



< 建造物障害予測技術 その17：しゃへい障害 5 >  
(しゃへい障害予測実用式 その2)

前回 No156 にて掲載した実用式を誘導した経過を、今回の No157 ならびに次回の No158 の 2 回にわたり簡単に説明します。

☆ 原理式と実用式の再掲

まず、原理式と実用式を再掲します。

[原理式]

$$SL \doteq -20 \log \left| \frac{\dot{\Gamma}_{(H)} \dot{B} \Psi(x_{a_1}) \left( e^{j\theta_r'} + \dot{R}_1 e^{-j\theta_r'} \right)}{\dot{\Gamma}_{(h_2)} \left( e^{j\theta_r} + \dot{R} e^{-j\theta_r} \right)} + (1 - \dot{B}) \right| \dots (155-4)$$

と表わされます。

$$\left| \frac{e^{j\theta_r'} + \dot{R}_1 e^{-j\theta_r'}}{e^{j\theta_r} + \dot{R} e^{-j\theta_r}} \right| = E_{x_1} \doteq \frac{2S_1}{2S} \quad \left| \frac{\dot{\Gamma}_{(H)}}{\dot{\Gamma}_{(h_2)}} \right| = E_{x_2} \quad E_x \doteq E_{(x_1)} \cdot E_{(x_2)}$$

ただし、

$$2S = 2 \left| \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right| \quad 2S_1 = 2 \left| \sin \frac{2\pi h_1 H}{\lambda d_1} \right|$$

と置くと、(155-4) 式は、

$$SL \doteq -20 \log \left| E_x \Psi(x_{a_1}) \dot{B} + (1 - \dot{B}) \right| \dots (155-5)$$

となります。

[実用式]

$$\begin{aligned} \text{障害予測距離 } D_2 &= \frac{1}{\frac{1}{d_2'} + \frac{1}{d_{20}}} \text{ [m]} \\ &= \frac{1}{6 \left\{ \frac{E_x^2 W}{H - h_2} + \frac{16(H - h_2)}{W} \right\} \cdot 10^{\frac{SL}{10}} + \frac{h_1 - H}{(H - h_2)d_1}} \dots (156-1) \end{aligned}$$

$$\text{障害幅 } W_0 = W + \sqrt{D_2} / 2 \quad \text{[m]} \quad \dots (156-2)$$

ただし、

$d_2'$  : 電波が水平(仰角  $\delta_v = 0^\circ$ )に到来したときのしゃへい障害距離 (m)

$d_{20}$  : 光学的なしゃへい距離(m)

$W$  : 建造物実効横幅(m)

$H$  : 建造物の高さ(m)

$h_1$  : 送信アンテナ高 (m)

$h_2$  : 受信アンテナ高 (m)

$f$  : 受信周波数 (MHz)

$SL$  : しゃへい損失 (dB)

$d_1$  : 送信点・建造物間距離 (m)

$E_x \doteq E_{(x_1)} \cdot E_{(x_2)}$  (No158にて詳細に説明します。)

$E_{(x_1)}$  : 建造物頂部と受信点での大地反射波による位相合成率の比

$E_{(x_2)}$  : 受信点に建造物頂部を経由してくる電波の都市減衰率と建造物がないときの電波の都市減衰率の比

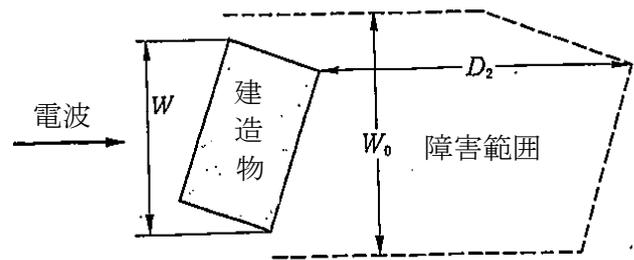


図1 しゃへい障害範囲

☆ 障害距離  $D_2$  を求める ((156-1)式の誘導のしかた)

★ 電波が水平に入射したときの障害距離  $d_2'$

まず、電波が水平に入射したときの障害距離  $d_2'$  を求め、その後、電波がビル頂部に仰角  $\delta_v$  で入射したときの障害距離  $D_2$  を求める手順をとります。この  $D_2$  を求める手法を「仰角補正」と呼びます。

- ① 図2においてyをしやへい高とし、また、 $d_1 \gg d_2$  という条件を入れると、しやへい係数  $x_y$  は次式となります。

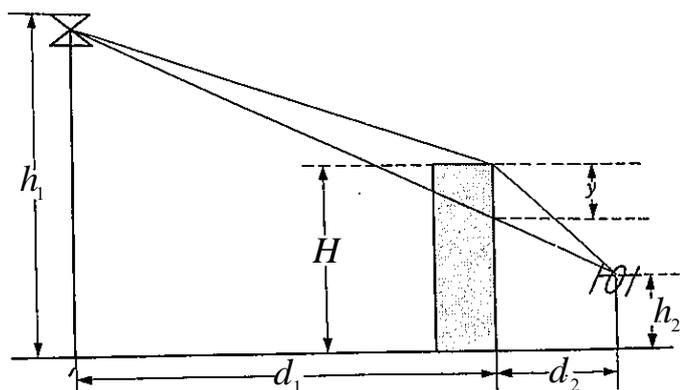


図2 しやへい障害範囲

$$x_y = \sqrt{\frac{\pi \cdot d_1 + d_2}{\lambda \cdot d_1 d_2}} y \doteq \sqrt{\frac{\pi}{\lambda d_2}} y \quad \dots \dots \dots (157-1)$$

$x_y > \frac{\sqrt{\pi}}{2}$  、すなわち  $y > \frac{\sqrt{\lambda d_2}}{2}$  という条件が成り立つものとする、

$$|\Psi(x_y)| \doteq \frac{1}{k_t x_y} \doteq \frac{1}{k_t} \sqrt{\frac{\lambda d_2}{\pi}} \frac{1}{y} \quad \dots \dots \dots (157-2)$$

$k_t$  は表1に示す近似式の定数 3.55~4 である。

表1 フレネル積分の  $S(x)$  の代数近似式 (抜粋)

- ② 大地反射波および都市減衰の影響を考慮したビル建築前の都市内の受信電界  $\dot{E}$  は、次式により表わされます。

使用領域	$S(x)$
$1 \leq x < 2$	$\frac{1}{4x}$
$2 \leq x$	$\frac{1}{3.55x}$

$$\dot{E} = \dot{\Gamma}_{(h_2)} \left( e^{j\theta_r} + R e^{-j\theta_r} \right) \dot{E}_0 \quad \dots \dots \dots (157-3)$$

また、ビルが建築されたときの受信電界  $\dot{E}_L$  は、次式により表わされます。

$$\dot{E}_L = \left\{ \dot{\Gamma}_{(H)} \dot{B} \dot{A}_{(1 \sim 4)} + \dot{\Gamma}_{(h_2)} \left( 1 - \dot{B} \right) \left( e^{j\theta_r} + R e^{-j\theta_r} \right) \right\} \dot{E}_0 \quad \cdot \quad (157-4)$$

(157-4)式の第1項は、ビルの上側面から到来する電波による受信電界  $\dot{E}_h$ 、第2項は、ビルの両側面から到来する電波による受信電界  $\dot{E}_b$  を示します。

③  $\dot{E}_h$  とビル建築前の受信電界  $\dot{E}$  との比の絶対値は、ビルの高さによるしゃへい率  $L_h$  となります。

$$L_h = \left| \frac{\dot{E}_h}{\dot{E}} \right| = \left| \frac{\dot{\Gamma}_{(H)} \dot{B} \dot{A}_{(1\sim4)}}{\dot{\Gamma}_{(h_2)} (e^{j\theta_r} + R e^{-j\theta_r})} \right| \dots \dots \dots (157-5)$$

(157-5) 式に次の式を代入すると、(157-6) が得られます。

$$\left| \frac{\dot{\Gamma}_{(H)}}{\dot{\Gamma}_{(h_2)}} \right| = E_{x_2} \quad , \quad \left| \frac{\dot{B} \dot{A}_{(1\sim4)}}{e^{j\theta_r} + R e^{-j\theta_r}} \right| \doteq E_{x_1} \cdot \Psi(x_y) \cdot \dot{B}$$

$$L_h \doteq \left| E_{x_1} \cdot E_{x_2} \cdot \Psi(x_y) \cdot \dot{B} \right| \dots \dots \dots (157-6)$$

ここで、 $b_1 = b_2 = W/2$  とし、かつ  $x_{\frac{W}{2}} > \sqrt{\pi}/2$  となる領域を仮定すると、 $\dot{B}$  は次式となります。

$$\dot{B} = \{1 - \Psi(x_{b_1}) - \Psi(x_{b_2})\} \doteq 1$$

したがって、水平入射という条件で、振動をなくしたしゃへい率

$$\bar{L}_h \doteq |E_x \Psi(x_y)| = |E_x \Psi(x_{H-h_2})| \doteq \frac{E_x}{k_t(H-h_2)} \cdot \sqrt{\frac{\lambda d_2}{\pi}} \dots \dots (157-7)$$

ただし、 $E_x \doteq E_{x_1} \cdot E_{x_2}$

④ ビルの両側面から到来する電波による受信電界  $\dot{E}_b$  は、次式になります。

$$\dot{E}_b = \dot{\Gamma}_{(h_2)} (1 - \dot{B}) (e^{j\theta_r} + R e^{-j\theta_r}) \dot{E}_0 = (1 - \dot{B}) \dot{E} = \{\Psi(x_{b_1}) + \Psi(x_{b_2})\} \dot{E} \dots \dots \dots (157-8)$$

$\dot{E}_b$  の振動する項を平均化した受信電界強度  $\bar{E}_b$  を  $b_1 = b_2 = W/2$  としたときの電界強度  $\dot{E}_{b_0}$  で表わすと次式となります。

$$\bar{E}_b \doteq k_w E_{b_0} = k_w \left| 2\Psi\left(x_{\frac{w}{2}}\right) \dot{E} \right| \doteq 2 \frac{k_w}{k_t} \cdot \sqrt{\frac{\lambda d_2}{\pi}} \cdot \frac{2}{W} \left| \dot{E} \right| = \frac{4k_w}{k_t W} \sqrt{\frac{\lambda d_2}{\pi}} \left| \dot{E} \right|$$

ただし、 $k_w$  は、 $\bar{E}_b$  を  $\dot{E}_{b_0}$  に変換する定数で、実測から求めます。

したがってビルの実効横幅  $W$  によるしゃへい率  $\bar{E}_b$  (振動をなくした値) は次式となります。

$$\bar{L}_b = \frac{\bar{E}_b}{\left| \dot{E} \right|} = \frac{4k_w}{k_t W} \sqrt{\frac{\lambda d_2}{\pi}} \quad \dots \dots \dots (157-9)$$

⑤ ビル上側面と両側面からの到来する電波による振動をなくした受信電界強度とビル建築前の受信電界強度との比  $\bar{L}$  (振動をなくしたしゃへい率) は、ビルの高さによるしゃへい率  $\bar{L}_h$  とビルの実効横幅  $W$  によるしゃへい率  $\bar{L}_b$  の電力和として次式で近似できます。

$$\bar{L} = \sqrt{\left(\bar{L}_h\right)^2 + \left(\bar{L}_b\right)^2}$$

⑥ よって、電波が水平 (仰角  $\delta_v = 0$ ) に入射したときのしゃへい率  $L$  は、次式により求められます。

$$\bar{L} = \sqrt{\left(\frac{E_x}{k_t(H-h_2)} \cdot \sqrt{\frac{\lambda d_2'}{\pi}}\right)^2 + \left(\frac{4k_w}{k_t W} \sqrt{\frac{\lambda d_2'}{\pi}}\right)^2} = \sqrt{\frac{\lambda d_2'}{k_t^2 \pi} \left\{ \left(\frac{4k_w}{W}\right)^2 + \left(\frac{E_x}{H-h_2}\right)^2 \right\}} \quad \dots \dots \dots (157-10)$$

(157-10)式から  $d_2'$  をもとめると

$$d_2' = \frac{k_t^2 \pi}{\lambda} \cdot \frac{W(H-h_2)}{\frac{E_x^2 W}{H-h_2} + \frac{16k_w^2 (H-h_2)}{W}} \cdot \bar{L}^2$$

ここで、 $\lambda = \frac{300}{f}$ 、 $k_t = 4$ 、 $k_w = 1$   $f$  は受信周波数(MHz)  
 とすれば、次式が得られます。

$$d_2' \doteq \frac{fW(H-h_2)}{6\left\{\frac{E_x^2 W}{H-h_2} + \frac{16(H-h_2)}{W}\right\}} \cdot 10^{\frac{-SL}{10}} \dots \dots \dots (157-11)$$

ただし、 $\bar{L}^2 = 10^{\frac{-SL}{10}}$   $SL = -20 \log \bar{L}$

今回は、実用式を誘導する経緯に関して、電波が水平（仰角 0 度）に入射したときの  $d_2'$  をもとめるところまでを解説しました。次回は、電波が仰角  $\delta_v$  でビル頂部に入射したときの障害距離  $D_2$  となる考え方に関して解説します。