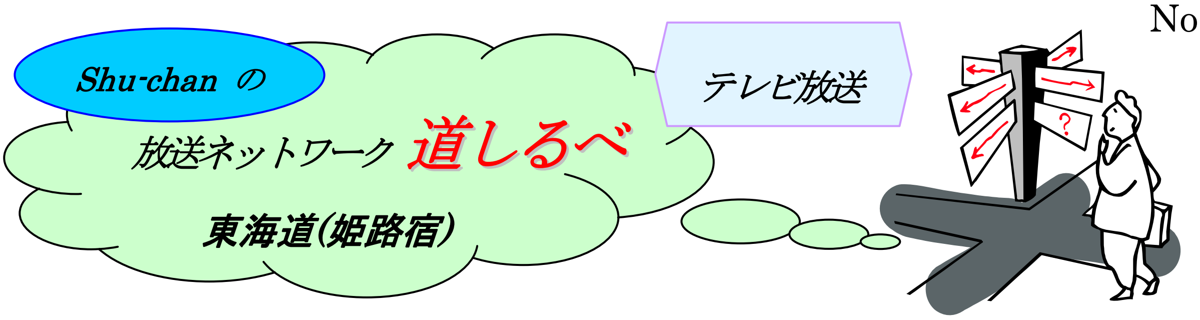
No149



＜建造物障害予測技術 その９：予測技術の基礎３＞
（自由空間におけるしゃへい電界のフレネル積分による解析１）

建造物におけるしゃへい障害の解析のため、自由空間におけるしゃへい電界と平面大地におけるしゃへい電界とを学びましょう。

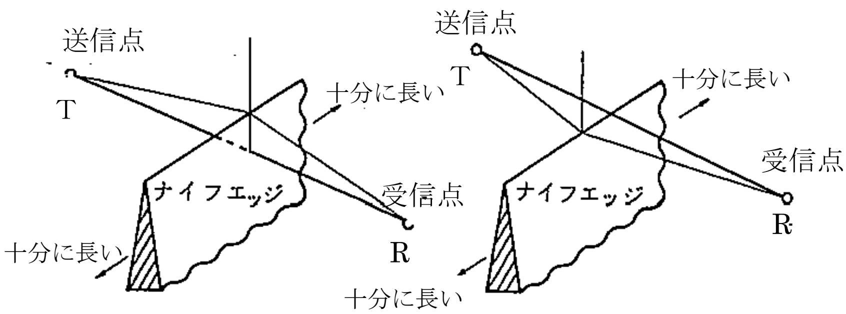
今回は、まず、自由空間におけるしゃへい電界について解説します。

☆　見通しの状況と電界強度

いま、図１ａのように自由空間の送信点Ｔと受信点Ｒを結ぶ直線をしゃへいする位置に十分長いナイフエッジを置いたとき、受信点 Ｒ での電界強度はどうなるでしょうか？

受信点の電界強度は必ずしも０とはなりません。

それは、電波の一部はナイフエッジの上端で回折し受信点に達するからです。



a　送・受信点が見通し外　　b　送・受信点が見通し内

図１　電波のしゃへい

また一方、図１ｂ のように送信点と受信点を結ぶ直線をしゃへいしない位置にナイフエッジを置いても、受信電界強度は自由空間での電界強度 E_0 には必ずしも一致せず、E_0 の前後の値をとります。このナイフエッジを上下に動かすと受信点での電界強度は、図２のようになります。この図からもわかるようにナイフエッジによるしゃへが大きく、送･受信点が見通し外になれば受信点での電界強度は小さく、ナイフエッジの上端が送・受信点を結ぶ直線上の見通し点にあるときは

1／2 に、また、送・受信点が見通し内になると電界強度は振動しながら自由空間電界強度に収れんし、その後、ナイフエッジの影響は無視されるようになります。

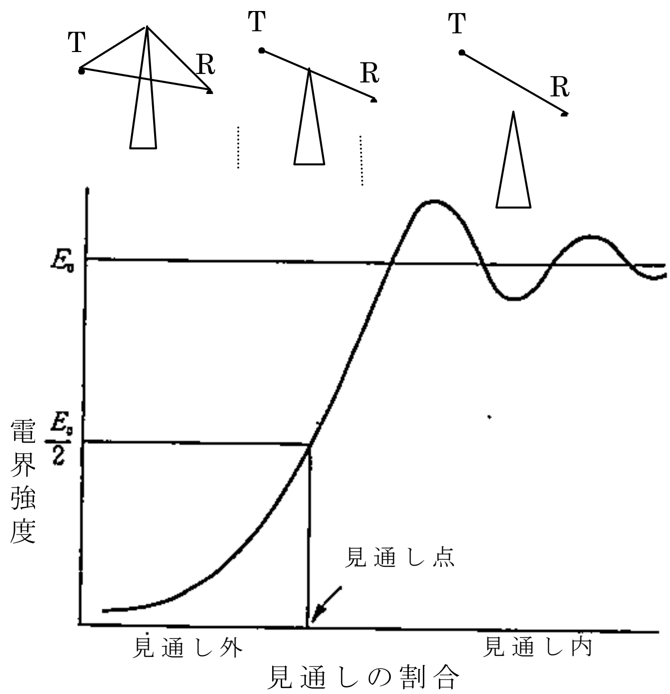


図 2　見通しの割合による電界強度の変化

☆　自由空間での電界強度

電波は、送信点と受信点間の広がりのある空間を伝ぱんします。自由空間での電界強度 E_0 は、図 3 に示すように送信点から各経路を経由して受信点に達する全ての電波を位相合成したものと考えることができます。

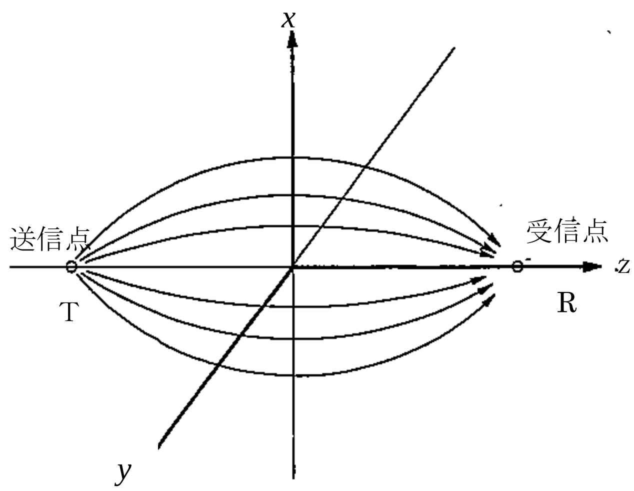


図 3　　電波の経路

いま、図 4 に示すように送・受信点間を結ぶ最短経路 TR 上のある地点 Q と直角に交わる断面 $a—a'$ を考えます。

断面上のある点 P を通る電波の経路長 TPR（$=l_1+l_2$）は、

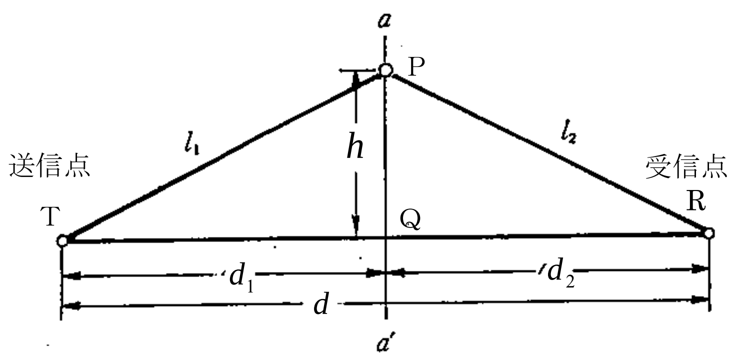


図 4　　最短経路との経路長差

$$l_1 + l_2 = \sqrt{d_1^2 + h^2} + \sqrt{d_2^2 + h^2} \fallingdotseq d_1 + \frac{h^2}{2d_1} + d_2 + \frac{h^2}{2d_2} \qquad \cdot\cdot\cdot (149-1)$$

で近似できます。

この経路長と最短経路を通る電波の経路長 TQR（$= d_1 + d_2$）との差は

$$\Delta l = (l_1 + l_2) - (d_1 + d_2) \fallingdotseq \left(\frac{1}{2d_1} + \frac{1}{2d_2} \right) h^2 = \frac{d_1 + d_2}{2d_1 d_2} h^2 \qquad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (149-2)$$

となり、これに対応する位相差 θ は、電波の波長を λ（m）とすると次式で与えられます。

$$\theta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta l = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} h^2 = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \left(h_x^2 + h_y^2 \right) \qquad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (149-3)$$

この位相差 θ を考慮して、図 3 の x—y 平面を通る全ての電波を位相合成すると自由空間での電界になります。

d_1 および d_2は、h に比べて十分大きいので、各経路を通る電波の電界強度は最短距離のそれと等しいものとして扱うことができ、合成電界は、位相差のみを考えれば良いことになります。この考え方は、送・受信点間のある断面を通過する電波、すなわち、しゃへい電界のフレネル積分による電界を求める基本となります。

いま、図 4 において点 P 周辺の単位面積を通る電波による電界を

$$\Delta \dot{E}_0 \fallingdotseq \Delta E e^{-j(\frac{2\pi}{\lambda} d + \theta)} \qquad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (149-4)$$

と仮定すると、断面を通る全ての電波を位相合成して得られる電界は、図 3 に示す x 軸全方向と y 軸全方向の－∞から＋∞の空間の電波を積分した次式となります。

$$\dot{E}_0 = (\Delta E \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\theta_x} dh_x \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\theta_y} dh_y) e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} d} \qquad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (149-5)$$

ここで、$\theta_x = \theta_y = t^2$　とおくと（149－5）式は、

$$\dot{E}_0 = \left\{ \sqrt{\frac{j}{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jt^2} dt \right\}^2 \dot{E}_0 = \left\{ \Psi_{(-\infty)} \right\}^2 \dot{E}_0 = \dot{E}_0 \quad \cdots\cdots\cdots (149-6)$$

ただし、$\theta_x = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} h_x^2$　　$\theta_y = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} h_y^2$　　$\Psi_{(x)} = \sqrt{\frac{j}{\pi}} \int_{x}^{\infty} e^{-jt^2} dt$

となり自由空間の電界が求められます。

☆　しゃへい物越えの電界強度

図５に示すように、送信点と受信点間に横幅が無限大のしゃへい物（ナイフエッジ）がある場合、合成する電波の経路はナイフエッジ上方部分(a～+∞）となり、ナイフエッジ後方の受信点における受信電界強度[V/m]は。次式で求められます。

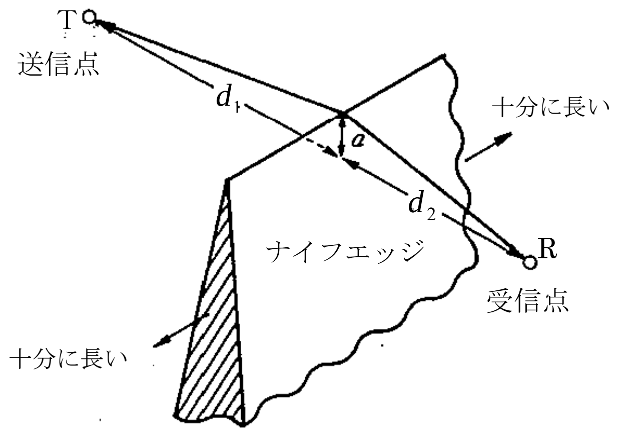


図５　ナイフエッジによるしゃへい

$$\dot{E} = \sqrt{\frac{j}{\pi}} \int_{x_a}^{\infty} e^{-jt^2} dt \cdot \dot{E}_0 = \Psi(x_a) \cdot \dot{E}_0 \quad \cdots\cdots\cdots (149-7)$$

ただし　　$x_a = \sqrt{\frac{\pi(d_1 + d_2)}{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}} \cdot a$　:しゃへい係数

$\Psi(x_a)$：フレネル積分によるしゃへい率

$$\dot{E}_0 = -j \frac{7\sqrt{P_e}}{d_1 + d_2} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(d_1 + d_2)}$$　：自由空間電界強度

ナイフエッジが送・受信点を結ぶ最短経路より下側にあるとき、a の値は負数になり、また、上側にあるときは正数になります。

この　$\Psi(x)$を単にフレネル積分ともいいます。