電力線と斜行している分布接地導体の 電磁遮へい係数

正員 大矢 征 (幾徳工大)

正員 森 武 昭 (幾徳工大)

正員 松 橋 登喜雄 (日本大)

1. ま え が き

電源確保の遠隔地化や通信事業の発達のため、電力線と通信線が接近して布設されるケースが多くなってきており、電力線の1線地絡事故時に近傍の通信線に生じる電磁誘導障害が重要な問題となってきた。電磁誘導対策の経済性という観点から、電力線や通信線の近傍に存在していて、誘導遮へいを本来の目的としていない分布接地導体の遮へい効果を予測計算に見込むことは意義深い。このような分布接地導体としては、幹線道路のガードケーブル、鉄道レール、水道管などが考えられ、これらが電力線と通信線に平行している場合の取扱いが比較的簡単な方法が提案されている^{(1)~(3)}。しかしながら、鉄道レールなどは電力線や通信線に対して斜行している場合が大部分であるが、斜行している場合の検討は報告されていない。

そこで本論文では、無限長分布定数線路と見なすことのできる鉄道レールが電力線と斜行している場合を取上げ、この鉄道レールの電流分布および遮へい係数の計算を行っている。なお他の分布接地導体についても、定数が異なるだけで本論文の取扱いを適用することができる。ところで、厳密に遮へい係数を求めるためには、分布定数線路の取扱いを必要とするが、斜行している場合には計算が非常に煩雑となり実用的でない。このため、本論文では計算手法として、(1)行列計算法と(2)簡易計算法を提案してい

る。(1)項は斜行区間を多分割して各区間を集中定数回路として取扱う方法であり、分割数ある程度多くすると電流分布の計算結果は厳密に計算した値とほぼ一致する。また、(2)項の簡易計算法については、平行区間法とグラフィック表示法を検討する。前者の方法は誘導区間の両端における離隔距離の平均値の距離に等価的に鉄道レールが存在するものと仮定して、平行区間の取扱いによって鉄道レールの遮へい係数を算出する方法である⁽⁴⁾。従って、斜行の角度が小さい場合は平行区間に置き換えても近似計算の精度は良いと思われるが、交差している場合には当然誤差が大きくなるものと予想されるので、この方法の適用範囲について検討する。この方法の特長はパソコン程度でも簡単に計算できるうえに、他の遮へい導体も含めた総合遮へい係数を検討する際に役立ち得る点にある。また、後者のグラフィック表示法は行列計算法によって計算した代表的な導体配置についての遮へい係数を三次元グラフィック表示しておき、他の特性図と併用することにより一切計算することなく、遮へい係数の概略値を簡単に求め得る方法である。

このように、従来明らかになっていなかった電力線と斜行している分布接地導体の遮へい係数の求め方について以下に報告する。

2. 検討モデル

図1に検討モデルの一例を示す。電力線 P と通信線 C は水平離隔距離 D_{PC} (m) で平行しているものとする。本論文では S がこれらに斜行している場合について取扱う。なお、 P と C が斜行している場合の電磁誘導電圧の計算方法については、竹内氏の論文に明らかにされている⁽⁵⁾。図1で電力線の高さは $h_P = 20$ m、通信線の高さは $h_C = 5$ m、鉄道レールの高さは

Electromagnetic Screening Factor of a Distributed Grounding Conductor Laid Obliquely for a Power Line. By *Susumu Ohya*, Member, *Takeaki Mori*, Member (Department of Electrical Engineering, Ikutoku Technical University) & *Tokio Matsushashi*, Member (Department of Electrical Engineering, College of Engineering, Nihon University).

大矢 征: 正員, 幾徳工業大学電気工学科

森 武昭: 正員, 幾徳工業大学電気工学科

松橋登喜雄: 正員, 日本大学工学部電気工学科

図 1 検討モデルの一例

Fig. 1. An example of considered model.

$h_s=0$ m とし、誘導区間長は L (km) とした。また、 D_1 と D_2 はそれぞれ S の左端と右端における P からの距離を表す。図 1 の例は S と C が立体的に交差している場合で、その交点の電力線への投影点を X_C としている。 S を延長した P との交点 X_P は $X_P < 0$ の関係となるので、誘導区間内では交差していないことになる。

数値計算に用いた他の定数は電力線の周波数 $f=60$ Hz、大地導電率 $\sigma=0.01$ S/m を標準とし、鉄道レールの大地帰路自己インピーダンス $\hat{Z}$ と対地アドミタンス $\hat{Y}$ は代表的な次の値を用いた⁽⁶⁾。

$$\left. \begin{aligned} \hat{Z} &= 0.20 + j0.68 \text{ (}\Omega/\text{km)} \\ \hat{Y} &= 1.0 + j6.28 \times 10^{-4} \text{ (S/km)} \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

3. 計算方法

〈3.1〉 厳密計算法 図 1 で電力線 P の電流を $\hat{I}_P$ (A) とすると鉄道レール S の電位 $\hat{V}$ と電流 $\hat{I}$ は次の基本方程式を満足する。

$$\left. \begin{aligned} -\frac{d\hat{V}}{dx} &= \hat{Z}\hat{I} + \hat{Z}_{mx}\hat{I}_P \\ -\frac{d\hat{I}}{dx} &= \hat{Y}\hat{V} \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

ここで、 $\hat{Z}_{mx}$ (Ω/km) は鉄道レールの位置 x (図 1 参照) によって変化する P - S 間の大地帰路相互インピーダンスであり、Carson の式によって求められる⁽⁷⁾。(2) 式の一般解は $\hat{A}$, $\hat{B}$ を積分定数とすると (3)、(4) 式となる。

$$\begin{aligned} \hat{V} &= \hat{A}e^{\hat{\gamma}x} + \hat{B}e^{-\hat{\gamma}x} \\ &\quad - \frac{\hat{I}_P}{2} \left(e^{\hat{\gamma}x} \int \hat{Z}_{mx} e^{-\hat{\gamma}x} dx + e^{-\hat{\gamma}x} \int \hat{Z}_{mx} e^{\hat{\gamma}x} dx \right) \end{aligned} \dots\dots (3)$$

$$\begin{aligned} \hat{I} &= -\frac{\hat{A}}{\hat{Z}_0} e^{\hat{\gamma}x} + \frac{\hat{B}}{\hat{Z}_0} e^{-\hat{\gamma}x} \\ &\quad + \frac{\hat{I}_P}{2\hat{Z}_0} \left(e^{\hat{\gamma}x} \int \hat{Z}_{mx} e^{-\hat{\gamma}x} dx \right. \\ &\quad \left. - e^{-\hat{\gamma}x} \int \hat{Z}_{mx} e^{\hat{\gamma}x} dx \right) \end{aligned} \dots\dots (4)$$

ここで、 $\hat{\gamma}$: 鉄道レールの伝搬定数 ($\sqrt{\hat{Z}\hat{Y}}$),
 $\hat{Z}_0$: レールの特性インピーダンス ($\sqrt{\hat{Z}/\hat{Y}}$)

(3), (4) 式に含まれる $\hat{Z}_{mx}$ は、 P - S 間の水平離隔距離と導体の高さなどに関する複雑な関数式で表現されるので、これらの式を厳密に計算することは非常に煩雑である。特に、不定積分を無限級数に展開して計算する場合、 $|D_1 - D_2|$ が小さい場合や $\hat{\gamma}l$ が大きい場合には、計算が困難になることがある。従って、厳密解を一般的条件で得るのが困難であるため、次節で提案する行列計算法の妥当性を確認するととめることにした。

〈3.2〉 行列計算法 鉄道レールの電位電流特性は本来、分布定数回路として取扱う必要がある。しかし誘導区間を多数の区間に等分割して、その各区間の両端における水平離隔距離の算術平均の距離に各区間が平行しているものとする分割区間数がある程度大きい場合には、各区間は π 形あるいは T 形の集中定数回路で表すことができる⁽⁸⁾⁽⁹⁾。すなわち、 n 等分した i 番目の区間の相互インピーダンスを $\hat{Z}_{mi}$ とし、誘導区間内の鉄道レールの長さを l とすると、 P と S に関する i 番目の区間のインピーダンス行列は (5) 式で表される。また、アドミタンス行列は各区間とも (6) 式で表される。

$$[Z]_i = \begin{bmatrix} 1 & \frac{L}{n} \hat{Z}_{mi} \\ \frac{L}{n} \hat{Z}_{mi} & \frac{l}{n} \hat{Z} \end{bmatrix} \dots\dots (5)$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{l}{n} \hat{Y} \end{bmatrix} \dots\dots (6)$$

いま、 π 形の集中定数回路で表すと i 番目の区間の 4 端子定数行列は (7) 式となる。

$$\begin{bmatrix} [A] & [B] \\ [C] & [D] \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} [U] + \frac{1}{2} [Z]_i [Y] \\ [Y] + \frac{1}{4} [Y] [Z]_i [Y] \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} [Z]_i \\ [U] + \frac{1}{2} [Y] [Z]_i \end{bmatrix} \dots\dots (7)$$

よって、 n 区間の 4 端子定数行列の縦続接続と両端末における条件から、受電端における電位 $\hat{V}_n$ と電流 $\hat{I}_n$ が求められるので、順次、各分割点の位置における電位 $\hat{V}_i$ と電流 $\hat{I}_i$ を計算することができる。

図 2 は L を 4 km、 D_1 を 300 m とし、 D_2 をパラメータとしたときの鉄道レール上の電流分布を示す。この特性は電力線からの距離が大きくなるほど電流値

図2 鉄道レール上の電流分布

Fig. 2. Current distribution on the rail of railway.

が小さくなり、かつ最大電流となる位置も離隔距離が小さいほうに移動しており、斜行の影響が良く表れている。図中の×印は〈3・1〉節で述べた厳密計算による結果を示している。この値は行列計算の結果に対して1%以下の差であるため、行列計算法は十分厳密解を表していると言える。なお、行列計算における分割数は $n=40$ としたときのものであるが、この妥当性については後で述べる。

遮へい係数は鉄道レールの電流分布、 S - C 間の相互インピーダンス $\hat{Z}_{sc}(\Omega/\text{km})$ および P - C 間の相互インピーダンス $\hat{Z}_{pc}(\Omega/\text{km})$ から、(8)式によって計算できる。

$$\lambda = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \{(\hat{I}_{i-1} + \hat{I}_i)/2 \times \hat{Z}_{sc}\} \times (L/n)}{\hat{Z}_{pc} L \hat{I}_P} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 $\hat{I}_0, \hat{I}_n$: それぞれ $X=0, X_1=L$ における電流

行列計算法では斜行区間を n 分割して、各区間を集中定数回路として扱うため、 n が小さい場合には当然電流分布や遮へい係数の計算誤差が大きくなるものと考えられる。そこで、 $n=40$ のときの遮へい係数を基準として分割数 n による影響を(9)式で計算し、これを図3に示した。

$$\varepsilon_1 = \left(\frac{n \text{ のときの遮へい係数}}{n=40 \text{ のときの遮へい係数}} - 1 \right) \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (9)$$

この場合の計算条件は $L=4 \text{ km}$, $D_{pc}=600 \text{ m}$ である。一点鎖線は S が P や C と交差しない場合で、斜行の傾きが大きくないため、5分割程度でも1%以

図3 分割区間数による遮へい係数の計算誤差 ($L=4 \text{ km}$, $D_{pc}=600 \text{ m}$)

Fig. 3. Calculation error of the screening factor due to the number of divisions.

図4 P - C 間距離と遮へい係数の関係Fig. 4. Relation between the P - C separation and the screening factor.

内となっている。実線は S が C と交差する場合、2点鎖線は S が P と C に交差する場合であり、分割数の増大と共に誤差は振動的に減少している。この場合も15分割以上では1%以内となり、ほぼ一定の値に収束する傾向を示しているため、 $n=40$ として求めた行列計算解を厳密解と見なしでも差つかえないものと判断することができる。

斜行条件の違いによる遮へい係数を検討する場合、導体配置としては誘導区間長 L 、両端における P - S 間の水平離隔距離 D_1, D_2 および P - C 間距離 D_{pc} が影響する。そこで斜行の条件を一般化して表すため、 D_1, D_2 を P - C 間の距離 D_{pc} を基準として正規化し、それぞれ α_1, α_2 として表した。本計算例では、これらを -0.5 から 1.5 まで変化させている。図4は

$L=2\text{ km}$, $L=6\text{ km}$ の場合の数組の斜行条件における D_{PC} と遮へい係数の関係を示したものである。このように、 L および α_1 , α_2 が一定であるとする遮へい係数は D_{PC} の対数関数で表すことができる。同図から S が P や C の直下に平行しているときには、遮へい効果は大きく D_{PC} に関係しないと言える。また、斜行している場合には D_{PC} が大きくなると共に、遮へい効果が小さくなっている。このことは L が大きいほど顕著である。

誘導区間長と遮へい係数の関係も同様にして、 D_{PC} および α_1 , α_2 が一定であるとする遮へい係数は L の対数関数で表すことができる。

以上のようにして、行列計算法によって遮へい係数を求められるが、ある程度の大形計算機を利用しなければ数値計算は容易でない。実務者にとっては簡単な計算か図表程度で遮へい係数を求められることが望ましい。そこで、簡易計算法としてモデルを簡単に平行区間として扱う方法と図から求める方法について次に述べる。

4. 簡易計算法

〈4・1〉 平行区間として扱う方法 この方法は斜行している鉄道レール S を以下に述べるように P や C に対して平行しているものと仮定して、分布定数線路の取扱いをする方法である。本来、平行区間として扱う方法（以後、平行区間法と略記）は全区間を一つの平行区間と見なして計算できることが望ましいが、交差している場合には当然誤差が大きくなる。従って、 S が P や C と交差するかどうかによって以下のように取扱う。

(1) 交差していない場合 S の両端における離隔距離の平均値 $D=(D_1+D_2)/2$ の距離のところに S が平行していると仮定して、等価的に平行区間の取扱いをする。この場合(4)式の P - S 間の相互インピーダンス $\dot{Z}_{mx}$ は一定となり、これを $\dot{Z}_{PS}$ とすると鉄道レールの電流分布は

$$\dot{I}_x = \frac{\dot{Z}_{PS} \dot{I}_P}{2\dot{Z}} \{e^{-\dot{\gamma}(L-x)} + e^{-\dot{\gamma}x} - 2\} \quad \dots\dots(10)$$

となる。この電流を積分した値を用いて、等価インピーダンスを

$$\dot{Z}_e = \frac{\dot{\gamma}L}{\dot{\gamma}L - 1 + e^{-\dot{\gamma}L}} \dot{Z} \quad \dots\dots(11)$$

とおくと遮へい係数は(12)式で計算できる。

$$\lambda = 1 - \frac{\dot{Z}_{PS} \dot{Z}_{SC}}{\dot{Z}_e \dot{Z}_{PC}} \quad \dots\dots(12)$$

(2) P または C に交差する場合 交点で2分

図 5 平行区間と見なした導体配置 (S と C が交差する場合)

Fig. 5. Conductors arrangement that is assumed to the parallel sections.

割して考える。図5は S と C が交差している場合で、 A 区間および B 区間はそれぞれ $D_{PSA}=(D_1+D_{PC})/2$, および $D_{PSB}=(D_{PC}+D_2)/2$ の距離に、それぞれ S_A と S_B が平行しているものとする。このとき、 S_A の P - S 間および S - C 間の相互インピーダンスを $\dot{Z}_{PSA}$, $\dot{Z}_{SCA}$ とし、 S_B のそれらを $\dot{Z}_{PSB}$, $\dot{Z}_{SCB}$ において遮へい係数を次式によって計算する。

$$\lambda = 1 - \frac{\{\dot{Z}_{PSA} \dot{Z}_{SCA} X_C + \dot{Z}_{PSB} \dot{Z}_{SCB} (L - X_C)\}}{\dot{Z}_e \dot{Z}_{PC} L} \quad \dots\dots(13)$$

S が P と交差している場合も、 X_P で二つの区間に分けて同様に計算する。

(3) S が P と C に交差する場合 X_P と X_C の点で3分割して各々を平行区間として取扱い、(2)項と同様の方法で遮へい係数を計算する。

図6は平行区間法による遮へい係数と行列計算法に

図 6 平行区間法による誤差 ($L=4\text{ km}$, $D_{PC}=600\text{ m}$)

Fig. 6. Calculation error due to the method for the parallel sections.

図 7 平行区間法による誤差の等値線表示

Fig. 7. Contour lines of the calculation error due to the method for the parallel sections.

よる遮へい係数を用いて、(14)式により求めた計算法による誤差を示す。

$$\epsilon_2 = \left(\frac{\text{平行区間法による遮へい係数}}{\text{行列計算法による遮へい係数}} - 1 \right) \times 100 (\%) \quad (14)$$

同図は $L=4$ km, $D_{PC}=600$ m の場合であり、全般的に $\epsilon_2 > 0$ 、すなわち平行区間法による遮へい係数のほうが大きい値となっていて、遮へい係数の予測計算という見地からすると安全側であると言える。また、 S が P や C と交差していない場合（実線で示す）はほとんどの場合 $\epsilon_2 < 6\%$ であり、良く近似できていると言える。しかしながら、 S が P と C に交差する場合（二点鎖線で示す）には、平行区間法による計算誤差が大きくなり、誘導区間長と P - C 間距離の組合せによっては更に誤差が大きくなる場合も生じると予想される。そこで、平行区間の適用範囲を明確にするため、まず L と D_{PC} の三つの組合せについて、正規化距離 α_1 と α_2 の座標系における ϵ_2 の等値線表示を図 7 に示した。図中の①、②、③は S が P と C に交差していない場合、④は P と交差、⑤は C と交差、⑥は P と C に交差する場合の範囲を表す。同図は一点鎖線に近いほど斜行の傾きが小さいので、 ϵ_2 の値が小さくなることがわかる。(a)図は $L=6$ km, $D_{PC}=200$ m の場合で ϵ_2 はほぼ 6% 以下であるが、(b)図のように D_{PC} が 800 m となると交差している場合の計算誤差は急激に大きくなり、平行区間法によってすべての導体配置における遮へい係数を求めることは無理であると言える。また(c)図のように、 $L=2$ km, $D_{PC}=800$ m の場合も傾きが大きいときには ϵ_2 が大きくなる。従って、平行区間法が適用できる範囲を $\epsilon_2 < 5\%$ として、 L と D_{PC} に関して限界曲線で表すと図 8 となる。この曲線は α_1 , α_2 の組合せによ

図 8 導体配置による 5% 計算誤差の限界

Fig. 8. Limitations of the calculation error at each arrangement.

て大きく変わるので、ここでは比較的厳しい条件について示している。すなわち、 a 曲線は S が P と C に交差する場合であり、誤差 5% 以内で計算できる L と D_{PC} の範囲は最も厳しい。 b は斜行の角度を若干変化させた場合であるが、この程度ではあまり変化がない。しかし、 P と交差する c と d の場合は斜行条件による影響がかなりある。 e は交差しない場合で、やはり計算誤差が大きくなる場合があるが、 f のように P と C から少し離れるだけで、図 8 で表した範囲内では誤差はすべて 5% 以内となる。

このように平行区間法は計算が簡単であり、他の遮へい導体も含めた総合遮へい係数を検討する際に役立ち得るという特長がある。また計算誤差については、斜行の角度が小さい場合に非常に良く近似できていると言える。交差するときには誤差が大きくなる場合も生じるので平行区間法の適用可能限界を明確にした。

(a) $L=2\text{ km}$, $D_{PC}=200\text{ m}$

(b) $L=2\text{ km}$, $D_{PC}=800\text{ m}$

(B点: $\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.7$)

図 9 各位置における遮へい係数

Fig. 9. Screening factor at each normalized distance.

更に、一般的な導体配置における遮へい係数の概略値をグラフィック表示から求める方法について検討したので、これについて以下に述べる。

〈4.2〉グラフィック表示から求める方法 図9は行列計算法により計算した遮へい係数を正規化距離 α_1 , α_2 の座標系でグラフィック表示したもので、(a)図は $L=2\text{ km}$, $D_{PC}=200\text{ m}$ の場合、(b)図は $L=2\text{ km}$, $D_{PC}=800\text{ m}$ の場合である。このように表すと全体的な傾向を把握しやすい。いま(b)図の条件で、 $\alpha_1=0.2$ ($D_1=160\text{ m}$) および $\alpha_2=0.7$ ($D_2=560\text{ m}$) であるとすると、この値に対応した座標平面の点Bとグラフィックス上の点Aを結んだ長さを原点($\lambda=0.6$)から測ることにより、遮へい係数($\lambda \approx 0.88$)を求めることができる。しかしながら、この二つの計算条件以外についても遮へい係数が求められないと意味がない。そこで、 $L=2\text{ km}$ のときの遮へい係数を求めた条件(α_1 , α_2 , D_{PC})と同一の条件として、他の誘導区間長 $L(\text{km})$ における遮へい係数を求めてプロットすると図10が得られる。この関係は $D_{PC}=800\text{ m}$ のときの数点を除いて、ほぼ直線で近似できる。

これらの関係(図4, 図9, 図10)を用いることにより、一般的な導体配置における遮へい係数を同図か

図 10 $L=2\text{ km}$ のときの遮へい係数と $L(\text{km})$ のときの遮へい係数の関係

Fig. 10. Relation between screening factor λ at $L(\text{km})$ and λ' at 2 km .

ら求めるための手順について、具体的な例を用いて説明する。

〔予測条件〕 $L=4\text{ km}$, $D_{PC}=500\text{ m}$ とし、 $D_1=100\text{ m}$, $D_2=350\text{ m}$ とする。

(1) $\alpha_1=100/500=0.2$, $\alpha_2=350/500=0.7$ を求める。

(2) 図9(b)から、 $\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.7$ に対応する遮へい係数を上述の例のように求めて、これを λ_8 とする($\lambda_8 \approx 0.88$)。

(3) 図9(a)から、 $\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.7$ に対応する遮へい係数を(2)項と同様に求めて、これを λ_2 とする($\lambda_2 \approx 0.832$)。

(4) 図4のような片対数グラフの上に、 800 m に対して λ_8 , 200 m に対して λ_2 をプロットして直線で結び、 $D_{PC}(500\text{ m})$ に対応する遮へい係数 λ' を求める($\lambda' \approx 0.864$)。なお、この値は次式で計算できる。

$$\lambda' = \frac{\log(D_{PC}/200)}{\log(800/200)}(\lambda_8 - \lambda_2) + \lambda_2 \dots\dots\dots (15)$$

(5) 図10を用いて横軸に λ' をとり、 $L(=4\text{ km})$ の線との交点から縦軸目盛り λ を読み取る($\lambda \approx 0.80$)。この値が予測条件に対する遮へい係数となる。

このようにして求めた遮へい係数は、図9の読取誤差や図4, 図10のように直線近似したことによって、若干の誤差が含まれると思われる。図11は $L=4\text{ km}$, $D_{PC}=500\text{ m}$ の場合について、 $\alpha_1=-0.2$, 0.4 および 1.0 における遮へい係数を上述した手順で求めた値をマークしたものであり、曲線は行列計算法による値を示している。同図から、 $\alpha_1=-0.2$ で $\alpha_2 \geq 1$, $\alpha_1=1$ で $\alpha_2 \leq 0$ のように、斜行の角度が大きいく、かつ交差している場合には、2~3%程度の差が認め

図 11 グラフィック表示から求めた遮へい係数

Fig. 11. Screening factor obtained by the use of the graphic representations.

られるが全般的にグラフィック表示から求める簡易計算法でも誤差が小さいと言える。この方法は鉄道レールに限らず適当な分布接地導体の遮へい係数をあらかじめ求めておき、上述したような図を用意しておけば、相互インピーダンスの計算など煩雑な計算を必要としないで、遮へい係数の概略値を求めることができる。このような取扱いは実務担当者が容易に運用することができ、大いに役立ち得るものと思われる。

5. ま と め

電力線と斜行している分布接地導体の遮へい係数について、鉄道レールを例としてその求め方について検討した。その結果、以下のような結論を得た。

(1) 行列計算法では、誘導区間を 40 程度に分割して、各々の区間を集中定数回路として扱うことにより、ほぼ厳密に遮へい係数を求めることができる。

(2) 斜行区間を平均離隔距離に相当する平行区間とおく平行区間法は、行列計算法と比較して計算が非常に簡単となり、他の遮へい導体も含めた総合遮へい

係数を検討する際に役立ち得るという特長がある。また、計算精度から考察すると分布接地導体が電力線や通信線と交差していない場合に有効であり、交差している場合でも条件によってはこの方法を十分適用できる。しかし、誤差が大きい場合もあるので 5 % 以下の誤差で計算できる限界を図 8 に明示した。

(3) グラフィック表示による方法は、行列計算法で求めた遮へい係数の三次元グラフィック表示と他の特性図を併用することにより、煩雑な計算をしないで遮へい係数を求めることができる。本論文で提案したこの方法は、容易に遮へい係数の概略値を求めることができるので、実務担当者にとって大変有効である。

終りに、本研究を進めるにあたって貴重な御助言を賜った電気学会・電子情報通信学会誘導調査特別委員会 龍 保夫委員長（東京理科大学教授）、酒井 洋（上智大学教授）、宮下一雄（法政大学教授）、井上幸雄（電中研電力システム部）はじめ委員各位に謝意を表します。

（昭和 62 年 3 月 19 日受付）

文 献

- (1) 電気学会・電子通信学会：「電磁誘導に関する最新の動向と課題」, p. 63 (昭 54-4)
- (2) 電気学会・電子通信学会：「情報化社会と省エネルギー時代の電磁誘導対策問題」, p. 99 (昭 58-7)
- (3) 雪平・宮崎・井上・辻本：「幹線道路ガードケーブルの電磁しゃへい効果」, 電学論 B, 104, 711 (昭 59)
- (4) 森・大矢：「電力線と斜行している分布接地導体によるしゃへい効果の取り扱い」, 昭 61 電気学会全大, No. 1134
- (5) 竹内：「電磁誘導電圧の簡易計算法」, 電学誌, 77, 1629 (昭 32)
- (6) 石川・清澤：「新幹線の異周波電源切替点における ATC 妨害の予測」, 鉄道技術研究報告, No. 1088, p. 21 (昭 53)
- (7) J. R. Carson: "Wave Propagation in Overhead Wires with Group Return", *Bell Syst. Tech. J.*, 5, 539 (1926)
- (8) 酒井・森・岸野：「多線系への四端子回路網理論の適用による AT き電回路の解析」, 電学論 B, 94, 351 (昭 49)
- (9) 酒井・森：「四端子回路網理論の多線系化と同軸ケーブルき電方式の回路解析」, 同上 B, 95, 315 (昭 50)