電磁誘導遮へいケーブルの端末接地に埋設地線を併用した場合の遮へい効果の解析的検討 ——埋設地線が電力線と斜行している場合——

正員 森 武 昭 (神奈川工科大)

正員 板 子 一 隆 (神奈川工科大)

正員 大 矢 征 (神奈川工科大)

正員 藤 井 正 視 (昭 電)

Analytical Study on Screening Effect of Shielded Cable for Electromagnetic Induction by Buried Straight Horizontal Wire with Vertical Ground Rod at the Terminal —— In the Case of Buried Straight Horizontal Wire Laid Obliquely for Power Line ——

Takeaki Mori, Member, Kazutaka Itako, Member, Susumu Ohya, Member (Kanagawa Institute of Technology), Masami Fujii, Member (Shoden Co. Ltd.)

As the method to reduce the induced voltage, the shielded cable with aluminum sheath and iron tape has been mainly used. In order to increase screening effect of the shielded cable, the grounding resistance at the terminal of the cable must be low. To obtain the low grounding resistance, the method using the buried straight horizontal wire with vertical ground rod at the terminal of the shielded cable is considered. Then, we carried out the theoretical analysis of screening effect for the shielded cable by buried straight horizontal wire laid parallel to the power line.

Now then, because of restriction of the site to lay the buried straight horizontal wire, it is often laid obliquely for the power line. Then, in this paper, the analysis method of screening effect by the wire laid obliquely for the power line and knowledges obtained from calculated results are clarified. Further, we propose the approximate calculation method of the shielding factor, which is useful in the practical design for grounding resistance.

キーワード：電磁誘導障害、遮へいケーブル、埋設地線、接地抵抗、遮へい係数

1. ま え が き

電力線の一線地絡事故時に近傍通信線へ生じる電磁誘導障害は電力系統の大容量化や長距離化、情報量の増大による通信線網の拡充などにより、ますます深刻な問題となってきた。電磁誘導対策は、主にアルミ被電磁誘導遮へいケーブル（以下、単に「遮へいケーブル」という）を用いる方法で行われてきている。この遮へいケーブルの遮へい効果を大きくするには、端末の接地抵抗値を小さくする必要がある。しかし、近年は送電線のルートが大地抵抗率の高い山岳地に立地される傾向が強まっており、高誘導電圧化とも相まって、ますます厳しい状況にある⁽¹⁾。その一対応策として、遮へいケーブルの端末接地として用いられている大地と垂直な棒状電極（ボーリングによる深埋設接

地を含む）に埋設地線を併用する方法が考えられる。そこで著者らは、その基礎的検討として、最も理想的な場合、すなわち埋設地線を外側（電力線からの誘導の影響を全く受けない区間）に設置した場合と内側（電力線と平行した区間）に設置した場合の遮へい効果の解析的検討を行い、その遮へい特性を明らかにした^{(2)~(4)}。

ところで、埋設地線は設置場所などの制約から、電力線からの誘導の影響を受ける区間に電力線と斜行した状態で設置されるケースが多いと考えられる。その場合、埋設地線の斜行角度によって、電力線から埋設地線への誘導の影響が異なってくる。従って、埋設地線の斜行角度の変化が遮へい効果にどのように作用するかを明らかにする必要がある。そのような実条件的な条件での遮へい特性に関する検討は従来行われていない。そこで著者らは、より実条件的な

条件として、埋設地線が電力線と斜行して設置される場合のモデルを設定し、その遮へい特性について解析的な検討を行った⁽⁵⁾。本論文では、このモデルに対する解析方法と計算結果から得られた知見を明らかにするとともに、実際の設計を行う際に役立つ近似値を得るための近似計算法を提案している。以下にこれらの内容について報告する。

2. 検討モデル

埋設地線が電力線と斜行して設置されている場合の検討モデルを図1に示す。同図において、各導体の大地帰路自己インピーダンス (Ω/km) および各導体間の大地帰路相互インピーダンス (Ω/km) は、電力線 P 、通信線 C 、遮へい層 S 、埋設地線 B_a 、 B_b として、これらの文字を添字として表現している。これらの値は Carson-Pollaczek の式より算出できる⁽⁶⁾⁽⁷⁾。また、 z_{Ba} 、 z_{Bb} は埋設地線の大地帰路自己インピーダンス (Ω/km) を示し、 y_{Ba} 、 y_{Bb} は埋設地線の対地アドミタンス (S/km) を示している。これらの値は文献(8)で示された計算式を用いて求める。なお、この式は、求める x と y が伝搬定数 γ の関数となっており、直ちに求めることができないので、数値計算により求める必要がある。また、 L は誘導区間長 (km)、 θ_a 、 θ_b は埋設地線の斜行角度 ($^\circ$) を示し、 R_a 、 R_b は遮へい層の両端の接地抵抗 (Ω) を示しており、大地と垂直な棒状電極を想定している。

図1 検討モデル
Fig. 1. Model for study.

以下に、このモデルにおける遮へい係数の解析方法を示す。

3. 解析方法

埋設地線は分布接地の状態にあるので、分布定数回路として取り扱う。図1の検討モデルをもとに、埋設地線 B_a 、 B_b に関する電圧・電流分布の基本式を求めると次式で表される。

$$(0 \leq x \leq L_a)$$

$$-\frac{d}{dx} V_{Ba}(x) = z_{Ba} I_{Ba}(x) + \frac{l_a}{L_a} z_{PBa}(d_{a1}) I_P + \frac{l_a}{L_a} z_{SBa}(d_{a2}) I_S \quad (1)$$

$$-\frac{d}{dy} I_{Ba}(x) = y_{Ba} V_{Ba}(x) \quad (2)$$

$$(0 \leq y \leq L_b)$$

$$-\frac{d}{dy} V_{Bb}(y) = z_{Bb} I_{Bb}(y) - \frac{l_b}{L_b} z_{PBb}(d_{b1}) I_P - \frac{l_b}{L_b} z_{SBb}(d_{b2}) I_S \quad (3)$$

$$-\frac{d}{dy} I_{Bb}(y) = y_{Bb} V_{Bb}(y) \quad (4)$$

埋設地線が斜行している場合には、(1)式の z_{PBa} 、 z_{SBa} は x 、(3)式の z_{PBb} 、 z_{SBb} は y の関数となるので、例えば(1)、(2)式の一般解は A 、 B を積分定数とすると次式となる。

$$V_{Ba}(x) = Ae^{\gamma_{Ba}x} + Be^{-\gamma_{Ba}x} - \frac{I_P l_a}{2L_a} \{ e^{\gamma_{Ba}x} \int z_{PBa}(d_{a1}) e^{-\gamma_{Ba}x} dx + e^{-\gamma_{Ba}x} \int z_{PBa}(d_{a1}) e^{\gamma_{Ba}x} dx \} - \frac{I_S l_a}{2L_a} \{ e^{\gamma_{Ba}x} \int z_{SBa}(d_{a2}) e^{-\gamma_{Ba}x} dx + e^{-\gamma_{Ba}x} \int z_{SBa}(d_{a2}) e^{\gamma_{Ba}x} dx \} \quad (5)$$

$$I_{Ba}(x) = -\frac{A}{Z_{Ba0}} e^{\gamma_{Ba}x} + \frac{B}{Z_{Ba0}} e^{-\gamma_{Ba}x} + \frac{I_P l_a}{2Z_{Ba0} L_a} \{ e^{\gamma_{Ba}x} \int z_{PBa}(d_{a1}) e^{-\gamma_{Ba}x} dx - e^{-\gamma_{Ba}x} \int z_{PBa}(d_{a1}) e^{\gamma_{Ba}x} dx \} + \frac{I_S l_a}{2Z_{Ba0} L_a} \{ e^{\gamma_{Ba}x} \int z_{SBa}(d_{a2}) e^{-\gamma_{Ba}x} dx - e^{-\gamma_{Ba}x} \int z_{SBa}(d_{a2}) e^{\gamma_{Ba}x} dx \} \quad (6)$$

ここで、

$$Z_{Ba0} = \sqrt{\frac{z_{Ba}}{y_{Ba}}} \quad (\Omega)$$

$$\gamma_{Ba} = \sqrt{z_{Ba} y_{Ba}} \quad (\text{Neper}/\text{km}, \text{rad}/\text{km})$$

(5)、(6)式における z_{PBa} 、 z_{SBa} は Carson-Pollaczek の式より与えられるが、厳密式は無限積分の形となっているため、以下に示す(7)~(10)式の端末条件を用いて解析解を得ることは困難であるので、ここではルンゲ・クッタ・ギル法により(1)~(4)式を数値計算して埋設地線の電圧・電流分布を求めることにする。

$$x=0 \quad -V_{Ba}(0)=\{I_{Ba}(0)+I_s\}R_a \quad \cdots\cdots(7)$$

$$x=L_a \quad I_{Ba}(L_a)=0 \quad \cdots\cdots(8)$$

$$y=0 \quad V_{Bb}(0)=\{-I_{Bb}(0)+I_s\}R_b \quad \cdots\cdots(9)$$

$$y=L_b \quad I_{Bb}(L_b)=0 \quad \cdots\cdots(10)$$

また、遮へい層に流れる電流 I_s は次式で表すことができる。

$$I_s = -\{R_a I_{Ba}(0) - R_b I_{Bb}(0) + z_{PS} I_P L + E_{SBa} - E_{SBb}\} / (z_s L + R_a + R_b) \quad (A) \quad \cdots\cdots(11)$$

ここで、 $z_s = r_0 + \Delta r + j\Delta x + jx_e$ 、 $\Delta r + j\Delta x$ ：遮へい層の付加インピーダンス (Ω/km) (I_s の大きさに依存する非線形要素⁽⁹⁾)、 r_0 ：遮へい層の直流抵抗分 (Ω/km)、 jx_e ：遮へい層の外部インピーダンス (Ω/km) で Carson-Pollaczek の式より求める

また、(11)式中の埋設地線から遮へい層への誘導起電力 E_{SBa} 、 E_{SBb} は次の式を数値計算することにより求められる。なお、今回の計算には比較的高い精度の得られるシンプソン法を用いた。

$$E_{SBa} = \int_0^{L_a} I_{Ba}(x) z_{SBa}(d_{a1}) dX \quad (V) \quad \cdots\cdots(12)$$

$$E_{SBb} = \int_{L-L_b}^L I_{Bb}(y) z_{SBb}(d_{b1}) dX \quad (V) \quad \cdots\cdots(13)$$

更に、埋設地線から通信線への誘導起電力を $E_{Cba}(=E_{SBa})$ 、 $E_{CBb}(=E_{SBb})$ とすれば、遮へい係数 λ は次式で表せる。

$$\lambda = 1 + \{z_{sc} I_s + (E_{Cba} - E_{CBb})/L\} / (z_{pc} I_P) \quad \cdots\cdots(14)$$

ここで、 $z_{sc} = \Delta r + j\Delta x + jx_e$

なお、 $\Delta r + j\Delta x$ は I_s に依存する非線形要素なので、(11)式が成立する $\Delta r + j\Delta x$ と I_s の関係を繰返し計算で求めた後、(14)式で遮へい係数を算出する。

以上の計算式を用いて、実際に電子計算機で遮へい係数を求めるためのプログラムの手順を図2に示す。これにより、各種の回路定数値における遮へい係数を計算することが可能となる。

4. 計算結果と検討

<4・1> 計算条件 図1の検討モデルにおいて、文献(1)のケーススタディーに基づき、誘導区間長 $L=4\text{ km}$ 、誘導電圧 $E=2,000\angle 0^\circ\text{ V}$ と想定し、周波数 $f=50\text{ Hz}$ とする。この誘導電圧を誘導制限電圧 (430 V) に抑制するために必要となる遮へい係数は 0.215 (430 V/2,000 V) である。大地抵抗率は、 $\rho=100\ \Omega\cdot\text{m}$ 、埋設地線と大地の接触アドミタンス Y_i (埋設地線の大地帰路自己インピーダンス z_{Ba} 、 z_{Bb} と対地アドミタンス y_{Ba} 、 y_{Bb} を決定するパラメータの一つ) は、 $Y_i^{-1}=250\ \Omega\cdot\text{m}$ を考慮した。また、埋設地線の断面積は 100 mm^2 とし、 $R_a=R_b$ 、 $L_a=L_b$ で左右対称とした。なお、今回の計算における埋設地線の斜行角度 θ_a 、 θ_b は、電力線から埋設地線への誘導の影響が小さくなり、遮へい効果の期待できる範囲として 0° から -90° に設定した。

<4・2> 計算結果 図3(a)、(b)に斜行角度 θ_a に対する遮へい係数 λ の特性を示す。以下に、これらから得

図2 計算流れ図
Fig. 2. Flowchart of calculation.

(a) $\rho=100\ \Omega\cdot\text{m}$, $R_a=10\ \Omega$

(b) $\rho=100\ \Omega\cdot\text{m}$, $R_a=1\ \Omega$

図3 θ_a に対する遮へい係数
Fig. 3. Shielding factor vs. θ_a .

られた知見を示す。

$\theta_a = 0^\circ$ と -90° における λ の値は文献(4)で検討したモデルすなわち、埋設地線を内側(電力線と平行した区間)に設置した場合と外側(電力線からの誘導の影響を全く受けない区間)に設置した場合の λ の値に対応している。これらの図から、 R_a が 1Ω 、 10Ω とともに斜行角度 θ_a が大きくなると、電力線から埋設地線への誘導の影響が小さくなり、遮へい効果の大きくなることが確認された。例えば、 L_a が $2,000\text{ m}$ の場合に $R_a = 10\Omega$ では、 $\theta_a = -60^\circ$ で所要の遮へい係数が得られるが、 $R_a = 1\Omega$ では、 $\theta_a = -45^\circ$ で所要の遮へい係数の得られることがわかる。

また、同図より、 θ_a に対する遮へい係数の変化はほぼ直線的になることが明らかとなった。ただし、 L_a が $2,000\text{ m}$ と長い場合には、 θ_a が $0 \sim -5^\circ$ の近くで λ は θ_a に対してほぼ一定となる。

これらの特性は大地抵抗率 ρ が $1,000\Omega\cdot\text{m}$ と高い場合でも同様となることを確認している。次節では、これらの遮へい特性を裏付けるための検討を行う。

〈4・3〉 遮へい特性についての検討 以下の検討では、 $I_P \gg I_S$ ($I_P = 8,344\text{ A}$ 、 $I_S = 40 \sim 170\text{ A}$) であり、遮へい層と埋設地線間の大地帰路相互インピーダンス z_{Sba} の大きさは、電力線と埋設地線間の大地帰路相互インピーダンス z_{Pba} の大きさに対して最大でも5倍程度であるので、埋設地線への誘導起電力は電力線からの誘導だけを考慮する。

いま、図1の検討モデルにおいて、 R_a 、 R_b からみた埋設地線をテブナンの定理を用いて等価電圧源として表すと、図4に示すような等価回路で表すことができる。図中の埋設地線 B_a に対する等価電圧 E_a 、等価インピーダンス Z_a は以下のようにして求めることができる。

まず、埋設地線は $x = L_a$ において開放状態となっているので、 R_a からみた長さ L_a の埋設地線のインピーダンス Z_a は次式で表される。

$$Z_a = Z_{Ba0} \coth \gamma_{Ba} L_a (\Omega) \quad (15)$$

次に、埋設地線の等価電圧 E_a は、(6)式に $I_{Ba}(0) = 0$ 、 $I_{Ba}(L_a) = 0$ の条件を用いて積分定数 A 、 B を求め、(5)式に代入して $E_a (= V_{Ba}(0))$ を求めると以下の式で表せる。ただし、(5)、(6)式に含まれる I_S の項は、前述した理由により無視している。

図4 等価回路
Fig. 4. Equivalent circuit.

$$E_a = \frac{I_a I_P}{L_a \sinh \gamma_{Ba} L_a} \int_0^{L_a} z_{Pba}(d_{a1}) \times \sinh \gamma_{Ba} (L_a - x) dx \quad (\text{V}) \quad (16)$$

埋設地線 B_b に対する等価電圧 E_b 、等価インピーダンス Z_b についても同様にして求めることができる。

ここで、回路条件が左右対称であることを考慮すると、図4の回路は図5で示すような簡単な等価回路で表すことができる。

左右対称であることを考慮した遮へい係数 λ は次式で表せる。ただし、 $E_{Cba} = E_{Sba}$ である。

$$\lambda = (z_{PC} I_P + z_{SC} I_S + 2E_{Cba}) / (z_{PC} I_P) \quad (17)$$

遮へい層電流 I'_S は図5より、次式で表せる。

$$I'_S = (2E_{ea} - z_{PS} I_P L - 2E_{Sba}) / (z_S L + 2Z_{ea}) \quad (\text{A}) \quad (18)$$

(18)式を(17)式に代入すると、次式が得られる。

$$\lambda' = \left(1 - \frac{z_{SC}}{z_S + 2Z_{ea}/L}\right) + \frac{z_{SC}}{z_S + 2Z_{ea}/L} \frac{2E_{ea}}{z_{PC} I_P L} + \left(1 - \frac{z_{SC}}{z_S + 2Z_{ea}/L}\right) \frac{2E_{Cba}}{z_{PC} I_P L} \quad (19)$$

いま、

$$A = \frac{z_{SC}}{z_S + 2Z_{ea}/L}, \quad B = \frac{2E_{ea}}{z_{PC} I_P L}, \quad C = \frac{2E_{Cba}}{z_{PC} I_P L}$$

とおけば、(19)式は次式で表せる。

$$\lambda' = (1 - A) + AB + (1 - A)C \quad (20)$$

以上の結果をもとに、前節の遮へい特性を裏付ける検討を行う。

(20)式において、第1項 $(1 - A)$ は、埋設地線が誘導の影響を全く受けない場合の誘導電圧 E に対する遮へい係数を表す。すなわち、 A は1に近いほど遮へい効果の良くなることを表し、遮へい層電流 I_S に依存して付加インピーダンスが若干変化するため、斜行角度 θ_a に対して幾分変化を示すが、大きさは1に近い値 ($0.8 \sim 0.9$ 、 $7 \sim 8^\circ$ 程度) でほぼ一定とみなして差し支えない。従って、 $(1 - A)$ は0に近い値で θ_a に対してほぼ一定とみなせる。

第2項は、電力線から埋設地線への誘導の影響を表す項で、 B は電力線から埋設地線への誘導によって生じる図5

$$\begin{aligned} Z_{ea} &= Z_{eb}, \quad E_{ea} = -E_{eb}, \quad E_{Sba} = -E_{Sbb} \\ E_{ea} &= \frac{R_a}{R_a + Z_a} E_a (\text{V}), \quad Z_{ea} = \frac{R_a Z_a}{R_a + Z_a} (\Omega) \\ E_{eb} &= \frac{R_b}{R_b + Z_b} E_b (\text{V}), \quad Z_{eb} = \frac{R_b Z_b}{R_b + Z_b} (\Omega) \end{aligned}$$

図5 等価回路 (図1において対称回路の場合)
Fig. 5. Equivalent circuit (in case of symmetric circuit in Fig. 1.).

図 6 θ_a に対する E_a の特性
Fig. 6. E_a vs. θ_a .

図 7 θ_a に対する (20) 式の各項の特性
Fig. 7. Each term of Eq. (20) vs. θ_a .

の ac 端子間の等価電圧 $2E_{ea}$ を誘導電圧 E で基準化したものである。第 2 項はこの B が A という割合で λ に影響を与えることを示している。 A は前述したように、1 に近い値であるから $AB \approx B$ とみなせる。 B は図 5 に示したように埋設地線の等価電圧 E_a に比例する。(16) 式を用いて E_a の θ_a に対する特性を計算すると、図 6 に示すように、 θ_a に対してほぼ直線的な特性となる。従って、第 2 項は θ_a に対してほぼ直線的に変化する。

第 3 項は、埋設地線から通信線への誘導の影響を表す項で、 C は埋設地線から通信線への誘導起電力 $2E_{cba}$ を誘導電圧 E で基準化したものである。第 3 項は、この C が $(1-A)$ という割合で λ に影響を与えることを示している。 C は B に対して十分小さく、 $(1-A)$ は 0 に近いのでこの項は無視して差し支えない。

図 7 に (20) 式の θ_a に対する各項の特性の一例を示す。同図より、 $(1-A)$ は θ_a に対して幾分変化するが、ほぼ一定とみなすことができ、 $(1-A)C$ の項は無視して差し支えないことがわかる。また、 AB は θ_a に対してほぼ直線的に変化することがわかる。なお、 θ_a が $0 \sim -5^\circ$ の近くで λ がほぼ一定となる原因は、同図からわかるように $(1-A)C$ の項がわずかながら影響しているためである。

以上より、遮へい係数 λ の θ_a に対する直線的な特性は (20) 式の第 2 項、すなわち埋設地線の等価電圧 E_a の特性に依存していることが明らかとなった。

5. 近似計算法

本解析方法により、埋設地線が電力線と斜行した場合の遮へい係数 λ を求めることが可能となったが、本計算方法は数値計算によるところが多く、計算時間がある程度必要となる。これは、実務担当者が実際に設計を行う際に不都合であると考えられる。そこで、以下にこれまでの計算結果から得られた知見を踏まえて、実際の設計を行う際に役立つ近似値を得るための近似計算法を提案する。

すなわち、前章までの検討より、遮へい係数 λ は斜行角度 θ_a に対してほぼ直線的に変化することが明らかとなっているので、 θ_a が 0° と -90° のときのそれぞれの遮へい係数 λ_0 と λ_{90} を厳密計算により求め、直線近似によって θ_a に対する遮へい係数 λ_a を以下の式より求める。

$$\lambda_a = (\lambda_{90} - \lambda_0) |\theta_a| / 90 + \lambda_0 \quad (21)$$

$\theta_a = 0^\circ$ と -90° における λ の厳密解は、文献 (4) で検討したモデル、すなわち埋設地線を内側（電力線と平行した区間）に設置した場合と外側（電力線からの誘導の影響を全く受けない区間）に設置した場合の λ の値に対応している。従って、本近似計算法では、本論文で示した複雑な計算を行う必要がなく、文献 (4) で報告した解析方法を用い、その計算結果から (21) 式を用いて遮へい係数の近似値を簡単に得ることができる。

ところで、本近似計算法は遮へい係数 λ の θ_a に対する直線的な特性が前提となっている。この λ の特性は埋設地線の等価電圧 E_a に依存することが明らかになっている。 E_a は (16) 式より明らかなように、電力線と埋設地線の間の大地帰路相互インピーダンスの特性に依存するので両導体間の水平離隔距離 D に影響を受ける。従って、実際の D の範囲における本近似計算法の適用範囲を知る必要がある。誘導電圧 1,500 V 以上の事例では、 D の頻度は 0.3~1.0 km に集中しており、約 70% 以上がこの範囲内となっている⁽¹⁾。そこで、 $D=0.3, 0.5, 1.0$ km を考慮し、その場合の厳密値と近似計算法による近似値を用いて (22) 式により求めた誤差 ϵ を図 8(a)~(c) に示す。

$$\epsilon = \left(\frac{\text{近似計算による } \lambda_a}{\text{厳密計算による } \lambda} - 1 \right) \times 100(\%) \quad (22)$$

これらの図より、 D が 0.3 km の場合には ϵ は R_a が 10 Ω で L_a が 2,000 m と長い場合に最大 5% となっているが、 $\epsilon > 0$ となっており、近似値は厳密値より大きくなるので、遮へい係数の予測計算という見地からすると、安全側であるといえる。 $\epsilon < 0$ となり近似値が厳密値に対して小さくなる危険側では、 R_a が 1 Ω で L_a が 2,000 m の場合に最大 3.0% であり、全体として良く近似できているといえる。一方、 D が 0.5 km, 1.0 km と長くなると、 R_a が 10 Ω の場合 ϵ は安全側で最大 10% 程度となり、危険側では

(a) $D=0.3$ km

(b) $D=0.5$ km

(c) $D=1.0$ km

図 8 近似計算法の誤差
Fig. 8. Approximation error.

最大6.0%となり、 D が0.3 kmの場合より幾分精度は悪くなる。しかし、いずれも ε が10%以下の近似となっており、この種の誘導計算の性質からして、この程度の精度があれば実用上十分役立ち得るものと思われる。なお、大地抵抗率 ρ が1,000 $\Omega\cdot\text{m}$ と高い場合でも、本近似計算法を用いて同様の精度の近似値が得られることを確認している。

6. 結 論

本論文では、遮へいケーブルの端末接地に埋設地線を併

用する方法において、埋設地線が電力線と斜行している場合の遮へい係数の解析方法と遮へい特性について検討した。

その結果、以下の結論を得た。

(1) 埋設地線が電力線と斜行した場合の遮へい係数の解析方法を明らかにした。これにより、任意の回路定数値における遮へい係数を求めることが可能となった。

(2) 埋設地線の斜行角度 θ_a が大きくなると、電力線から埋設地線への誘導の影響が小さくなり、遮へい効果の大きくなることが確認された。また、 θ_a に対する遮へい係数の特性はほぼ直線的になることが明らかとなった。

(3) 遮へい係数の θ_a に対する直線的な特性は、接地抵抗 R_a 、 R_b からみた埋設地線をテブナンの定理を用いて等価電圧源としたときの等価電圧 E_a （電力線から埋設地線の誘導によって生じる）が θ_a に対してほぼ直線的に変化することに起因していることが明らかとなった。

(4) 実際の設計を行う際に役立つ近似値を得るための近似計算法を提案した。すなわち、 θ_a に対する遮へい係数の直線的な特性を利用し、 θ_a が 0° と -90° のときのそれぞれの遮へい係数 λ_0 と λ_{90} を厳密計算により求め、直線近似によって θ_a に対する遮へい係数の近似値 λ_a を求める。この方法では、本論文で示した複雑な計算を行う必要がなく、文献(4)で報告した解析方法を用い、その計算結果から遮へい係数の近似値を簡単に得ることができる。その誤差は10%以下となっており、この種の誘導計算の性質からして、この程度の精度があれば実用上十分役立ち得るものと思われる。

(平成7年6月29日受付, 同7年9月18日再受付)

文 献

- (1) 「電磁誘導対策の考え方とその最新技術」, 電気学会・電子情報通信学会誘導調査特別委員会報告書 (昭62-9)
- (2) 森・板子・大矢・藤井: 「埋設地線による電磁誘導遮へいケーブルの遮へい効果の解析 (その1: 埋設地線が非誘導区間にある場合)」, 平6電気学会全大, No. 1285
- (3) 森・板子・大矢・藤井: 「埋設地線による電磁誘導遮へいケーブルの遮へい効果の解析 (その2: 埋設地線が電力線と平行している場合)」, 平6同上, No. 1286
- (4) 森・板子・大矢・藤井: 「電磁誘導遮へいケーブルの端末接地に埋設地線を併用した場合の遮へい効果の解析に関する基礎的検討」, 電学論 B, 114, 852 (平6-9)
- (5) 森・板子・大矢・藤井: 「埋設地線を併用した電磁誘導遮へいケーブルの遮へい効果の解析—埋設地線が電力線と斜行している場合—」, 平7電気学会全大, No. 1685
- (6) J. R. Carson: "Wave propagation in overhead-wires with ground return", *Bell Syst. Tech. J.*, 5, 539 (1926)
- (7) F. Pol'aczek: "Über das Feld einer unendlich langen wechselestromdurchflossenen Einfach-Leitung", *E. N. T.*, 3, 339 (1926)
- (8) E. D. Sunde: *Earth Conduction Effects in Transmission Systems*, p. 140 (1967) Dover
- (9) 森・大矢・井上: 「高電磁誘導電圧が予測される通信線に対する対策法とその対策効果の解析方法」, 電学論 B, 107, 333 (昭62-7)

森 武 昭 (正員) 1944年9月6日生。1969年芝浦工業大学工学研究科電気工学専攻修士課程修了。1970年上智大学理工学部電気電子工学科助手。1981年幾徳工業大学(現、神奈川工科大学)電気工学科講師, 1983年同助教授, 1987年同教授, 現在に至る。工学博士。電力線からの誘導障害, 電力線の高調波などの研究に従事。電気設備学会, IEEE 会員。

大 矢 征 (正員) 1942年3月19日生。1964年日本大学工学部電気工学科卒業。同年幾徳工業高等専門学校助手。現在, 神奈川工科大学助教授。工学博士。電気設備の接地技術, 電磁環境に関する研究に従事。電気設備学会, IEEE 会員。

板 子 一 隆 (正員) 1966年6月10日生。1991年日本大学大学院工学研究科博士前期課程電気工学専攻修了。同年神奈川工科大学工学部電気電子工学科助手, 現在に至る。電力機器の高調波低減対策, 電力線からの誘導障害などの研究に従事。電気設備学会, IEEE 会員。

藤 井 正 視 (正員) 1927年1月23日生。1943年秋田工卒業。現在, (株)昭電アイシシステム部長。深埋設低抵抗接地工法の開発と実用化により, 1981年オーム技術賞, 1982年渋沢賞, 1985年科学技術庁長官賞, 1986年黄綬褒章, 1995年オーム技術賞受賞。