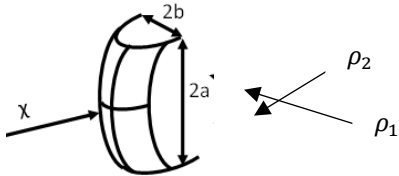
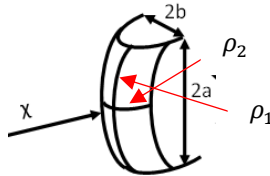


頁	章	行	誤	正
9	2.3.4	左2行目	訓練終了の証明文書	訓練 <b>修</b> 了の証明文書
52	4.1.4	左18行目	sine波よりも <b>バースト波</b> が用いられることが多い。	sine波よりも <b>スパイクパルス波</b> が用いられることが多い。
78	5.1	右2行目	波長 A の	波長 $\lambda$ の
81	5.3.1	図 5.6	<p>図5.6 きずの反射率の定義</p>	<p>図5.6 きずの反射率の定義</p>
82	5.3.1	(5.17)式	$K = P_0 \cdot \frac{\pi D^2}{8\lambda x} = P_0 \cdot \frac{A}{2\lambda}$	$K = P_0 \cdot \frac{\pi D^2}{8\lambda} = P_0 \cdot \frac{A}{2\lambda}$
		(5.17)式の下		(5.17)式の下に下記の文、式を挿入する。 ここで、A：振動子の面積 式(5.14)、式(5.15)及び式(5.17)からきずエコーの受信音圧 $P_F$ は次のように表される。 $\frac{P_F}{P_0} = \frac{A\gamma}{2\lambda x} \quad (5.17')$
	5.3.2	右下13行目	図 5.6	図 5.7
		右下8行目	$r/\sqrt{\lambda x} \leq 0.4$	$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2r \geq 0.7\lambda$
		右下3行目	式(5.19)と式(5.20)を組み合わせると、	式(5.19)と式(5.17')を組み合わせると、
83	5.3.2	左1行目	$r/\sqrt{\lambda x} \geq 0.4$	$2r \geq 0.8\sqrt{\lambda x}$
		左22行目	$0.8/\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$	$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$
		左下10行目	(5.22)を式(5.17)と組み合わせると、	式(5.22)を式(5.17')と組み合わせると、
		左下7行目	$0.8/\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 0.8/\sqrt{\lambda x} \geq 2b \geq 0.7\lambda$	$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2b \geq 0.7\lambda$

83	5.3.2	右下 7 行目	式(5.22)を式(5.20)と組み合わせると,	式(5.22)を式(5.17')と組み合わせると,
84	5.3.2	式(5.28)	$\gamma \cong 66 + \frac{r^3}{\lambda^2 x}$	$\gamma \cong 66 \times \frac{r^3}{\lambda^2 x}$
		図 5.11		
		右上 4~5 行目	式(5.30)を式(5.20)と組み合わせると,	式(5.30)を式(5.17')と組み合わせると,
		式(5.33)	$\gamma = 2 \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + x)(\rho_2 + x)}} \times \sqrt{ S^2(a') + C^2(a')  \times  S^2(b') + C^2(b') }$	$\gamma = 2 \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + x)(\rho_2 + x)}} \times \sqrt{\{S^2(a') + C^2(a')\} \times \{S^2(b') + C^2(b')\}}$
式(5.34)	$a' = 2 \sqrt{\frac{\rho_1 + x}{\lambda \rho_1 x}}, \quad b' = 2 \sqrt{\frac{\rho_2 + x}{\lambda \rho_2 x}}$	$a' = 2a \sqrt{\frac{\rho_1 + x}{\lambda \rho_1 x}}, \quad b' = 2b \sqrt{\frac{\rho_2 + x}{\lambda \rho_2 x}}$		
85	5.3.2	表 5.1	表内の適用条件	添付別紙のとおり。(P4)
		式(5.35)	$\gamma = 2 \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + x)(\rho_2 + x)}}$	$\gamma = \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + x)(\rho_2 + x)}}$
	5.3.3	式(5.39)	$K = P_0 \times \frac{\pi D^2}{8 \lambda x} = P_0 \times \frac{A}{2 \lambda}$	$K = P_0 \times \frac{\pi D^2}{8 \lambda} = P_0 \times \frac{A}{2 \lambda}$
86	5.3.3	左上 5 行目	式(5.40)を式(5.27)に代入して,	式(5.14), 式(5.37)及び式(5.39)から,
93	5.8.4	式(5.60)	$T_F$ : きずエコーのビーム路程	$x_F$ : きずエコーのビーム路程
105	6.3.1	式(6.3)	$\frac{B_F}{B_G} = 1 - \frac{\pi d^2 t}{2x\lambda} \left\{ \frac{2}{2t-x} - \frac{\pi d^2}{8\lambda(t-x)} \right\}$	$\frac{B_F}{B_G} = 1 - \frac{\pi d^2 t}{2x^2 \lambda} \left\{ \frac{2}{2t-x} - \frac{\pi d^2}{8\lambda(t-x)} \right\}$

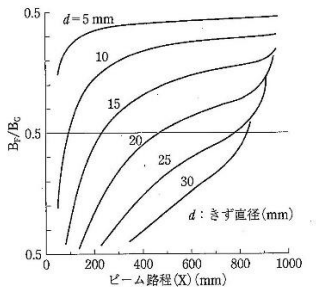
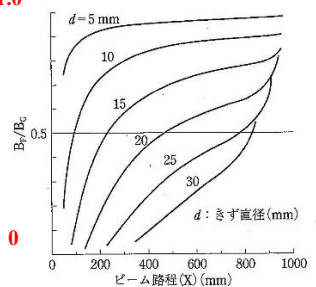
105	6.3.1	図 6.17	 <p>図6.17 試験体の厚さ1000 mm, 周波数 2 MHz のときの <math>B_r/B_0</math> の計算例</p>	 <p>図6.17 試験体の厚さ1000 mm, 周波数 2 MHz のときの <math>B_r/B_0</math> の計算例</p>
177	9.2.3	左 1 行目	圧延方向に進行する場合は <b>X 走査</b> , 圧延方向に直角に進行する場合は <b>Y 走査</b> となる	圧延方向に進行する場合は <b>Y 走査</b> , 圧延方向に直角に進行する場合は <b>X 走査</b> となる
177	9.2.3	左 4 行目	同じ探傷感度であれば, <b>Y 走査</b> の方がエコー高さは高くなる	同じ探傷感度であれば, <b>X 走査</b> の方がエコー高さは高くなる
202	10.5	右 7 行目	…… , また, 使用する探触子の振動子大きさなどの よって……	…… , また, 使用する探触子の振動子の大きさなどに よって……

表 5.1 各種形状のきずの反射率

きずの形状	適用条件	きずの反射率
円形平面	$2r \geq 0.7\lambda$	$2 \sin\left(\frac{\pi r^2}{\lambda x}\right)$ (rad)
	$0.8/\sqrt{\lambda x} \geq 2r$	$2\pi r^2/\lambda x$
	$2r \geq 0.8/\sqrt{\lambda x}$	1
方形平面	$0.8/\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$	$2a\sqrt{2/(\lambda x)}$
	$8/\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 0.8/\sqrt{\lambda x} \geq 2b \geq 0.7\lambda$	$8ab/(\lambda x)$
	$2a \geq 3\sqrt{\lambda x}, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$	1
球	$r \geq 0.1\lambda$	$r/x$
	$r \leq 0.1\lambda$	$66r^3/(\lambda^2 x)$
円柱	$2r \geq 0.2\lambda$ $2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$ (長い円柱)	$\sqrt{\frac{r}{r+x}}$
	$2r \geq 0.2\lambda$ $0.7\lambda \leq 2b \leq 0.8\sqrt{\lambda x}$ (短い円柱)	$2\sqrt{2} \frac{b\sqrt{r}}{\sqrt{(r+x)\lambda x}}$
曲面	$a' = 2\sqrt{\frac{\rho_1 + x}{\lambda\rho_1 x}}, b' = 2\sqrt{\frac{\rho_2 + x}{\lambda\rho_2 x}}$ $a' \geq 3, b' \geq 3$	$\sqrt{\frac{\rho_1\rho_2}{(\rho_1 + x)(\rho_2 + x)}}$

表 5.1 各種形状のきずの反射率 (朱記部修正)

きずの形状	適用条件	きずの反射率
円形平面	$2r \geq 0.7\lambda$	$2 \sin\left(\frac{\pi r^2}{\lambda x}\right)$ (rad)
	$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2r \geq 0.7\lambda$	$2\pi r^2/(\lambda x)$
	$2r \geq 0.8\sqrt{\lambda x}$	1
方形平面	$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$	$2a\sqrt{2/(\lambda x)}$
	$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2b \geq 0.7\lambda$	$8ab/(\lambda x)$
	$2a \geq 3\sqrt{\lambda x}, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$	1
球	$r \geq 0.1\lambda$	$r/x$
	$0.1\lambda > r$	$66r^3/(\lambda^2 x)$
円柱	長い円柱 $2r \geq 0.2\lambda, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$	$\sqrt{r/(r+x)}$
	短い円柱 $2r \geq 0.2\lambda, 0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2b \geq 0.7\lambda$	$2b\sqrt{2r/((r+x)\lambda x)}$
曲面	$2a \geq 3\sqrt{\frac{\lambda\rho_1 x}{\rho_1 + x}}, 2b \geq 3\sqrt{\frac{\lambda\rho_2 x}{\rho_2 + x}}$	$\sqrt{\frac{\rho_1\rho_2}{(\rho_1 + x)(\rho_2 + x)}}$

### 5.3 各種きずの反射率

各種形状のきずによるエコー高さを定量的に取り扱うときによりどころとなる考え方に「きずの反射率」と「形状反射能率」の2つがある。どちらもきずで反射され振動子において受信された超音波の音圧を表現するものであるが、基準の取り方に違いがある。この章ではきずの反射率について解説することにする。

#### 5.3.1 きずの反射率の定義

##### (1) きずの反射率の定義

きずによる超音波の反射の程度を定量的に扱うために、図5.6に示すように、きずの位置に無限に大きくて超音波ビームに垂直な完全反射面が

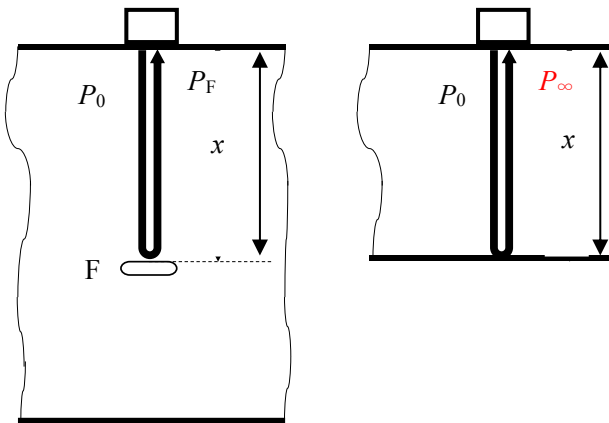


図5.6 きずの反射率の定義

あると仮定して、その無限大平面からの反射波（エコー）の音圧を $P_\infty$ に対するきずによる反射波（エコー）の音圧 $P_F$ の比（ただし、絶対値をとる）をきずの反射率 $\gamma$ と定義している。すなわち次式で表される。

$$\gamma = P_F/P_\infty \quad (5.14)$$

$\gamma=1$ は、無限に大きい完全反射面と同等のエコーを生じることを意味する。

##### (2) きずの反射率ときずによるエコーの音圧との関係

きずの反射率を適用できるのは、少なくとも $n \geq 1$ の遠距離音場に限定される。このような遠距離音場では、音源は点音源とみなすことができる。点音源から発射された超音波は、球面拡散しながら伝搬していくから、その音圧は音源からの距離に反比例して弱まる。したがって、無限に大きい完全反射面からのエコー（反射波の音圧） $P_\infty$ は音源からの距離 $x$ に反比例する。すなわち、

$$P_\infty = K/x \quad (5.15)$$

となる。ここで $K$ は比例定数である。

また無限大の完全反射面からの受信音圧 $P_\infty$ は式(5.8)で示したように、

$$P_\infty = P_0 \cdot \frac{\pi D^2}{8\lambda x} \quad (5.16)$$

式(5.15)と式(5.16)を比較すると、比例定数 $K$ は次のように表される。

$$K = P_0 \cdot \frac{\pi D^2}{8\lambda} = P_0 \cdot \frac{A}{2\lambda} \quad (5.17)$$

ここで、 $A$ ：振動子の面積  
式(5.14)、式(5.15)及び式(5.17)からきずエコーの受信音圧 $P_F$ は次のように表される。

$$\frac{P_F}{P_0} = \frac{A\gamma}{2\lambda x} \quad (5.17')$$

#### 5.3.2 各種きずの反射率<sup>2)-5)</sup>

##### (1) 円形平面きずにおけるきずの反射率

図5.6のF点に超音波の進行方向に垂直な円形平面きずがあるとすると、その円形平面きずの半径を $r$ とすれば、以下のように円形きずの大きさと反射率の関係は整理される。

$2r \geq 0.7\lambda$ （きずが超音波波長より充分大きい）、ただし、きずまでの距離は考慮しないとき

$$\gamma = 2\sin\left(\frac{\pi r^2}{\lambda x}\right) \quad (5.18)$$

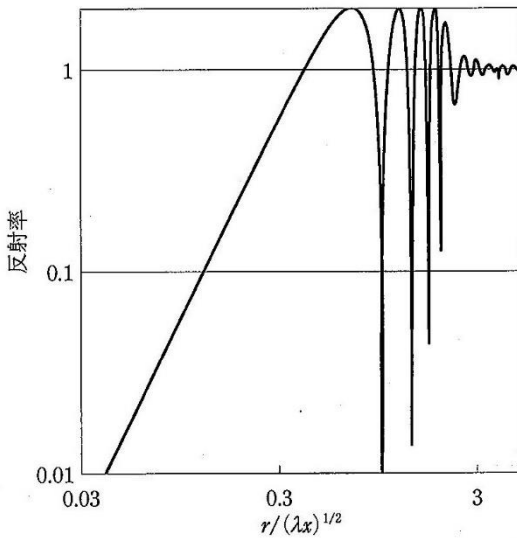


図5.7 円形きずにおける反射率

この関数は、図5.7に示すように、円形平面きずの半径がある程度大きくなる( $r/\sqrt{\lambda x} \cong 0.4$ )と、 $\gamma$ の値は1より大きくなる。それより半径が大きい範囲では、超音波の干渉に起因して、 $\gamma$ の値は2と0の間を往復する。しかし式(5.18)は、 $x \gg \lambda$ の場合に成立する式であるので、実際には0には到達せず、 $\gamma$ の変動は次第に小さくなり、平均値 $\gamma=1$ に次第に近づいて無限大平面の反射率と一致する。なお、図5.7の横軸 $r/\sqrt{\lambda x} \geq 2$ の範囲の曲線は、このことを定性的なイメージとして示したものであり、定量的な意味はない。この点を考慮し、 $2r \geq 0.7\lambda$ の場合で、距離 $x$ に応じて場合分けすると、

$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2r \geq 0.7\lambda$  (きずが超音波波長より充分大きく、かつきずまでの距離がある程度遠い場合)

式(5.18)は近似的に式(5.19)のようになり、 $\gamma$ は円形平面きずの面積 $S = \pi r^2$ に比例する。

$$\gamma = \frac{2\pi r^2}{\lambda x} \quad (5.19)$$

式(5.19)と式(5.17')を組み合わせると、

$$\frac{P_F}{P_0} = \frac{A\pi r^2}{\lambda^2 x^2} \quad (5.20)$$

となる。

$2r \geq 0.8\sqrt{\lambda x}$  (きずが超音波波長より充分大きく、かつきずまでの距離も近い場合) の場合  $\gamma=1$ に次第に近づくことになる。

## (2) 方形平面きずにおけるきずの反射率

図5.6のF点に、超音波の進行方向に垂直な方形平面きずがあるとす。その方形平面きずの(幅)×(長さ)を $2a \times 2b$ とすれば、 $2a \geq 0.7\lambda$ 、 $2b \geq 0.7\lambda$ のとき、きずの反射率は次式で与えられる。

$$\gamma = 2\sqrt{\{S^2(a') + C^2(a')\}\{S^2(b') + C^2(b')\}} \quad (5.21)$$

ここで、

$$a' = 2a/\sqrt{\lambda x}, \quad b' = 2b/\sqrt{\lambda x}$$

また、 $S(Z)$ 、 $C(Z)$ はフレネル積分であり、幅( $2a$ )の細長い帯状きずで、

$$0.7\lambda \leq 2a \leq 0.8\sqrt{\lambda x},$$

$Zb \geq 4\sqrt{\lambda x}$ の場合には、

$$\sqrt{S^2(a') + C^2(a')} = a'$$

$\sqrt{S^2(b') + C^2(b')}$ の値は $0.707 = \sqrt{0.5}$ に次第に近づく。すなわち、式(5.21)を距離 $x$ に応じてさらに場合分けすると、

$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda$ 、 $2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$  (きずが細長い形状で、かつきずまでの距離がある程度遠い場合) の場合

$$\gamma = 2a\sqrt{\frac{2}{\lambda x}} \quad (5.22)$$

すなわち反射率 $\gamma$ は長辺に比例する。さらに、式(5.22)を式(5.17')と組み合わせると、

$$\frac{P_F}{P_0} = \frac{Aa\sqrt{2}}{(\lambda x)^{1.5}} \quad (5.23)$$

となる。

$$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, \quad 0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2b \geq 0.7\lambda$$

(きずが比較的長方形に近く、かつきずまでの距離がある程度遠い場合) の場合

$$\gamma \cong \frac{8ab}{\sqrt{\lambda x}} \quad (5.24)$$

すなわち、小円形平面きずの場合と同様に、小方形平面きずの反射率はその面積に比例する。

$2a \geq 3\sqrt{\lambda x}$ ,  $2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$  (きずが正方形に近く、かつきずまでの距離がある程度近い場合) の場合

$\gamma = 1$ に次第に近づいて無限大平面の反射率と一致する。

(3) 球形きずにおけるきずの反射率

図5.6のF点に球形きずがあるとす。その球形きずの半径を $r$ とすれば、きずの反射率は次式で与えられる。

$$\gamma \cong \frac{2r}{x} \cdot |Z| \quad (5.25)$$

ここで、 $Z$ はステンツェル(Stenzel)の反射係数で、その絶対値 $|Z|$ は図5.8に示すとおりである。ここで、きずの大きさに従い場合分けすると、

$r \geq 0.1\lambda$  (きずが比較的大きい) の場合

図5.8で $kr \geq 0.7$ に相当し、 $|Z|$ の値は0.5に次第に近づくから、式(5.25)は次のようになる。

$$\gamma \cong \frac{r}{x} \quad (5.26)$$

この場合には反射率は波長 $\lambda$ と関係がなくなり、きずの大きさに比例し、距離に反比例することを示している。式(5.26)を式(5.17')と組み合わせると、

$$\frac{P_F}{P_0} = \frac{Ar}{2\lambda x^2} \quad (5.27)$$

となる。また、

$r \leq 0.1\lambda$  (きずが比較的小さい) の場合

きずが小さく、 $r < 0.1\lambda$ の場合には、式(5.25)は式(5.28)のようになる。

$$\gamma \cong 66 \cdot \frac{r^3}{\lambda^2 x} \quad (5.28)$$

すなわち、反射率はきずの径の3乗に比例し、波長の2乗及び距離に反比例する。

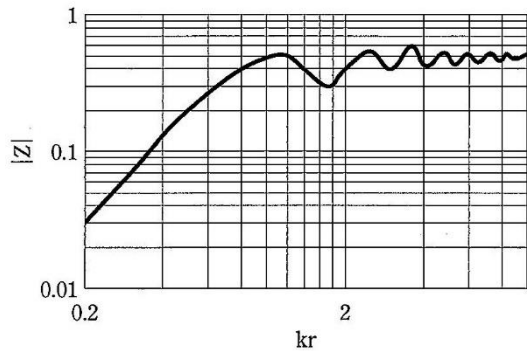


図5.8 ステンツェルの反射係数 (木村)

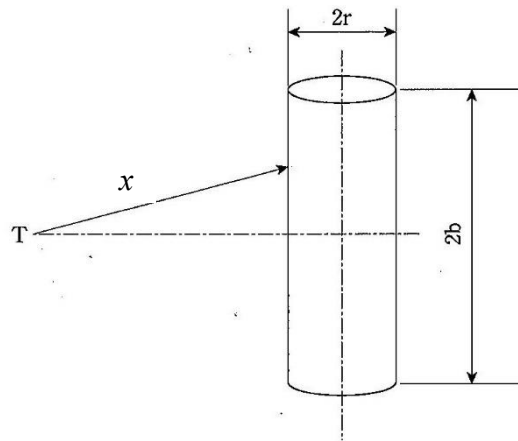


図5.9 円柱面での反射

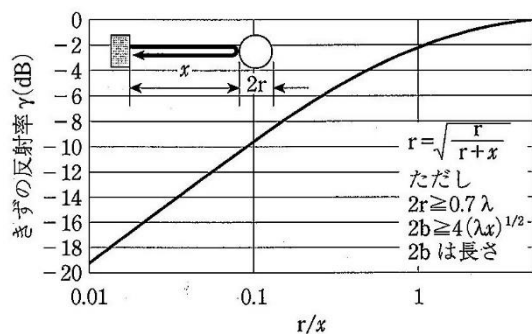


図5.10 円柱形きずにおけるきずの反射率

(4) 円柱形きずにおけるきずの反射率

図5.9に示すように、直径 $2r$ 、長さ $2b$ の円柱形きずの軸に垂直に超音波が入射するときのきずの反



射率は、次式で与えられる。

$$\gamma \cong \sqrt{\frac{2r}{r+x}} \sqrt{S^2(b') + C^2(b')} \quad (5.29)$$

ここで  $b' = 2b/\sqrt{\lambda x}$  である。ある程度の大きさのある円柱 ( $2r \geq 0.2\lambda$ ) について場合分けすると

$2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$  (長い円柱) の場合、

式(5.29)は、式(5.30)のようになる。

$$\gamma \cong \sqrt{\frac{r}{r+x}} \quad (5.30)$$

式(5.30)の計算結果は図5.10で示されており、反射率 $\gamma$ はきずが大きくなるに従って増加し、0dBに漸近することがわかる。式(5.30)を式(5.17')と組み合わせると、受信エコーの音圧は式(5.31)となる。

$$\frac{P_F}{P_0} = \frac{A\sqrt{r}}{2\lambda x\sqrt{r+x}} \quad (5.31)$$

$0.7\lambda \leq 2b \leq 0.8\sqrt{\lambda x}$  (短い円柱) の場合、

式(5.29)は、式(5.32)のようになる。

$$\gamma \cong 2\sqrt{2} \frac{b\sqrt{r}}{\sqrt{(r+x)\lambda x}} \quad (5.32)$$

すなわち、反射率は径と共に、長さ( $b$ )に比例することになる。

(5) 曲面状きずにおけるきずの反射率

図5.11のような曲面状きずに垂直に超音波が入射する場合のきずの反射率は、

$2a \geq 0.7\lambda$ ,  $2b \geq 0.7\lambda$  のとき (きずがある程度大きい場合) の場合、次式で与えられる。

$$\gamma = 2 \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + x)(\rho_2 + x)}} \times \sqrt{\{S^2(a') + C^2(a')\} \times \{S^2(b') + C^2(b')\}} \quad (5.33)$$

ここで、 $a'$ と $b'$ は下式となる。

$$a' = 2a \sqrt{\frac{\rho_1 + x}{\lambda \rho_1 x}}, \quad b' = 2b \sqrt{\frac{\rho_2 + x}{\lambda \rho_2 x}} \quad (5.34)$$

$a' \geq 3$ ,  $b' \geq 3$  (面が大きく湾曲している) すなわ

ち  $2a \geq 3 \sqrt{\frac{\lambda \rho_1 x}{\rho_1 x}}$ ,  $2b \geq 3 \sqrt{\frac{\lambda \rho_2 x}{\rho_2 x}}$  の場合、

式(5.33)のフレネル積分の項が0.5に近づくので、

$$\gamma = \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + x)(\rho_2 + x)}} \quad (5.35)$$

となり、面の大きさに関係なく、曲率と距離によってきずの反射率が決まる。

$a' \leq 0.8$ ,  $b' \leq 0.8$  の場合 (面の湾曲が比較的ゆる

やか) の場合には、

次のようになる。

$$\gamma \cong \frac{8ab}{\lambda x} = \frac{2S}{\lambda x} \quad (5.36)$$

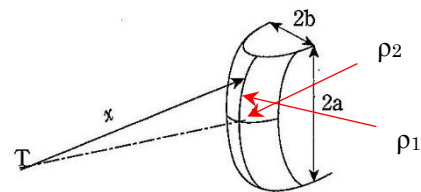


図5.11 曲面上での反射

すなわち反射率は面の大きさに比例することになる。

これらの反射率の結果をまとめたものが表5.1である。

5.3.3 各種きずのエコー高さ

きずの反射率を適用できるのは、少なくとも  $n \geq 1$  の遠距離音場に限定される。このような遠距離音場では、音源は点音源と見なすことができる。点音源から発射された超音波は、球面拡散しながら伝搬していくから、その音圧は音源からの距離 $x$ に反比例して弱まる。したがって無限に大きい完全反射面からのエコー(反射波の音圧 $P_0$ )は、音源からの距離 $x$ に反比例する。すなわち、



$$P_{\infty} = K/x \tag{5.37}$$

となる。ここで、 $K$ は比例定数である。

ところで、先に導いたように、無限大の完全反射面からの受信音圧 $P_{\infty}$ は式(5.38)で表される。

$$P_{\infty} = P_0 \cdot \frac{\pi D^2}{8\lambda x} \tag{5.38}$$

式(5.37)と式(5.38)とを比較すると、比例定数 $K$ は次のように表される。

$$K = P_0 \cdot \frac{\pi D^2}{8\lambda} = P_0 \cdot \frac{A}{2\lambda} \tag{5.39}$$

ここで、 $A$ ：振動子の面積

底面エコーの音圧 $P_B$ は、式(5.38)の $P_{\infty}$ を $P_B$ と置いて得られる。

$$\frac{P_B}{P_0} = \frac{A}{2\lambda x} \tag{5.40}$$

式(5.14)、式(5.37)及び式(5.39)から、きずエコーの受信音圧 $P_F$ は次のように表される。

$$\frac{P_F}{P_0} = \frac{A}{2\lambda x} \cdot \gamma = \frac{A}{2\lambda} \cdot \frac{\gamma}{x} \tag{5.41}$$

きずエコー高さは、きずエコーの音圧に比例するから、振動子の寸法及び周波数が同じ場合には、遠距離音場におけるきずエコー高さは、式(5.41)によって、きずの反射率 $\gamma$ に比例し、更に、きずまでの距離 $x$ に反比例することになる。また標準穴による距離振幅特性曲線を用いてきずエコー高さを評価する場合、標準穴ときずのエコー高さを同じ距離で比較することになるので、きずの反射率の違いだけを考えればよいことになる。

表 5.1 各種形状のきずの反射率

きずの形状	適用条件	きずの反射率
円形平面	$2r \geq 0.7\lambda$	$2\sin\left(\frac{\pi r^2}{\lambda x}\right)$ (rad)
	$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2r \geq 0.7\lambda$	$2\pi r^2/(\lambda x)$
	$2r \geq 0.8\sqrt{\lambda x}$	1
方形平面	$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$	$2a\sqrt{2/(\lambda x)}$
	$0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2a \geq 0.7\lambda, 0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2b \geq 0.7\lambda$	$8ab/(\lambda x)$
	$2a \geq 3\sqrt{\lambda x}, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$	1
球	$r \geq 0.1\lambda$	$r/x$
	$0.1\lambda > r$	$66r^3/(\lambda^2 x)$
円柱	長い円柱 $2r \geq 0.2\lambda, 2b \geq 3\sqrt{\lambda x}$	$\sqrt{r/(r+x)}$
	短い円柱 $2r \geq 0.2\lambda, 0.8\sqrt{\lambda x} \geq 2b \geq 0.7\lambda$	$2b\sqrt{2r/((r+x)\lambda x)}$
曲面	$2a \geq 3\sqrt{\frac{\lambda\rho_1 x}{\rho_1 + x}}, 2b \geq 3\sqrt{\frac{\lambda\rho_2 x}{\rho_2 + x}}$	$\sqrt{\frac{\rho_1\rho_2}{(\rho_1 + x)(\rho_2 + x)}}$