

< 建造物障害予測技術 その2：しゃへい障害予測の概要 >

建造物による受信障害には、テレビ電波が建造物で遮られ電波の強さが低下して発生する「しゃへい障害」と建造物で反射した電波が受信点に到達して生じる「反射障害」（マルチパス障害）があります。

建造物による受信障害については、電波伝ぱんの1現象として理論的解析が行われていましたが、建造物の多くを占めるビルの建設が都市部に集中するため理想的な条件下での解析とはいえない状況でした。さらに、電波は大きさと位相をもつベクトル値であり、それがしゃへいされたり反射されたりすることにより、受信点で色々な伝ぱん経路を通った電波をベクトル合成して扱うには計算は非常に複雑となり実用的とはいえませんでした。

このため、建造物障害予測のための実用的な計算方法の開発が望まれていました。今回は、開発した予測計算式に関してしゃへい障害と反射障害の2回に分けて解説します。

この予測方法は、NHKというまでもなく、(一社)日本CATV技術協会傘下の建造物障害調査業務を行う業界において広く活用されています。

☆ アナログ放送による予測のスタートとデジタル放送への移行

この予測技術は、最初は、アナログテレビ放送の受信障害用として作成されましたが、その後、デジタル化されたため予測法に関して再検討が行われました。その結果、電波のしゃへいや反射の物理的現象は、アナログであれデジタルであれ相違なく、障害発生はしゃへい損失のしきい値や反射障害発生のDU比をデジタルに対応したものに置き換えれば良いこととなりました。

テレビ放送の受信画質は、アナログ放送では電波の受信状況が悪くな

るにつれて受信画質も徐々に劣化しました。一方デジタル放送では、電波の受信状況が悪くなっても受信機の誤り訂正可能な範囲内であれば画質劣化はなく、誤り訂正能力の限界を超えると急激に画質が劣化します。

アナログ放送の受信状況を把握する方法は、受信画質を視覚で 5 段階で評価する主観評価がもっぱら用いられていました。そして、障害予測範囲は、画質評価「3」を基準として、それを下回る評価の範囲としていました。

これに対して、デジタル放送では、画質の良否は一定時間内に伝送した情報のビット数のうち、何ビットに誤りが発生したかを示すビット誤り率（BER : Bit Error Rate）を用いて評価します。

デジタル放送では、リードソロモン（RS）誤り訂正（外符号という。）と折りたたみ符号による誤り訂正（内符号という。）の二重の誤り訂正が使用されており、内符号訂正後の BER の値が 2×10^{-4} （1 万ビットのうち 2 ビットの誤り）を障害予測範囲の基準としています。つまり、この BER を「所要 BER」と呼んでいます。

アナログ放送では、マルチパス障害はゴースト障害として画面に現れましたが、デジタル放送ではガードインターバルや誤り訂正機能、インターリーブなどのデジタル伝送技術によって受信障害が発生しにくいように設計されています。このため、アナログ放送の障害が発生している地域でもデジタル波は、ほとんどの地点で BER は 10^{-8} （1 億ビット伝送で誤りビット数 1）以下となっていることがアナログ波の分析から明らかになっています。したがって、ビット誤り率測定器のみでデジタル波の受信状況を的確に把握するには、膨大な時間を要し、現実には即さないこととなります。そこで、デジタル放送の建造物障害の予測では、BER と相関関係にある受信 CN 比に着目して受信状況を把握する手法を用います。

OFDM 波がマルチパスの影響を受けると、図 1 のように波形にリップル（波形ひずみ）が現れます。このようなマルチパスの影響を受けた OFDM 波を測定する場合は、OFDM を構成する各搬送波ごとの平均 BER を求め、この平均値をビット誤り率が等しくなるときのマルチパスがな

い OFDM 波の CN 比に置き換えます。

この CN 比を建造物障害予測では「等価 CN 比」と呼び、BER の値が

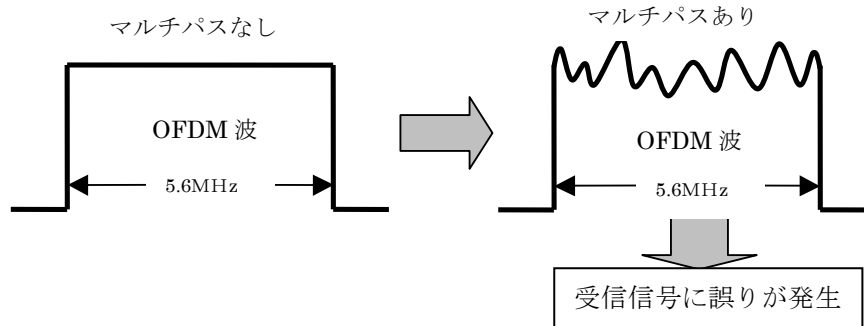


図 1 受信チャンネル帯域内の振幅周波数特性波形

2×10^{-4} になる等価 CN 比を障害が発生し始める限界値として「所要 CN 比」と呼んでいます。

☆ しゃへい障害の原理式の誘導

受信点に到達する電波は、図 2 「電波の通路」 に示すように、送受信点間の広がりのある空間を伝はんし、電波の強さは、送信点から直線的に到来する電波と、その周辺を回り込みながら到来する複数の電波の合成となります。

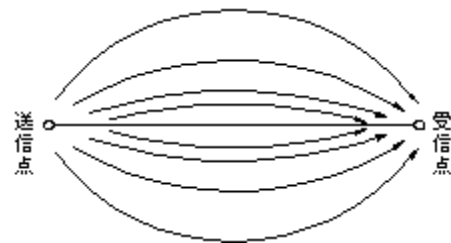


図 2 電波の通路

しゃへい障害の理論は、この空間を伝はんする途中に、図 3 に示すようなナイフエッジ (ナイフの刃のような障害物をいいます。)

によるしゃへいの状況の解析からスタートします。図 3 に示す送受信点間に横幅が無限大のしゃへい物がある場合の電界強度は、ナイフエッジの上方向の電波を全部合

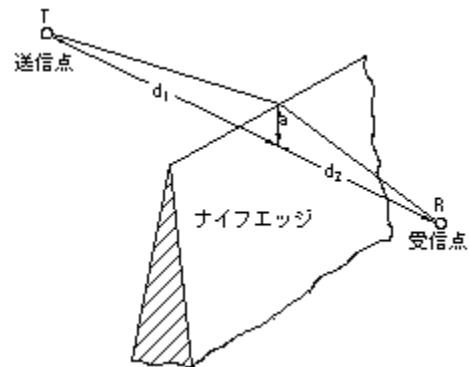


図 3 ナイフエッジによるしゃへい

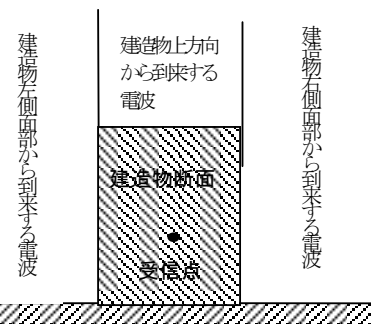


図 4 建造物によるしゃへいの考え方

わせた大きさになります。

建造物が単独で建築された場合、建造物により受信点に到来する電波は、図 4 に示すように建物上方向からの電波と左右側面からの電波の合成となります。

これらの電波に、平面大地の場合は大地反射波の影響、都市内の場合には都市減衰の影響がそれぞれ加わり、しゃへい計算の原理式は相当複雑なものとなります。

詳細は、次回以降に譲りますが、建造物後方におけるしゃへい損失 SL (dB) は、結論としては、次のような式になります。

$$SL = -20 \log_{10} \left| \left\{ \Psi(x_{b1}) + \Psi(x_{b2}) \right\} + \frac{E_{x2} \dot{A}_{(1\sim4)} \{1 - \Psi(x_{b1}) - \Psi(x_{b2})\}}{2j \sin \theta_r} \right|$$

$\Psi(x_{b1})$ 、 $\Psi(x_{b2})$: 建造物左右側面からの電波

$E_{x2} \dot{A}_{(1\sim4)} \{1 - \Psi(x_{b1}) - \Psi(x_{b2})\}$: 建物上方向からの電波

E_{x2} : 建造物頂部高と受信アンテナに対応する都市減衰の比率

$\dot{A}_{(1\sim4)}$: 建造物上方向からの電波で送信所—建造物—受信点の 4 経路合成のフレネル積分

$j \sin \theta_r$: ベクトルの三角関数を表す表示

☆ しゃへい障害の予測計算の実用式

しゃへい障害予測計算の原理式によるしゃへい損失は、図 5「しゃへい損失の実際」に示すように建造物の後方距離ならびにしゃへいゾーンを横断する線上に対して複雑に変化（振動）します。

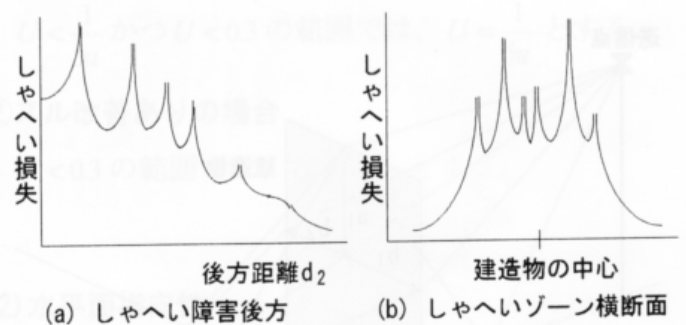


図 5 しゃへい損失の実際

これは建造物の上方向および左右側面を回折して到来する電波をベクトル合成することによる位相合成作用に起因しています。

障害予測計算を行う実用式では、都市減衰等の受信点周辺の複雑な諸条件をも考慮するには、各パラメータはその地域を代表する平均的な値をもって行うものでなくてはなりません。都市減衰の扱いをこのようにすると、しゃへい損失のような振動する項をそのまま扱うこと自体が不都合になります。

こうした理由により建造物の高さが送信アンテナ高の1/2未滿かつ周波数はVHF帯ならびにUHF帯と限定した上で、原理式は、SLの振動する項を図6「しゃへい損失のモデル化した特性カーブ」に示すように簡略化したものです。

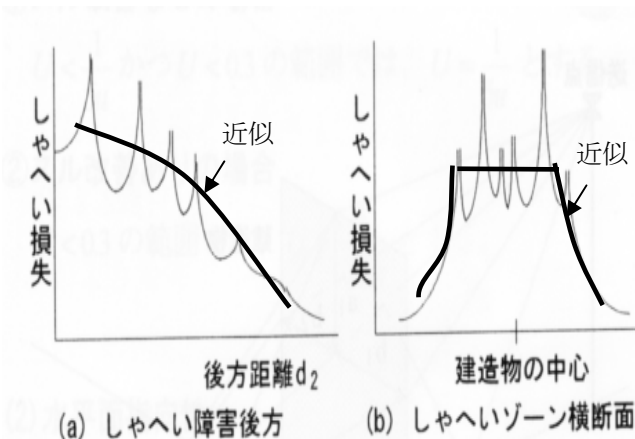


図6 しゃへい損失のモデル化した特性カーブ

モデル化の実用式では、障害予測距離 D_2 [m]と障害幅 W_0 [m]は次に示す式となります。この計算結果に基づき障害範囲を図示すると図7のようになります。

$$\text{障害予測距離 } D_2 = \frac{1}{\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_{20}}} \text{ [m]}$$

$$\text{障害幅 } W_0 = \frac{d_1 + d_2}{d_1} W + \sqrt{D_2} / 2 \text{ [m]}$$

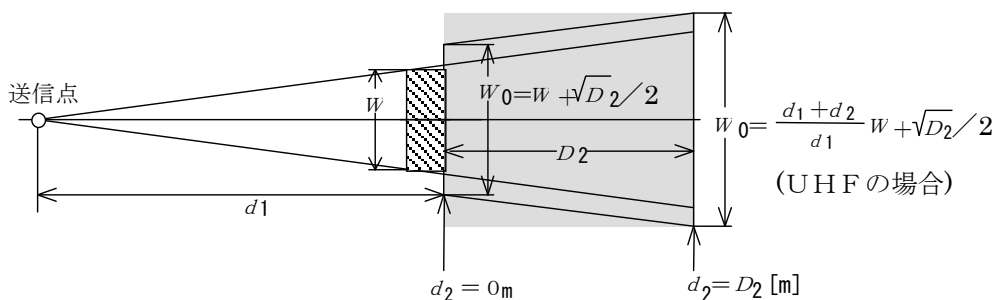


図7 しゃへい障害範囲

$$SL = -10 \log_{10} \left[\{2\Psi(x_{w/2})\}^2 + \{E_x \Psi(x_{H-h_2})\}^2 \right] = -10 \log_{10} \left(\frac{d_2'}{A} \right)$$

ただし $d_2' \doteq A \cdot 10^{-\left(\frac{SL}{10}\right)}$ 電波が水平に到来したときの遮へい障害距離[m]

$$A = \frac{f \cdot W \cdot H'}{6 \left(E_x^2 \cdot \frac{W}{H} + 16 \cdot \frac{H'}{W} \right)}$$

f : 周波数 [MHz]

$H' = H - h_2$: 建築物しゃへい高 [m]

H : 建築物高 [m]

W : 建築物の実効横幅 [m]

$$E_x = E_{x1} \cdot E_{x2}$$

E_{x1} : 建築物頂部高と反射面下部に対応する大地反射波による位相合成の比

E_{x2} : 建築物頂部高と受信アンテナ高 h_2 対応する都市減衰の比

$$d_{20} = \frac{H - h_2}{h_1 - H} \cdot d \quad : \text{建築物頂部高に対応する光学的な見通し距離 [m]}$$

d_1 : 送信点・建築物間距離 [m]

d_2 : 建築物後方距離 [m]

$\Psi(x_{w/2})$ 建築物側部を回折してくる電波のフレネル積分近似解

$$x_{w/2} = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda \cdot d_2}} \cdot \frac{W}{2} \quad : \text{しゃへい幅 } \frac{W}{2} \text{ に対するしゃへい係数}$$

$\Psi(x_{H-h_2})$ 建築物上部を回折してくる電波のフレネル積分近似解

$$x_{H-h_2} = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda \cdot d_2}} \cdot (H - h_2) \quad : \text{しゃへい高 } H - h_2 \text{ に対するしゃへい係数}$$

$$|\Psi(x_i)| = \frac{1}{3.99x_i} \quad : \text{フレネル積分近似解}$$