

< 建造物障害予測技術 その19：しゃへい障害 7 >

(しゃへい障害予測実用式 その4)

今回は、実用式における E_x について解説します。 E_x は No155 「都市内におけるビルしゃへい」で述べたように次式で表わされます。

$$E_x \doteq E_{x_1} \cdot E_{x_2} \cdot \dots \cdot (159-1) \quad E_{x_1} \doteq \frac{2S_1}{2S} \quad , \quad E_{x_2} \doteq \frac{\dot{\Gamma}(H)}{\dot{\Gamma}(h_2)}$$

$E_{(x)}$ は、位相合成率 E_{x_1} 、都市減衰率 E_{x_2} を考慮した建造物頂部での電界と受信点での電界との比を表し、常に 1 以上の値となります。

☆ 位相損失の扱い方と E_{x_1} の意味

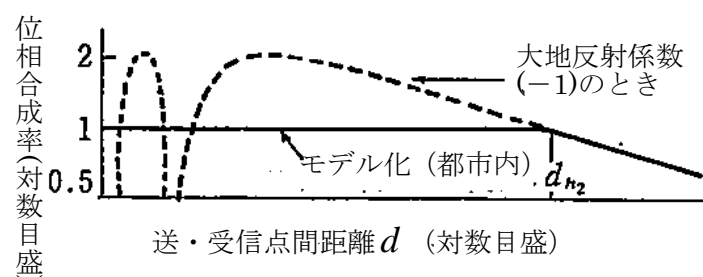
① 位相合成率の扱い方

a. 建造物がない場合

都市内の大地反射波は、反射点近くの家屋やビル等による乱反射の影響を受け、その大きさだけでなく位相も変化します。受信点が送信点に近づくほど、この大きさと位相による影響は不規則となりやすい

傾向にあります。大地反射係数 \dot{R} を -1 としたときの理論上の位相合成

率は、図1の破線で示したような距離特性をもちます。しかし、実際の都市内では、位相合成率はこの特性を中心とし不規則な変化をしていると考えられます。



$$\left(d_{h_2} = \frac{fh_1h_2}{25} \dots f: \text{周波数(MHz)} \right)$$

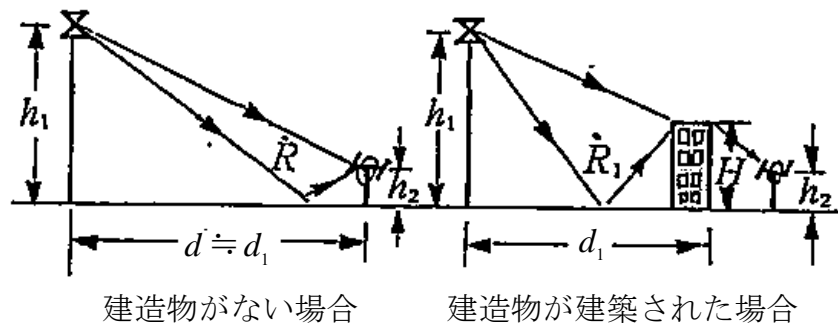
図1 位相合成率の距離特性

実用式では、送信点と受信点間の距離により、建造物がない場合と建築された場合の大地反射波と大地反射係数を表 1 に示すように平均化しています。

表 1 都市内における大地反射波の扱い

項目	建造物がない場合		建造物が建築された場合	
条件	$d > d_{h_2}$	$d \leq d_{h_2}$	$d_1 > d_H$	$d_1 \leq d_H$
大地反射波の有無	あり	なし	あり	なし
大地反射係数	$\dot{R} = -1$	$\dot{R} = 0$	$\dot{R}_1 = -1$	$\dot{R}_1 = 0$

$$\left(d_{h_2} = \frac{fh_1h_2}{25}, d_H = \frac{fh_1H}{25} \dots f: \text{周波数(MHz)} \right)$$



送信点から受信点までの距離 d が比較的近いとき、具体的に言えば位相合成率を表わす \sin 項 $(2\pi h_1 h_2 / \lambda d)$ が $\pi/6$ となる距離 $d (= 12h_1 h_2 / \lambda)$ 以内のときは、大地による反射係数は 0、これより遠い距離のときは -1 として扱います。この平均化した位相合成率の距離特性は、図 1 に示す実線となります。また、 $d = 2\pi h_1 h_2 / \lambda$ となる距離を d_{h_2} と呼ぶことにします。

この平均化は送信点からの距離 d_{h_2} までの位相合成率が振動する範囲では、大地反射波の影響はないもの（電界強度は自由空間値 E_0 ）として扱い、また、 d が d_{h_2} より大きい範囲では位相合成率の影響により電界強度は d の 2 乗に反比例するものとして扱うことを意味します。

この考え方は、任意の受信点におけるハイトパターンが図 2 の破線で示されるものを実線のように平均化して扱うのと同じになります。

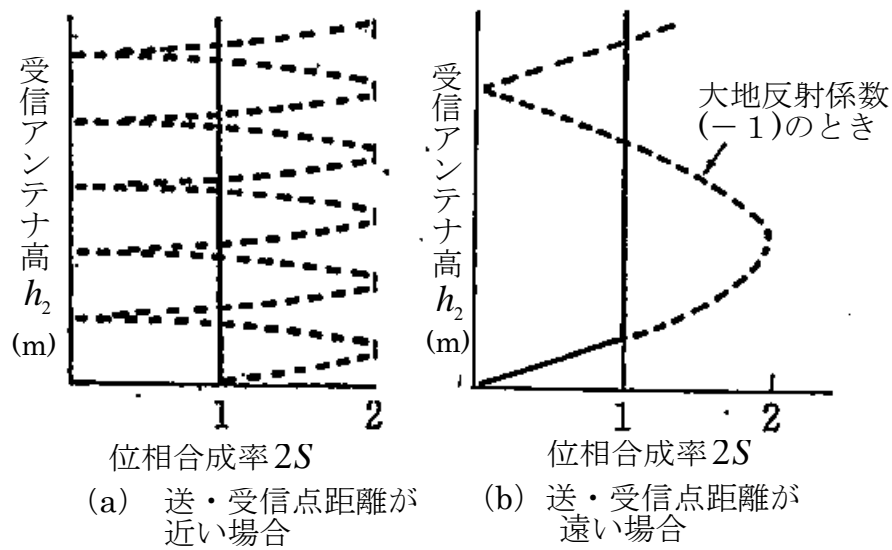


図2 モデル化したハイトパターン

b. 建造物が建築された場合

この場合、位相合成率は次のように伝ぱん経路を 2 つに区分して考えます。

送信点と建造物頂部の伝ぱん経路の位相合成率は、前記の建造物がない場合の受信点を建造物頂部におきかえるだけで、全く同一に扱われます。建造物頂部と受信点間については、大地反射波が反射点近傍の家屋などにより乱反射されるため、大地反射波がないものとして扱います。

② E_{x1} のモデル化

予測の実用式では、この E_{x1} の値を次のような手順で、図3のようにモデル化します。

a. 地球の丸みによる送・受信アンテナ高の実効的な低下という現象を、送・受信アンテナ高を変えずに位相合成率が同じ値となるような距離 d_{1e} を d_1 におきかえます。 d_{1e} を求める式は、次の通りです。

$$d_{1e} = \frac{1}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{2K \cdot a_r h_1 \left(1 + \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}\right)^2}} \cdot \dots \cdot (159-2)$$

ただし、 $K \cdot a_r$: 地球の等価半径 ($\approx 8.5 \times 10^6$ m)

b. a.で求めた d_{1e} の値を $fh_1h_2/7$ と比較し、 d'_1 という仮の距離を次により求めます。ただし、 $fh_1h_2/7$ は $E_{(x_1)}$ の上限を11dBとするために設定した距離です。 f は、(MHz)を単位とした受信周波数です。

$$0 < d_{1e} \leq fh_1h_2/7 \quad \text{のとき} \quad d'_1 = d_{1e}$$

$$d_{1e} > fh_1h_2/7 \quad \text{または、} \quad d_{1e} \leq 0 \quad \text{のとき} \quad d'_1 = fh_1h_2/7$$

c. d'_1 を $d_{h_2}(=fh_1h_2/7)$ または、 $d_H(=fh_1H/25)$ と比較し

E_{x_1} を次により求めます。

$$d'_1 \leq d_{h_2} \quad \text{のとき} \quad E_{x_1} = 1$$

$$d_{h_2} < d'_1 \leq d_H \quad \text{のとき} \quad E_{x_1} = d'_1/d_{h_2}$$

$$d'_1 > d_H \quad \text{のとき} \quad E_{x_1} = \frac{H}{h_2}$$

つまり、 E_{x_1} の値は、図3に示す

ように送信点から比較的近い距離では1という一定値をとり、さら

に離れると d'_1 の値に比例して大きくなります。そして、 d_H 以遠になると E_{x_1} は、 H/h_2 で定まる一定値になります。

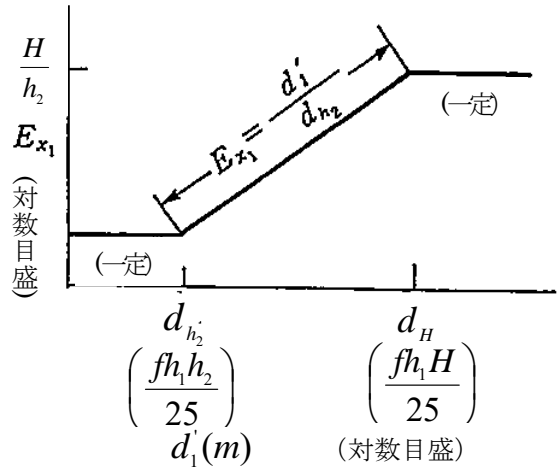


図3 E_{x_1} の距離特性

③ E_{x_1} の意味

実用式の中ではこのような大地反射波による位相合成率の作用は、建造物頂部を受信点とした場合の電界強度の位相合成率 $2S_1$ と建造物がない場合の受信点における電界強度の位相合成率 $2S$ の比 E_{x_1} で表されます。

$$E_{x_1} \doteq \frac{2S_1}{2S} \quad \dots \dots \dots (159-3)$$

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

この E_{x_1} は、都市減衰がないときの建造物頂部の電界強度と受信点の電界強度に比に相当するもので、 E_{x_1} は常に 1 以上の値で建造物の高さが高いほどその値は大きくなります。また、建造物の高さ H が一定ならば、 E_{x_1} が大きいほどしゃへい損失が少なくなり、障害範囲は狭くなります。

☆ 都市減衰の扱い方と E_{x_2} の意味

① 都市減衰の扱い方

しゃへい障害の予測では、建造物がないときの送信点と受信点間の伝ぱん経路の都市減衰 $K_{(h_2)}$ と建造物が建築されたときの送信点から建造物頂部を経由して受信点に至る伝ぱん経路の都市減衰 $K_{(H)}$ について考える必要があります。

a. 建造物がない場合

$K_{(h_2)}$ は、原則として現場調査結果を統計処理することにより求めることができます。しかし、実測値が得られない場合は、中・小都市に限りモデル化した次式を都市減衰 $K_{(h_2)}$ として使用することができます。

$$K_{(h_2)} = 4 \left(\frac{f}{25} \right)^{\frac{1}{3}} \left\{ 1 - \log \left(\frac{h_2}{8} \right)^2 \right\} \dots (159-4)$$

受信周波数 100, 200, 600 MHz におけるモデル化した都市減衰 $K_{(h_2)}$ を図 4 に示します。

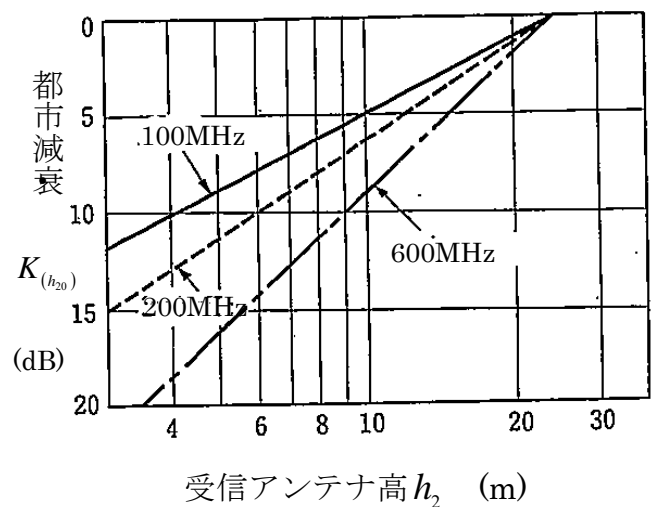


図 4 中・小都市におけるモデル化した都市減衰

b. 建造物が建築された場合

$K_{(H)}$ については実測値により求めることはできません。その理由は、建造物後方の受信点での実測値には都市減衰のほか位相損失および建造物そのもののしゃへい損失などすべての要因が包含されているため、都市減衰のみを分離して取り出すことが困難であるからです。

そこで、実用式では、建造物が建築されたときの建造物頂部を経由して受信点に至る伝ぱん経路の都市減衰 $\dot{\Gamma}_{(H)}$ の値を、建造物がないときの受信点までの伝ぱん経路の都市減衰 $\dot{\Gamma}_{(h_2)}$ をもとに次のように扱っています。

$$\left| \dot{\Gamma}_{(H)} \right| = E_{x_2} \left| \dot{\Gamma}_{(h_2)} \right| \quad \dots \dots \dots (159-5)$$

$$\text{ただし、} \left| \dot{\Gamma}_{(h_2)} \right| = 10^{-\frac{K_{h_2}}{20}}$$

また、(159-5)式は、次のようにかきかえられます。

$$E_{x_2} = \frac{\left| \dot{\Gamma}_{(H)} \right|}{\left| \dot{\Gamma}_{(h_2)} \right|} \quad \dots \dots \dots (159-6)$$

したがって、 $\dot{\Gamma}_{(H)}$ と $\dot{\Gamma}_{(h_2)}$ という都市減衰率の比の絶対値が E_{x_2} ということになります。

② E_{x_2} のモデル化

E_{x_2} は本来、建造物と受信点間の距離の変数を含む関数ですが、実用式においては、建造物の高さ H 、受信アンテナ高 h_2 、受信周波数 f による固定値で距離特性をもたない次式でモデル化して扱っています。

$$E_{x_2} = \left(\frac{H}{h_2} \right)^{\frac{K_{(h_2)}}{15}} \quad \dots \dots \dots (159-7)$$

$$\text{ただし、} \left(\frac{H}{h_2} \right)^{\frac{K_{(h_2)}}{15}} > 10^{-\frac{K_{h_2}}{20}} \quad \text{のとき} \quad E_{x_2} = 10^{-\frac{K_{(h_2)}}{20}}$$

また、 $E_{x_2} > K_{(h_{20})}^{0.6}$ のときは、 $E_{x_2} = K_{(h_{20})}^{0.6}$ とします。
 なお、 $K_{(h_{20})}^{0.6}$ の値が 1 以下となるときは、 $E_{x_2} = 1$ とします。

③ E_{x_2} の意味

(159-7)式は、図 5 に示すように $K_{(h_2)}$ をパラメータとした斜めの直線で表わされ H/h_2 の値の増加にともない E_{x_2} も比例的に増加します。そして、

$$\left(\frac{H}{h_2}\right)^{\frac{K_{(h_2)}}{15}} = 10^{\frac{K_{h_2}}{20}}$$

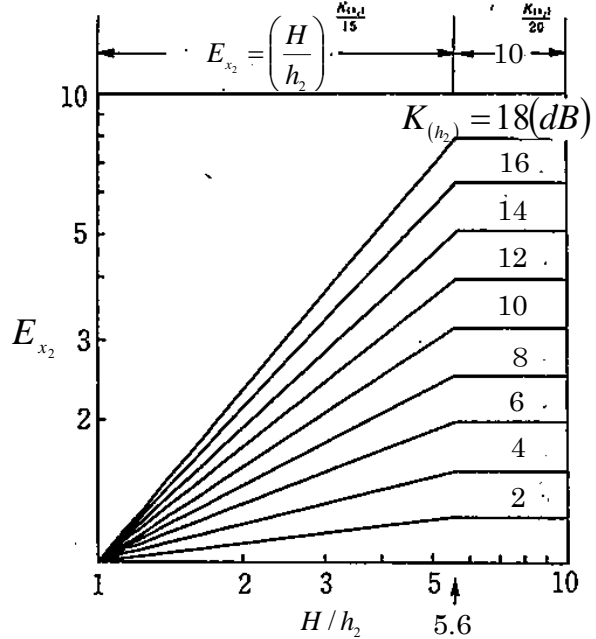


図 5 E_{x_2} の値の設定

の式が成立する $H/h_2 \doteq 5.6$ を越えると E_{x_2} は 10^{20} (一定値) となります。

このような設定は、都市減衰が地上高により変化する特性をモデル化したものです。

また、 E_{x_2} の値が $K_{(h_{20})}^{0.6}$ (この値が 1 以下の場合には 1 とします。) を超える場合は、この値を上限値とします。これは都市減衰の作用についての実用的な補正で、上限値は図 6 のように受信周波数 f および受信アンテナ高 h_2 をパラメータとしてモデル化されています。

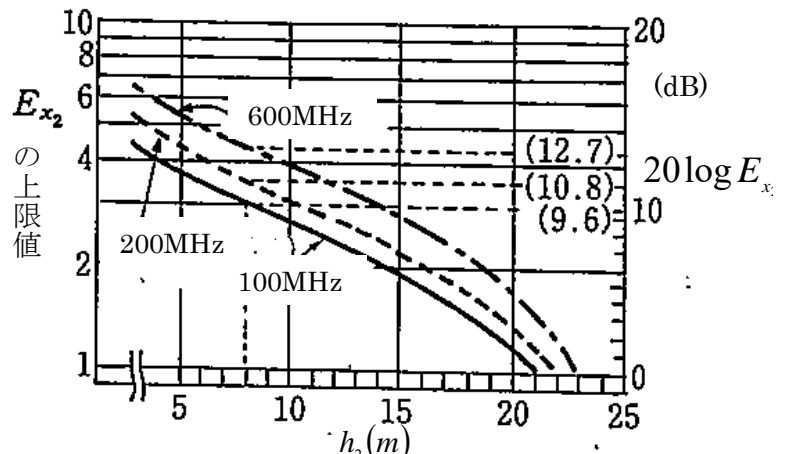


図 6 E_{x_2} の値の上限値