

＜建造物障害予測技術 その 21：反射障害 2＞
 （自由空間におけるビル反射 2）

☆ 自由空間における反射面の指向性

前回は、反射面中心線上での反射波強度を考えましたが、ここでは、反射波強度が距離とともに減衰するフラウンホッフ領域 ($x_a, x_b < \sqrt{\pi}/2$) において中心線上からずれた地点での反射波強度、すなわち反射波の指向性について考えます。

図 1 に示す反射面からの反射波強度は、No160 の (160-3) 式に反射面の指向性を加えた次式で与えられます。

$$E_r = \frac{a_e b_e}{\lambda d_2} D(\delta_v, \delta_h) E_0 \quad \dots \dots \dots (161-1)$$

ただし、

$$a_e : a \cos \theta_{v0}$$

$$b_e : b \cos \theta_{h0}$$

$$D(\delta_v, \delta_h) : \left| \frac{\sin u_v \cdot \sin u_h}{u_v \cdot u_h} \right|$$

$$u_v : \frac{\pi a}{\lambda} (\sin \theta_v \cos \theta_h - \sin \theta_{v0} \cos \theta_{h0})$$

$$u_h : \frac{\pi b}{\lambda} (\sin \theta_h \cos \theta_v - \sin \theta_{h0} \cos \theta_{v0})$$

$$\delta_v : \theta_v - \theta_{v0}$$

$$\delta_h : \theta_h - \theta_{h0}$$

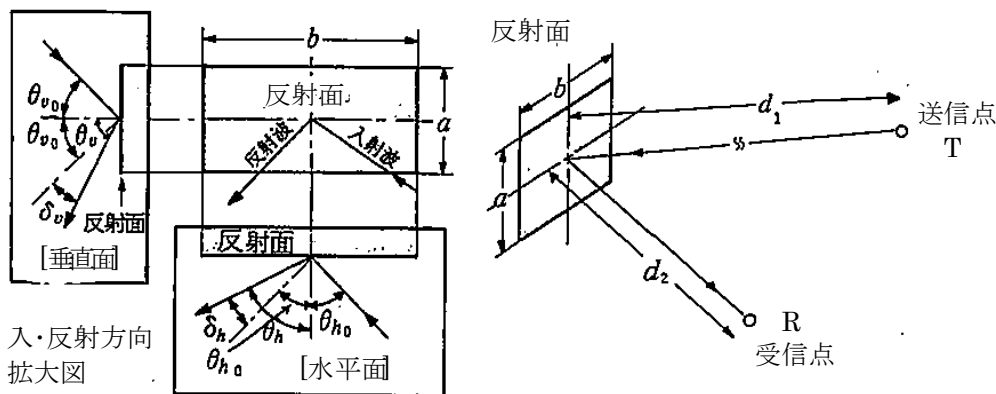


図 1 小さな反射面からの反射波

電波が反射面に直角に入射する場合、すなわち $\theta_{v0}, \theta_{h0} = 0$ のとき、(161-1) 式の反射面の指向性 $D(\delta_v, \delta_h)$ は次式で与えられます。

$$D(\delta_v, \delta_h) = \left| \frac{\sin u_v}{u_v} \cdot \frac{\sin u_h}{u_h} \right| \quad \dots \dots \dots (161-2)$$

ただし、

$$u_v : \frac{\pi a}{\lambda} (\sin \delta_v \cos \delta_h) \quad u_h : \frac{\pi b}{\lambda} (\sin \delta_h \cos \delta_v)$$

(161-2) 式の第1項、第2項とも同一形であり、それぞれ垂直面、水平面指向性を表わしています。いま、垂直面について考える ($\delta_h = 0$ とする) と、指向性は、

$$D(\delta_v) = \left| \frac{\sin u_v}{u_v} \right| = \left| \frac{\sin \left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \delta_v \right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \delta_v} \right| \quad \dots \dots \dots (161-3)$$

[式の誘導:末尾もっと知りたい方のために]参照

となり、図2に示すように π ごとに0となる振動特性で表わされます。

また、一般に δ_v は小さいから、

$\sin \delta_v \doteq \delta_v$ より、(161-3) 式は

$$D(\delta_v) = \left| \frac{\sin \left(\frac{\pi a}{\lambda} \delta_v \right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \delta_v} \right| \quad \dots (161-4)$$

となり、振動する項をなめらかな曲線でおきかえると (161-4) 式は、

$$D(\delta_v) = \frac{\lambda}{\sqrt{2\pi a} \delta_v} \quad \dots \dots (161-5)$$

となります。ただし、 $\delta_v < \lambda / \sqrt{2\pi a}$ のときは、 $D(\delta_v) = 1$ とします。

(161-5) 式を図2の破線で示します。

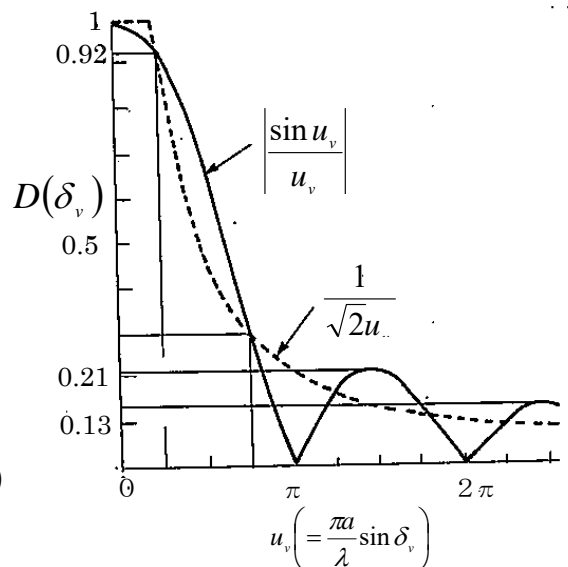


図2 反射面の指向特性

☆ 自由空間におけるビル反射

ビルによる反射を考える場合、ビル反射面に比較的近い地点では図3のように送信点 T と影像（イメージ）受信点 R' を結ぶ線が反射面の下端付近にくるようなケースが多くあります。

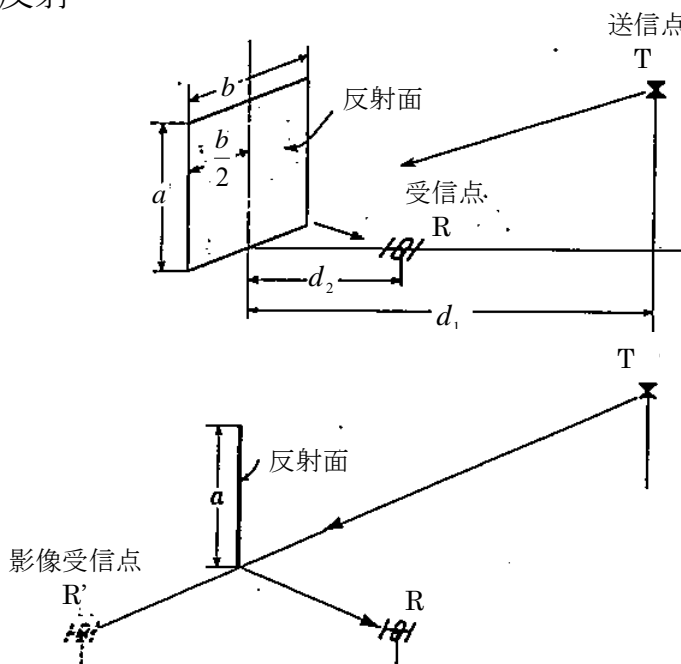


図3 ビル反射面に近い地点での反射波伝ぱん経路

このとき、反射面の縦幅および横幅

を a, b とすると反射電界は、No150 のスリットによるしゃへい電界より次式で与えられます。

$$E_r = \left\{ \frac{1}{2} - \Psi(x_a) \right\} \{1 - 2\Psi(x_b)\} \dot{E}_0 \quad \dots \dots \dots (161-6)$$

ただし、

$$x_a = ka \quad x_b = k \frac{b}{2} \quad k = \sqrt{\frac{\pi \cdot d_1 + d_2}{\lambda d_1 d_2}} \doteq \sqrt{\frac{\pi}{\lambda d_2}}$$

$$\dot{E}_0 = -j \frac{7\sqrt{P_e}}{d_1 + d_2} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(d_1 + d_2)}$$

(161-6) 式は、「☆ 自由空間における反射の基礎」で述べた反射面中心線上の反射電界の式 ((160-2) 式) と比較すると、第1項目に違いのあることがわかります。いま、反射面に近い地点での反射波強度を考えているので、「☆ 自由空間における反射の基礎」でのフレネル領域を考えればよいことになります。この領域 ($x_a, x_b \geq \sqrt{\pi}/2$) では、振動する項を $\{1 - 2\Psi(x)\} = 1$ と振動する項を平均化しており、(161-6)

式は、

$$E_r = \left| \frac{1}{2} \{1 - 2\Psi(x_a)\} \{1 - 2\Psi(x_b)\} E_0 \right| = \frac{1}{2} E_0$$

となり、反射面の近くでは入射波強度の $1/2$ となります。

なお、 $\{1 - 2\Psi(x)\} = 1$ となる理由は、N0160 の図 4 に示す $\{1 - 2\Psi(x)\}$ とその近似カーブに示すように $x = \sqrt{\pi}/2$ より大きくなると振動する項を 1 と平均化したことによります。

反射波強度の減衰開始距離は、「☆ 自由空間における反射の基礎」と同様にして、

- 縦幅による減衰開始距離 d_{2A}' は、

$$x_a = ka \doteq \sqrt{\frac{\pi}{\lambda d_{2A}'}} a$$

- 縦幅による減衰開始距離 d_{2A}' は、

$$\sqrt{\frac{\pi}{\lambda d_{2A}'}} a = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

が成立する距離 d_{2A}' なのでこの式の d_{2A}' を解くと

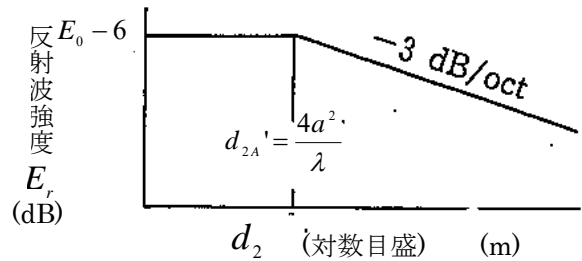
$$d_{2A}' = \frac{4a^2}{\lambda}$$

- 横幅による減衰開始距離 d_{2B} は、

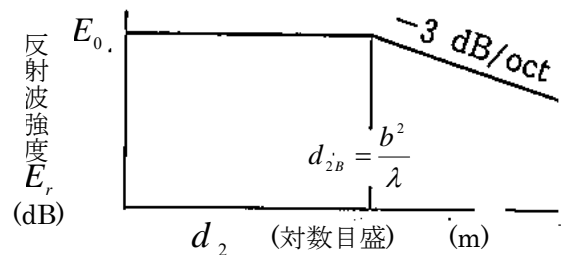
縦幅による減衰開始距離の場合と同様に

$$x_b = k \frac{a}{2} \doteq \sqrt{\frac{\pi}{\lambda d_{2B}}} \frac{a}{2}$$

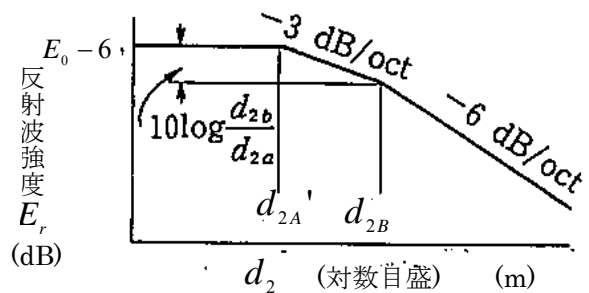
縦幅による減衰開始距離



(a) 縦幅が有限長 (横幅は無限長)



(b) 横幅が有限長 (縦幅は無限長)



(c) 縦幅、横幅とも有限長 ($2a < b$)

図 4 自由空間における有限長反射面の反射波強度の距離特性

d_{2B} は、

$$\sqrt{\frac{\pi a}{\lambda d_{2B}}} = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

が成立する距離 d_{2B} なので、この式の d_{2B} を解くと、

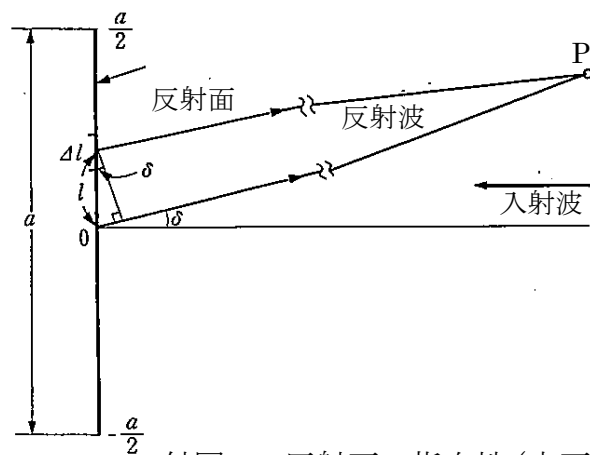
$$d_{2B} = \frac{b^2}{\lambda}$$

でそれぞれ求められ、反射波強度の距離特性は、図 4 のようになります。

[もっと知りたい方のために]

$$D(\delta_v) = \left| \frac{\sin u_v}{u_v} \right| = \left| \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \delta_v\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \delta_v} \right| \quad \dots (161-3) \quad \text{の誘導}$$

付図 1 のように縦幅 a 、横幅無限外の反射面に直角に一樣な電波（反射板各点における入射波強度が一定）が入射している場合を考えます。反射板中心から縦方向 l の点の微小距離 Δl によ



付図 1 反射面の指向性 (立面図)

る反射板から十分遠い P 点の反射電界 \dot{E}_r を

$$\dot{E}_r' = \dot{E}_{\Delta l} e^{j\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \delta} \cdot \Delta l$$

とおくと、この反射面による P での反射電界 \dot{E}_r は、

$$\dot{E}_r = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \dot{E} e^{j\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \delta} dl = \frac{\dot{E}_{\Delta l}}{j\frac{2\pi}{\lambda} \sin \delta} \left[e^{j\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \delta} \right]_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} = \frac{e^{j\frac{2\pi a}{\lambda} \sin \delta} - e^{-j\frac{2\pi a}{\lambda} \sin \delta}}{j\frac{2\pi}{\lambda} \sin \delta} \dot{E}_{\Delta l}$$

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x \quad e^{-jx} = \cos x - j \sin x \quad \text{より}$$

$$\dot{E}_r = \frac{2j \sin\left(\frac{2\pi a}{\lambda} \frac{\sin \delta}{2}\right)}{j \frac{2\pi}{\lambda} \sin \delta} \dot{E}_{\Delta} = \frac{\sin\left(\frac{2\pi a}{\lambda} \frac{\sin \delta}{2}\right)}{\frac{2\pi}{\lambda} \frac{\sin \delta}{2}} \dot{E}_{\Delta}$$

となります。また、 $\delta = 0$ の方向（入射波と反射波が逆方向）での反射電界 \dot{R}_{r_0} は、各微小距離 Δl による反射波が同相で合成されるので

$$\dot{E}_r = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \dot{E}_{\Delta} dl = \dot{E}_{\Delta} \cdot a$$

となり、この反射板の指向性 $D(\delta)$ は、

$$D(\delta) = \frac{\left| \frac{\dot{E}_r}{\dot{R}_{r_0}} \right|}{\left| \frac{\sin\left(\frac{2\pi a}{\lambda} \frac{\sin \delta}{2}\right)}{\frac{2\pi a}{\lambda} \frac{\sin \delta}{2}} \right|} = \frac{\left| \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \delta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \delta} \right|}{\left| \frac{\sin u}{u} \right|} = \frac{\sin u}{u}$$

ただし、

$$u = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \delta$$

なります。