

＜建造物障害予測技術 その25：反射障害6＞

(反射障害予測計算の実用式1)

図1に示すようなビルに入射した電波は、ビルの2つの反射面1および2で光があたかも鏡で反射するかのように反射します。これを「光学的な方向の反射」といいます。また、ビルに入射した電波の一部は、反射面の凹凸により電波が入射した方向とは反対の方向にも反射します。これを「入射方向の反射」といいます。

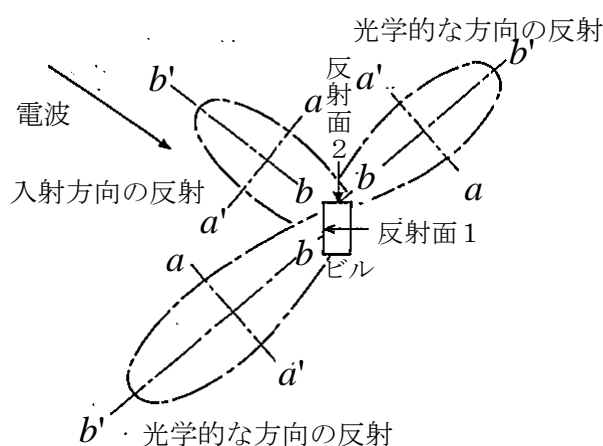


図1 反射障害の範囲 (平面図)

☆ 反射障害地域における DU 比の分布

光学的な方向ならびに入射方向に反射した電波の反射障害地域の各地点における DU 比は、前回 No164 の (164-5) 式より求めることができます。

この式を使用してそれぞれの地域を横断する $a-a'$ 線上および反射方向中心線上の $b-b'$ 線上の距離に対して、反射障害の程度を示す DU 比

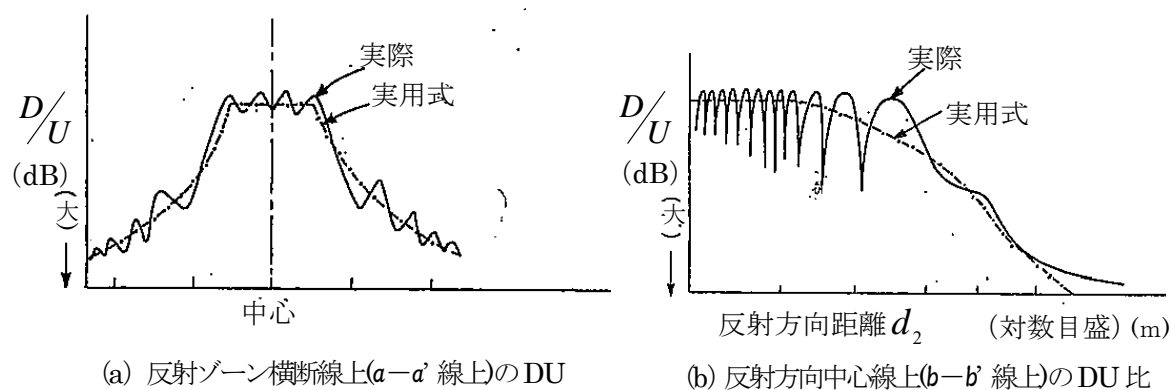


図2 反射障害地域での DU 比カーブ (模式図)

カーブを描いてみると、このカーブは距離に対してなめらかに推移しないで、希望波と反射波の位相差や大地反射波の影響により図 2 の実線のように振動していることがわかります。

さらに、実際には、反射面からの反射波が周辺のビルや配電線などのほかの建造物により再反射して、さらに、この振動は複雑になります。

☆ 実用式

(1) 実用式をつくる考え方

No156 シャヘい障害予測の実用式でも述べたように、障害の予測計算はビル大きさ、形状などにより障害の範囲を一定の精度でマクロ的に把握する必要があります。このため実用式を導くのに No156 の表 1 に示す各項目について平均化とモデル化をおこなっています。この表 1 を再掲します。

表 1 実用式における平均化およびモデル化 (再掲)

これにより図 2 の振動する曲線は一点鎖線のようななめらかな曲線におき変えて扱うことができます。

平均化する項	モデル化する項
<ul style="list-style-type: none"> 大地反射波による位相損失 ($-20\log 2S, -20\log 2S_1$) など フレネル積分 ($\Psi(x_e), \dot{B}, 1-\dot{B}$ など) 	<ul style="list-style-type: none"> 都市減衰 $K_{(h_2)}$ フレネル積分 ($\Psi(x_e)$ に対する代数 近似式の利用他)
(反射障害の場合のみ適用) <ul style="list-style-type: none"> 送信アンテナの指向性 	(反射障害の場合のみ適用) <ul style="list-style-type: none"> 受信アンテナ周辺の障害物からの再反射特性 凹凸あるビル反射面の指向性

(2) 予測計算で使用する実用式

シャヘい障害の予測範囲は、No156 の (156-1) 式および (156-2) 式を用いて各パラメータを与えることにより直接求めることができましたが、反射障害範囲は必要なパラメ

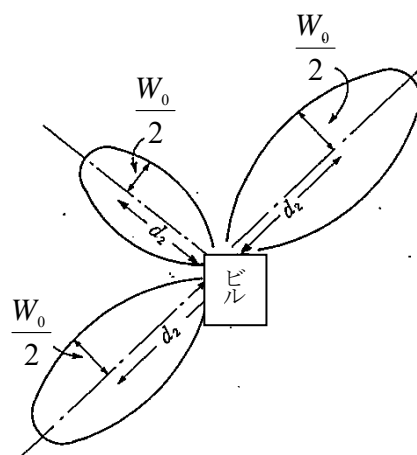


図 2 反射障害範囲図

ータを与えても直接障害範囲を求めることはできません。障害の範囲は、図 3 の各反射方向中心線上の各点の受信アンテナ端子における DU 比をもとに、その地域での等価 CN 比を考慮した障害の発生する片幅 $W_0/2$ を計算し、地図上にプロットして求めます。

反射方向中心地点における受信アンテナ端子における DU 比およびその地点での障害片幅は、しゃへい障害で述べたような一定の使用範囲条件のもとに次式で近似されます。

$$D/U \doteq \eta_e + K_{(h_0)} + D_{(\theta)ANT} - 20\log(E_{x_1} \cdot 2S_U \cdot \beta_v \cdot B_{e_0}) \quad \dots (165-1)$$

$$\frac{W_0}{2} = \frac{w_0}{2} \cdot 10^{\frac{\eta_e}{20}} \quad \dots (165-2)$$

ただし、

η_e : 凹凸のある異なる材質の組み合わせを考慮した反射面の実効的な反射損 (dB)

$K_{(h_0)}$: 反射面に入射する電波の都市減衰 (dB)

$D_{(\theta)ANT}$: 受信点周辺の配電線などからの再反射作用を考慮した受信アンテナの指向性 (dB)

E_{x_1} : 大地反射を考慮して求めた反射面中心と受信点での電界強度の比

$2S_U$: 都市減衰と大地反射を考慮した反射波の位相合成率

β_v : 送信アンテナをみた仰角による反射面縦幅のフレネル積分の補正值

A_e : 希望波と反射波の都市減衰ならびに反射面の凹凸と材質を考慮した反射面縦幅の水平入射電波に対するフレネル積分値

B_{e_0} : 反射面中心線上からみた反射面縦幅のフレネル積分値

$\frac{W_0}{2}$: 反射面の反射損を 0 と仮定したときの障害片幅 (m)

☆ 実用式の誘導法

反射障害の予測の実用式を求める過程を簡単に解説します。

まず、DU比を求める理論式を再掲します。

$$D/U \doteq -(K_{(h_2)} + D_{\theta_1}) + (K_{(h_0)} + K_{U(h_2)} + D_{\theta_2} + \eta + D_{(\theta)ANT}) + 20 \log \left\{ \frac{d_1 + d_2}{d} \right.$$

$$\left. \cdot \left| \frac{1}{\left\{ 1 - \Psi(x_{a_1}) - \Psi(x_{c_1}) \right\} \cdot \left\{ 1 - \Psi(x_{b_1}) - \Psi(x_{b_2}) \right\}} \right| \cdot \frac{2S}{2S_1 \cdot 2S_u} \right\}$$

. (164-5)

次に実用式を再掲します。

$$D/U \doteq \eta_e + K_{(h_0)} + D_{(\theta)ANT} - 20 \log(E_{x_1} \cdot 2S_U \cdot \beta_v \cdot B_{e0}) \quad \dots (165-1)$$

(164-5) 式および (165-1) 式の各記号を対照しながら説明を進めます。

- ① $D_{(\theta)ANT}$ と $K_{(h_0)}$ については、双方の式で同様に扱っているので説明は省きます。
- ② 理論式 (164-5) 式の η は、実用式 (165-1) の η_e に置き換えられます。 η は、単にビル反射面の反射損 (dB) を表わすものですが、実用式の η_e は電波の反射面への水平面入射角度や反射面形状などによる反射面の散乱特性をも含めた反射損 (dB) です。
- ③ 送信アンテナの指向性に関して、実用式では、受信点方向の指向性 D_{θ_1} と反射面方向の指向性 D_{θ_2} とは等しいものとして扱います。すなわち、テレビ送信アンテナが無指向性の場合のみ適用できる式に単純化しています。このため、送信点に近い高層ビルの反射の場合は送信アンテナが垂直面指向性をもつことから、 $D_{\theta_1} = D_{\theta_2}$ とはなりません。そこで D_{θ_1} と D_{θ_2} の指向性差 (dB) を (165-1) 式で求めた DU 比

に加算する必要があります。例えば、受信点方向の送信アンテナの垂直指向性 $D_{\theta_1} = 10dB$ (10dB だけ最大方向より電界強度が低くなるような指向性)、また、反射面方向の指向性 $D_{\theta_2} = 4dB$ であるような場合は、(165-1) 式で求めた DU 値に $D_{\theta_2} - D_{\theta_1} = -6dB$ を加えるというように DU 値を補正します。さらに、受信点方向と反射面方向の水平面指向性が異なる場合も同様に補正します。

- ④ 一般的に送信アンテナからビルまでの距離 d_1 は、ビルから受信点までの距離に比べて非常に大であるので、

$$\frac{d + d_2}{d} \doteq 1$$

と近似できます。しかし、ビルが送信点に近い場合は、この近似に基づく多少の誤差を生ずることも留意しておく必要があります。

- ⑤ (164-5) 式の $2S$ と $2S_1$ は、

$$E_{x_1} = \frac{2 \left| \sin \frac{2\pi h_1 h_0}{\lambda d_1} \right|}{2 \left| \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right|} = \frac{2S_1}{2S} \quad \text{より} \quad \frac{2S}{2S_1} \doteq \frac{1}{E_{x_1}}$$

すなわち、受信点における受信電界の位相合成率 $2S$ とビル反射面における受信電界の位相合成率 $2S_1$ との比は、 E_{x_1} の逆数に等しくなります。

- ⑥ $2S_U = 2S_u \left| \frac{\dot{\Gamma}_{U(h_2)}}{\dot{\Gamma}_{(h_2)}} \right|$ より

$$-20 \log 2S_U = -20 \log 2S_u - K_{(h_2)} + K_{U(h_2)}$$

となります。

- ⑦ (164-5) 式の $|1 - \Psi(x_{b_1}) - \Psi(x_{b_2})|$ は、ビルの反射面横幅 b にもとづく受信点への反射波強度を表わすフレネル積分です。実用式は、反射波方向中心線上の各地点における DU 比を求める式ですので

$|\Psi(x_{b_1}) - \Psi(x_{b_2})|$ は、 $|1 - 2\Psi(x_b)|$ となります。この値は、No160 の「☆ 自由空間における反射の基礎」で述べたように

$$x_b = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

を境に、ほぼ直線的に増加する領域（フラウンホッフ領域）と振動する領域（フレネル領域）に分けられます。実用式では、この2つの領域をそれぞれモデル化して近似計算を行ないますが、そのモデル化したものが「反射方向中心線上からみた反射面縦幅のフレネル積分値 B_{e0} 」になります。

$$|1 - 2\Psi(x_b)| \doteq \frac{2}{\sqrt{\pi}} x_b \quad \text{より}$$

$$|1 - 2\Psi(x_b)| = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{\pi \cdot d_1 + d_2}{d_1 d_2}} \cdot \frac{b}{2} \doteq \frac{b}{\sqrt{\lambda d_2}}$$

また、 $d_{2B} = \frac{b^2}{\lambda}$ であるので、

$$|1 - 2\Psi(x_b)| = \sqrt{\frac{d_{2B}}{d_2}} \equiv B_{e0}$$

なお、実際の反射面横幅のフレネル積分値の B 点以遠の距離特性は、

$$-20 \log \sqrt{\frac{d_2}{1 + \frac{d_2}{d_1}}}$$

となり、モデル化したフレネル積分値 B_{e0} の $3\text{dB}/\text{oct} [-20 \log \sqrt{d_2} (\text{dB})]$ の距離特性よりやや高めに推移します。この差異

$$20 \log \sqrt{1 + \frac{d_2}{d_1}}$$

は、さきに $(d_1 + d_2)/d \doteq 1$ と近似したことによる誤差の一部を補完しています。

- ⑧ (164-5) 式の $|\Psi(x_{a_1}) - \Psi(x_{c_1})|$ は、ビルの反射面縦幅 a および入射電波の仰角にもとづく受信点への反射波強度を表わすフレネル積分値です。

実用式では、このフレネル積分値を「希望波と反射波の都市減衰ならびに反射面の凹凸と材質を考慮した反射面縦幅の水平入射電波に対するフレネル積分値」として、 A_e および「送信アンテナをみた仰角による反射面縦幅のフレネル積分値の補正值」として β_v の 2 つのパラメータを使って近似化とモデル化を行ないます。

すなわち A_e については前述の B_{e0} と同様に

$$x_a = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}} \cdot a = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

を境に、フラウンホッフ領域とフレネル領域とに分けてモデル化しています。なお、 A_e の距離特性も B_{e0} の距離特性のときと同様に、A 点以遠において 3dB/oct の減衰カーブとすることにより、さきの $(d_1 + d_2)/d \doteq 1$ と近似したことによる誤差に一部を補完しています。

また、 β_v についてはビル反射面から受信点までの距離 d_2 の関数として $d_{2D}/d_{2E} \sim 1$ の間の値をとるようにモデル化しています。