相当を1ブロック1段として、400m分はこれを10段カスケードに組立てた。図15. のように径間長に比較して段数を組み、相導体6条とGW3条との9条で構成した。

鉄塔モデルのパラメータは、鉄塔サージインピーダンス Z_t 、サージ伝搬速度を V_t 、減衰定数を γ 等とした。これは電気学会電力系統のサージ解析調査専門委員会で開発

された鉄塔4段モデル定数である⁵⁾。これに基づき、次のようにして表2. の4段モデル定数を得た。

$$\Gamma = \sqrt{0.8} \approx 0.8944$$

$$\text{伝播時間 } \tau = L/R = 2 \times \Sigma h / V_t = 2 \times 77 / 300 = 0.513 [\mu s]$$

$$V_t = 300 [m/\mu s] \text{ とした。}$$

上部の単位長当りの抵抗

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= -2 \times Z_{t1} \times \log \gamma / (h_1 + h_2 + h_3) \\ &= -2 \times 220 \times (-0.116) / 41 \\ &= 1.198 [\Omega/m] \end{aligned}$$

上部3段のインピーダンス $Z_{t1} = 220 [\Omega]$ とした。

鉄塔下部の単位長当りの抵抗

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= -2 \times Z_{t2} \times \log \Gamma / h_4 \\ &= -2 \times 150 \times (-0.116) / 36 = 0.93 [\Omega/m] \end{aligned}$$

下部一段のインピーダンス $Z_{t2} = 150$ とした。これは、実測結果と等価な円錐のインピーダンス $Z_t = 60 \log (2\sqrt{a^2 + h^2}/a)$ から上部を半径を a_1 、高さ h_1 の円錐部 Z_{t1} と、下部の a_2 、 h_2 の Z_{t2} との2組の計算によった⁵⁾。

上アーム部抵抗 $R_1 = \gamma_1 \times h_1 = 1.198 \times 14 = 16.77$ 、同様にして中アーム部抵抗 $R_2 = \gamma_1 \times h_2$ 、下アーム部抵抗 $R_3 = \gamma_3 \times h_3$ 、下アームから脚部の抵抗 $R_4 = \gamma_2 \times h_4$ 、およびインダクタンスも同様にして、 $L_1 = R_1 \times \tau$ 、 $L_2 = R_2 \times \tau$ 、 $L_3 = R_3 \times \tau$ 、 $L_4 = R_4 \times \tau$ から算出したものである。

5. EMTPによる計算結果

図15. の等価回路で、相導体6相分を 500Ω で接地したとき (図17. の(1))、6相分を 500Ω で接地し、さらに隣接鉄塔で各相導体を $2000 P F$ で接地したとき (図17. の(2)) について上相を逆フラッシュオーバーさせて、各相、アーム電圧、相導体電圧、ホーン間電圧、塔脚電流等について次のような結果を得た。

印加電流は、スイッチオンによりステップ波としたが、回路定数から図17.(a)のようになった。最初は $450 A$ であるが、IG発生源

図17. 中央GWの塔頂点へ印加したとき印加電流と上相F O時の各相ホーン間電圧

Fig.17. Current wave and Voltage of horns when the flashover was generated from upper arm to conductor

450Aのステップ波を印加したときの応答波形

図18. 上相逆フラッシュオーバー両端2000PF接地のときアームと電線電圧

Fig.18. Voltage waves of arms and phase conductors when the flashover was generated from upper arm to conductors.

から塔脚へ到達した $1\mu\text{s}$ 時点では900Aになる。塔脚4脚合成40Ω（鉄塔1基当り）の接地抵抗点での反射波である。

また、図17. (b) の $3.4\mu\text{s}$ 時点では2000PFで接地している方が隣接鉄塔からの反射波は顕著である。

各相ホーン電圧の最初の波頭部は負側に振れているのは印加点からの相導体への相互誘導電位がアームの電位上昇よりも早く発生している為である。

ステップ波に対して、50Ωにもなり、スイッチにより電位を急低下することでフラッシュオーバーを模擬した。図17. (a) 上相ホーン間FO電圧として図示した。

中相ホーン間は、43Ωとなり $0.7\mu\text{s}$ 時点で上相のフラッシュオーバーにより中相も急低下し、さらに、塔脚からの負反射を $1\mu\text{s}$ 時点で受け、この往復運動を4回繰り返して、 $3\mu\text{s}$ 時点では、隣接鉄塔の2000PFからの負反射がないときの終端500Ω接地のみの時(1)よりも(2)の2000PF付加時は負反射が顕著である。図17(b)

下相ホーン間では、39Ωとなり中相と同様な振動を繰り返した。

下相導体に受ける相互誘導電位よりも下アームへサージが伝播する時間が中アームより長く要するのでアーム電位上昇までの間、中相よりも大きく負に振れた。

また2000PFを通じる振動電流も下相は大きかった。2000PFを付加していない時はその振動は少なかった。

3条式の上、中、下の50Ω、43Ω、39Ωは図9の実測値である2条式の53Ω、50Ω、48Ωに対して3Ωから9Ω程度低く、0.81の低下率であった。

$0.5\mu\text{s}$ 波頭の実測分では0.49の低下率であった。(22/50, 21/43, 18/39)

図17. (b), (c)のように2000PFで各相導体を隣接鉄塔で接地する方法は、 $3.2\mu\text{s}$ 時点では中相、 -23Ω 、下相、 -27Ω となり、実測値の図6.

(b), (c)、図13.(a),(b),(c)の $2.5\mu s$ 波 $3.3\mu s$ (電位上昇発生からの時間) 時間が良く一致する。従来回路の2000PFを付加しないときは、この時点の波形が0Ω付近となり実測波形と相違する。これは図18.(a)の(1) 500Ωのみで接地のときを図示した。

このように、鉄塔と相導体間は、ホーン間碍子や浮遊容量等のキャパシタンスがあるので、これを2000PFとして回路に加えて、ほぼ一致することを確認した。上相アームから上相導体へ逆フラッシュオーバーしたことから $0.7\mu s$ 時点で急低下している。GW2条の鉄塔単体 (GWなし) での塔頂部のインピーダンスはステップ応答による計算では132Ωであるところ⁵⁾このGW3条の計算では100Ωとなった。これから、2000PF接地した図18.(a)(2)の方は、隣接鉄塔からの負反射が -36Ω と大きく負に振れ、 $3\mu s \sim 3.5\mu s$ 時点 (IGからの経過時間)、印加鉄塔塔頂からは、 $2.5\mu s \sim 3.0\mu s$ 経過後は実測値に一致した。アーム電位の実測波形も図13. の(a),(b),(c) の波形に近似していた。

図18. の(b)の相導体上相電位⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾は、逆フラッシュオーバー寸前時点で72Ωと急に大きくなるが、中、下相は誘導電圧のみで36Ω以下であった。これも相導体電位上昇を受けて以後 $2.5\mu s \sim 3\mu s$ 経過時点では、従来の(1)の500Ω接地による零電位よりも、今回提示する(2)の2000PF各相隣接鉄塔での接地方式の計算回路の方が実測値に良く一致することがわかる。すなわち、この時点で -40Ω 程度と大きく負に振れた。(1)の2000PFのない場合では0Ωであり実測と一致しない。

(c)の塔脚電流は、1脚当たり約40A流れ450Aの印加電流に対して9%の分流と云える。一方CVケーブルへは図12. から芯線16A、シース10Aの26Aが流れ、6%の分流比と云え、塔脚の85%の分流であった。しかし、実測では波頭が図12. のように、CV芯線 $0.5\mu s$ 、シース $1.8\mu s$ 、塔脚 $0.6\mu s$ (分割型サージCITで測定) となることから、急峻波ほどキャパシタンスであるCVケーブルへの分流比が大きくなると言える。

6. む す び

架空地線 (GW) の3条化は、表1のように $0.5\mu s$ 波頭長に対しては、GW2条に比して、ホーン間電圧が上相0.40、中相0.55、下相0.49に低下できた。同様に $3\mu s$ 波頭長に対しては、上相0.48、中相0.64、下相0.55に低減されていることを確認した。一方、多雷地域を通過する当送電線の10年間の雷事故として、1線地絡が5件と少ないことから、耐雷性能の向上をこの低い事故率と低減されたホーン間電圧比率の数値で示せた。

さらに、塔頂と各アームをCVケーブルで接地する方法のインパルス試験を行ない、前記と同様にホーン間電圧の低下比率として、 $0.5\mu s$ に対して、上相0.33、中相0.45、下相0.44、 $3\mu s$ に対して、上相0.43、中相0.57、下相0.49となった。これは、3条のうち中央GWに印加したと

きである。これが1L側GWに印加するとIGからの電流を最もCVに流れるようにした場合となり、 $0.5\mu s$ に対して、上相0.27、中相0.30、下相0.26の低下比率となった。各脚にCVケーブルを並用した4本配置であれば、どの位置から雷サージ侵入があっても効果は安定する。

EMTP計算用回路として、鉄塔と相導体間の碍子連のキャパシタンスとして各相導体に2000PFを付加して、雷サージ侵入鉄塔の両端の隣接鉄塔に各々接地する方法を提案した。これにより、隣接鉄塔からの反射波を実測値に一致させることが出来た。

ステップ波によるホーン間電圧については、鉄塔を4段モデルとし、塔脚接地抵抗40Ωを入力しているが、計算値は大地面からの反射点で0Ωと換算される。実測の $0.5\mu s$ 波頭では、図4.~図6.のように大地面からの反射点はホーン間から13Ωと換算され、0Ωでなく13Ωと高くなるから計算回路の接地抵抗模擬には抵抗Rとインダクタンス要素Lを加味する必要があった。¹⁰⁾

ホーン間電圧実測に関して、¹¹⁾¹²⁾御教示頂いた東京大学 石井勝教授、GWと相導体系におけるサージ特性の解析に御指導を頂いている京都大学工学部 電気第2研究室 奥村浩士教授に感謝の意を表します。

(平成5年5月28日受付、平成5年12月24日再受付)

参 考 文 献

- 1) 井上・清水・青島：「架空地線の3条化および下部遮へい線の設置による逆フラッシュオーバーの抑制」電中研報告T89-078(1990-5)
- 2) 松原・山本：「500KV試験送電鉄塔のサージ特性」電力中央研究所報告T91093、平成4年7月
- 3) 石井他：「500KV2回線実送電線の雷サージ特性の実測」1979年電学関西連大G4-22
- 4) 石井・河村：「500KV実送電線の雷撃時電位上昇特性」1980年電学全大1009
- 5) 電気学会技術報告(Ⅱ部) 第244号「電力系統における雷サージ解析の新手法」昭和62年3月
- 6) 奥村・木嶋：「鉄塔サージインピーダンスの電磁界理論による一計算法」、電学論B、105、733(1985-9)
- 7) 奥村・谷・木嶋：「鉄塔-架空地線系のサージ特性の電磁界理論による解析」、電学論B、106、873(1986-10)
- 8) 奥村・谷・木嶋：「鉄塔-架空地線-相導体系におけるサージ特性の電磁界理論による解析」、電学論B、107、33(1987-11)
- 9) 原・山本・林・樋口・上之園：「垂直導体サージ伝搬特性の基礎的検討」電学論B、108、533(1988)
- 10) 電気学会技術報告(Ⅱ部) 第301号「発電電所の雷サージ解析における各種パラメータとその影響」1989年6月
- 11) 石井・河村：「送電線鉄塔のサージ特性」東大生研電気談話会報26 №50 1976年
- 12) 石井・河村：「送電線鉄塔・電線のサージ特性」1977年電学全大1347

樋 口 武 光 (正員)

昭和15年5月2日生。34年淀川
工高卒業。同年4月関西電力(株)へ
入社。41年大阪府立工業短期大学
卒業。43年大阪大学工学部選科生修

了。入社後、主として高電圧雷害対策関係の研究に従事。
55年副主任研究員となり、62年制御所長として電力設
備の運用、保守に従事。平成3年6年総合技術研究所主任
研究員となり、交直変換器の制御、およびサージ解析に関
する研究に従事、現在に至る。