

鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究(その2)

—De法による欠陥長さの推定に関する考察—

藤 盛 紀 明

§ 1. 序

超音波斜角探傷試験において、欠陥寸法を推定する方法として、左右走査および前後走査を行なって一定レベル以上のエコー高さを与える探触子の走査距離を利用する方法がある。第1報¹⁾において D_e 法、 D_s 法と仮称した方法である。 D_e 法はすでに報告したように¹⁾、表面に開口したスリット状傷の深さの推定には利用することはできないが、一般的な傷の長さの推定方法として良く利用されている方法である。 D_e 法を採用した規格には A.W.S²⁾ があり、最大エコー高さから 6dB 差引いたエコー高さ以上のエコー高さを与える接触子の走査距離(すなわち $D_e=6$ dB)を欠陥の走査方向の長さとしている。B.S. 3923³⁾ も類似の方法を採用し $D_e=20$ dB としているが、欠陥長さの推定方法は若干異なっている。文献4)においても $D_e=6$ dB を推奨している。文献5)では人工欠陥および自然欠陥を用いて実験を行ない、 D_e は欠陥寸法やビーム路程等によって異なるとしている。その結果、欠陥の長さが 4mm 以下では D_e は微小で D_e 法は適用し難く、欠陥の長さが 4mm 以上では $D_e=3$ dB が、欠陥の長さが 16mm や 20mm 程度では $D_e=6$ dB が良いとしている。文献6)では雲母板挿入試験片と窓わく挿入試験片を用いて実験を行ない、前後走査による欠陥幅の推定では直射法^{注1)} においては $D_e=6$ dB が、一回反射法^{注2)} においては $D_e=3$ dB が良いとしている。欠陥長さの推定では $D_e=8$ dB~9 dB が良いとしている。NDI 202 小委勧告⁷⁾ では、 D_s 法を採用し、NDI-STB-A2^{注3)}、 $4\phi\times 4$ 、1スキップ距離^{注4)}、50%^{注5)} を基準感度とし、20%以上のエコーの高さ($D_e=-8$ dB)を与える探触子の移動距離(左右走査における走査距離)を欠陥の長さとしている。

このように D_e 法においては D_e の値をいくらにすべきかについて意見が一致していない。本論文は D_e 法によって欠陥の長さを推定する場合に D_e の値をいくらにすべきかについての理論的考察である。計算に際しては

次の仮定を置いた。

- 1) 液体中の連続波の理論による。
- 2) 遠距離音揚とする。
- 3) 3節においては音源を点とし探触子の送受の指向性を無視する。4節においては欠陥の寸法を微小として欠陥からの反射波の指向性を無視する。
- 4) 音の伝播中の散乱、内部摩擦による減衰、欠陥での反射損失は無視する。

§ 2. 点音源の基礎理論式

ϕ なる音源のある空間では(1)式のような波動方程式が成立する。

$$\Delta^2 \phi - \frac{1}{c^2} \ddot{\phi} = 0 \quad \dots\dots(1)$$

ここで ϕ : 速度ポテンシャル c : 音速

ある閉曲面上の速度ポテンシャル ϕ がわかっているとき、音源より r の距離にある点の速度ポテンシャル ϕ_r は Rayleigh⁸⁾ によれば(2)式で与えられる。

$$\phi_r = -\frac{1}{4\pi} \iint \frac{d\phi}{dn} \frac{e^{-jkr}}{r} dS \quad \dots\dots(2)$$

- 注1) 斜角探傷において裏面に反射させないで直接に欠陥をねらう方法。
- 注2) 斜角探傷において裏面に1回だけ反射させて欠陥をねらう方法。
- 注3) 斜角探傷用に作られた標準試験片。(図-11 参照)
- 注4) 斜角探触子の入射点からビーム中心線が裏面に1回だけ反射して探傷面に到達した点までの探傷面上の距離。 $4\phi\times 4$ のドリル穴と斜角探触子をこのような位置において感度を設定する。
- 注5) 探傷器のブラウン管の目盛り板の50%の所に、 $4\phi\times 4$ のドリル穴からのエコーの高さを合はせる。

ここで $-d\phi/dn$: 表面の法線方向の ϕ の変化量, 閉曲面上の一点の速度 U_0 に等しい,

$$k: 2\pi/\lambda$$

λ : 波長

正弦波で駆動されていてエネルギーの放出が半無限の片側に限られている時は(2)式の2倍となる.

$$\phi_r = \frac{1}{2\pi} \iint \frac{U_0 e^{-jkr}}{r} dS \quad \dots\dots(3)$$

音源が点の場合は(3)式は(4)式となる.

$$\phi_r = \frac{U_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \quad \dots\dots(4)$$

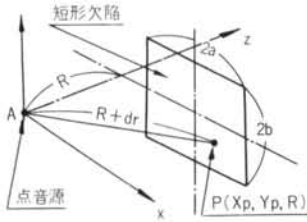


図-1 計算図表(1)

(以下図-1 参照)

点 $P(x_p, y_p, R)$ の速度ポテンシャル ϕ_p は

$$\phi_p = \frac{U_0 e^{-jkr'}}{2\pi r'} \quad \dots\dots(5)$$

$$\text{ここで } r' = \sqrt{R^2 + x_p^2 + y_p^2} = R + dr$$

傷の存在しない時の P 点の粒子速度 U_p は(6)式で与えられる.

$$u_p = -\frac{\partial \phi_p}{\partial R} = \frac{U_0}{2\pi} \cdot \frac{[1 + jk(R+dr)]}{(R+dr)^2} \cdot e^{-jk(R+dr)} \quad \dots\dots(6)$$

遠距離音場の場合 $kR \ll 1$ なので,

$$u_p \doteq \frac{jkU_0}{2\pi} \cdot \frac{e^{-jk(R+dr)}}{(R+dr)} \quad \dots\dots(7)$$

欠陥位置で音が完全反射する時は $u_p + u_{PB} = 0$ による反射波が生ずる。(5)式によればこの $-u_{PB}$ なる反射波による音源位置における反射波の速度ポテンシャル ϕ_{PB} は,

$$\phi_{PB} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{-u_{PB}}{R+dr} \cdot e^{-jk(R+dr)} \quad \dots\dots(8)$$

$x_p \ll R$ ならば

$$R+dr \doteq R \quad \dots\dots(9)$$

$$dr = (R^2 + x_p^2 + y_p^2)^{1/2} - R \doteq (x_p^2 + y_p^2) / 2R \quad \dots\dots(10)$$

したがって

$$\phi_{PB} \doteq \frac{jkU_0}{4\pi^2} \cdot \frac{e^{-2jkR}}{R^2} \cdot e^{-jky_p^2/R} \cdot e^{-jkx_p^2/R} \quad \dots\dots(11)$$

§ 3. $2a \times 2b$ の平面状矩形欠陥の場合

3.1 理論計算

前後走査を行なって最大エコー高さの得られる探触子・欠陥距離^{注6)}で左右走査を行なうものとする. 欠陥平面は音波ビームの進行方向と直角とする(以下図-1 参照).

欠陥からの反射波による A 点(音源位置)における速度ポテンシャル ϕ_A は(11)式から

$$\phi_A = \frac{jkU_0 e^{-2jkR}}{4\pi^2 R^2} \int_b^b \int_{x_1}^{x_1+2a} e^{-jky^2/R} \cdot e^{-jkx^2/R} dx dy \quad \dots\dots(12)$$

$$= \frac{jkU_0 e^{-2jkR}}{2\pi^2 R^2} \left\{ \int_0^b e^{-jky^2/R} dy \right\} \cdot \left\{ \int_0^{x_1+2a} e^{-jkx^2/R} dx - \int_0^{x_1} e^{-jkx^2/R} dx \right\} \quad \dots\dots(13)$$

$$\begin{aligned} \int_0^b e^{-jky^2/R} dy &= \int_0^b \cos(ky^2/R) dy - j \int_0^b \sin(ky^2/R) dy \\ &= \sqrt{\frac{\pi R}{2k}} \left\{ \int_0^{\sqrt{\frac{2k}{\pi R} b}} \cos\left(\frac{\pi}{2} t^2\right) dt \right. \\ &\quad \left. - j \int_0^{\sqrt{\frac{2k}{\pi R} b}} \sin\left(\frac{\pi}{2} t^2\right) dt \right\} \\ &= \sqrt{\frac{\pi R}{2k}} \left\{ C\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} b}\right) - jS\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} b}\right) \right\} \quad \dots\dots(14) \end{aligned}$$

ここで $C(\alpha), S(\alpha)$: Fresnel の積分

同様にして

$$\int_0^{x_1+2a} e^{-jkx^2/R} dx = \sqrt{\frac{\pi R}{2k}} \left[C\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} (x_1+2a)}\right) - jS\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} (x_1+2a)}\right) \right] \quad \dots\dots(15)$$

$$\int_0^{x_1} e^{-jkx^2/R} dx = \sqrt{\frac{\pi R}{2k}} \left\{ C\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} x_1}\right) - jS\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} x_1}\right) \right\} \quad \dots\dots(16)$$

したがって

$$\begin{aligned} |\phi_A| &= |f(R)| \sqrt{\left\{ C\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} b}\right) + S\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} b}\right) \right\}^2} \\ &\quad \cdot \left[\left\{ C\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} (x_1+2a)}\right) - C\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} x_1}\right) \right\}^2 \right. \\ &\quad \left. + \left\{ S\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} (x_1+2a)}\right) - S\left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} x_1}\right) \right\}^2 \right] \quad \dots\dots(17) \end{aligned}$$

注6) 斜角探触子の入射点から欠陥の真上に相当する探傷面上の点までの距離

ここで

$$f(R) = \frac{jU_0 e^{-2jkR}}{2\pi R} \quad \dots\dots(18)$$

$|\phi_A|$ が最大となるのは $x_1 = -a$ (欠陥の中心と音波ビームの中心軸が一致した時) の時である。

$$|\phi_A|_{x_1=-a} = |f(R)| \cdot 2 \sqrt{\left\{ C \sqrt{\left(\frac{2k}{\pi R} a\right)^2} + S \left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} a}\right)^2 \right\} \left\{ C \sqrt{\left(\frac{2k}{\pi R} b\right)^2} + S \left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} b}\right)^2 \right\}} \quad \dots\dots(19)$$

音波ビームの中心軸が欠陥の端部と一致するのは $x_1 = 0$ の時である。

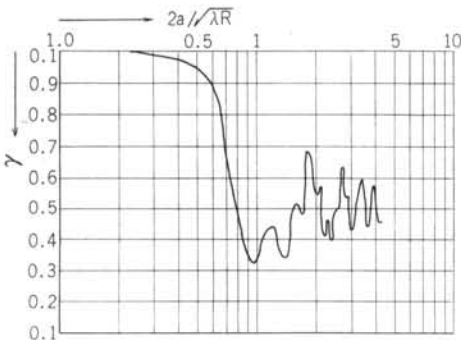


図-2 γ と $2a/\sqrt{\lambda R}$ の関係

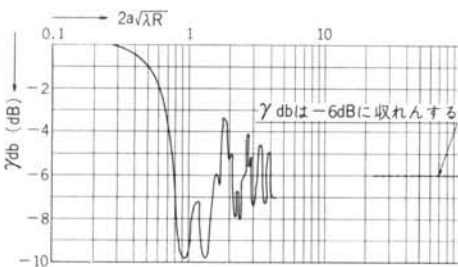


図-3 γ db と $2a\sqrt{\lambda R}$ の関係

$$|\phi_A|_{x_1=0} = |f(R)| \sqrt{\left\{ C \sqrt{\left(\frac{2k}{\pi R} 2a\right)^2} + S \left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} 2a}\right)^2 \right\} \left\{ C \sqrt{\left(\frac{2k}{\pi R} b\right)^2} + S \left(\sqrt{\frac{2k}{\pi R} b}\right)^2 \right\}} \quad \dots\dots(20)$$

したがって音波ビームの中心軸が欠陥の端部に来た時のエコーの高さと最大エコー高さとの比 r は

$$\gamma = \frac{\sqrt{C \left(\frac{4a}{\sqrt{\lambda R}}\right)^2 + S \left(\frac{4a}{\sqrt{\lambda R}}\right)^2}}{2\sqrt{C \left(\frac{2a}{\sqrt{\lambda R}}\right)^2 + S \left(\frac{2a}{\sqrt{\lambda R}}\right)^2}} \quad \dots\dots(21)$$

γ を dB 表示すれば、

$$\gamma_{dB} = 20 \log_{10} \gamma \quad \dots\dots(22)$$

図-2 に $2a/\sqrt{\lambda R}$ と γ の関係を、図-3 に $2a/\sqrt{\lambda R}$ と γ_{dB} の関係を示す。Fresnel の積分の数値計算は文献(9) によった。 $-\gamma_{dB}$ は D_e 法における D_e の値の理論値である。

$2a/\sqrt{\lambda R}$ が小さい場合 (欠陥の長さが短い場合または欠陥までのビーム路程が長い場合) は γ_{dB} は 0 に収斂する。 $2a/\sqrt{\lambda R}$ が大きい場合 (欠陥の長さが長い場合または欠陥までのビーム路程が短い場合) は γ_{dB} は -6 dB に収斂する。

理論計算に際して設けた仮定の 1), 2), 3) および計算の途中で $x_p \ll R$ としたことによって実際の γ_{dB} の値は、図-3 に示したものと幾分異なるものと予想される。

すなわち γ_{dB} はより大きな $2a/\sqrt{\lambda R}$ で 0 に収斂し、より小さな $2a/\sqrt{\lambda R}$ で -6 dB に収斂するものと予想される。中間の振幅の大きさや位置も幾分予想される。しかし、 D_e 法における探るべき D_e の値の定性的傾向は図-3 によって十分知ることができると考える。

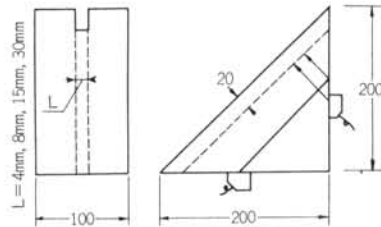


図-4 試験体(1)

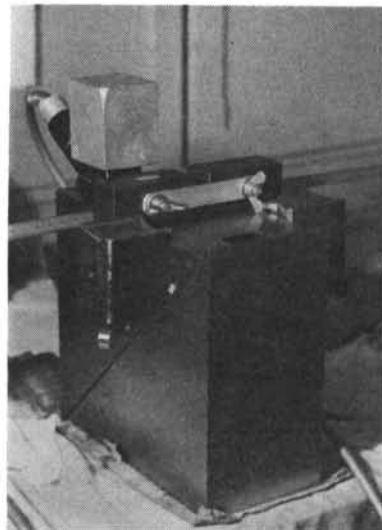


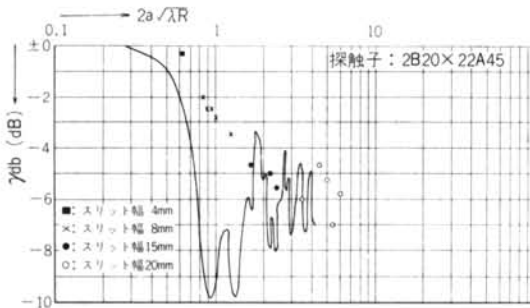
写真-1 スリット傷の左右走査

探傷器	URIP-10W (Krautkrämer)
探触子	2B20×22A45(2-Mhz, BaTiO, 20mm×22mm,45deg.) 2Z10×10A45(2-Mhz, PZT, 10mm×10mm, 45deg.) 4B8×9A45(4-Mhz, BaTiO, 8mm×9mm, 45deg.) 4Z10×10A45(4-Mhz, PZT, 10mm×10mm, 45deg.)
接触媒質	グリセリン

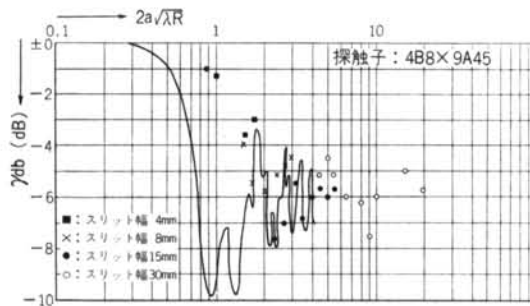
表一 1 探傷装置

探触子	近距離音場 (mm)
2 B 20×22 A 45	about 97
2 Z 10×10 A 45	about 25
4 B 8×9 A 45	about 30
4 Z 10×10 A 45	about 47

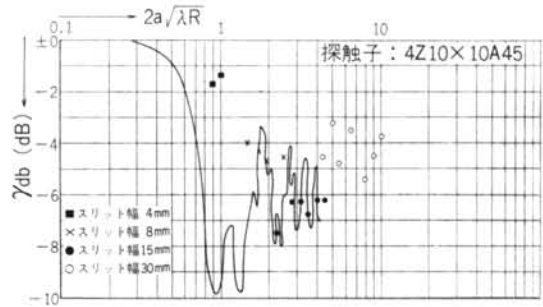
表一 2 使用した探傷触子の近距離音場



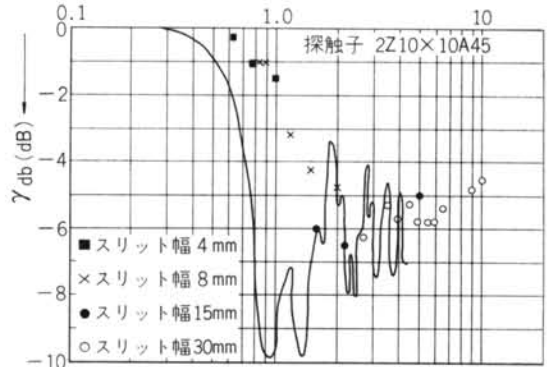
図一 5 D_e 法によって欠陥の長さを推定する場合に採用すべき D_e の値 (2 Z10×10A45の実験結果)



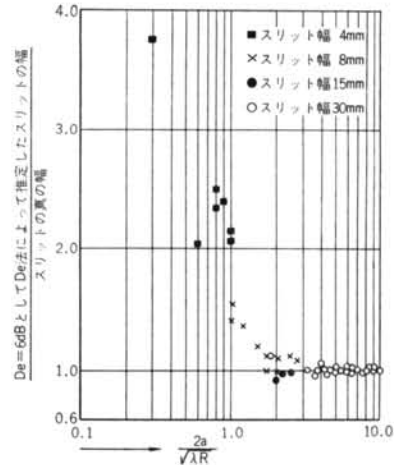
図一 6 D_e 法によって欠陥の長さを推定する場合に採用すべき D_e の値 (2 B20×22A45の実験結果)



図一 7 D_e 法によって欠陥の長さを推定する場合に採用すべき D_e の値 (4 Z10×10A45の実験結果)



図一 8 D_e 法によって欠陥の長さを推定する場合に採用すべき D_e の値 (4 B 8×9 A45の実験結果)



図一 9 $D_e=6\text{db}$ とする D_e 法によって欠陥の長さを評価すると、 $2a/\sqrt{\lambda R}$ が 1.5 よりも大きくなると欠陥の長さを過大に評価する

3.2 人工スリット傷による計算結果の確認

理論計算の結果を確認するために人工スリット傷を使用して実験を行なった。使用した試験片の形状および探傷方法を図-4、写真-1に示す。スリットの幅(2a)の方向に左右走査を行なった。探傷条件の概要を表-1に示す。実験結果を図-5~図-8に示す。定量的には一致しないが、傾向は充分知ることができる。仮定に基づきデータは遠距離音場のもののみ記載した。各探触子の近距離音場の範囲を表-2に示す。図-5~図-8に近距離音場のデータを追加記載した場合、 γ_{dB} の最初の極小値はスリットの幅が小さい程小さな $2a/\sqrt{\lambda R}$ において生じ、かつその時の $|\gamma_{dB}|$ はスリットの幅が小さい程小さくなる傾向を示す。

図-9は実験に使用したスリットの幅を $D_e = 6$ dBとして D_e 法によって推定した場合の誤差を示したものである。 $2a/\sqrt{\lambda R}$ が1.5以下になると誤差が大きくなる。図-3に示すように $2a/\sqrt{\lambda R} = 1.5$ は γ_{dB} が最初に-6 dBとする値である。 $3 > 2a/\sqrt{\lambda R} > 2$ においてはスリットの幅を小さめに推定する傾向が認められるが、これは理論式における傾向と一致する。

§ 4. 小さい欠陥の場合

4.1 理論計算

前節までの平面状矩形欠陥の場合、 $2a/\sqrt{\lambda R}$ が1.5以下になると、 $D_e = 6$ dBとして D_e 法によって欠陥の長さを推定すると誤差が大きくなることが判明した。 $2a/\sqrt{\lambda R}$ が小さい場合、欠陥を点とみなし、その指向性を無視することができると思われる。

矩形ピストン音源の距離の音場は(24)式で表わされる¹⁰⁾。したがって矩形振動子を使用した送受兼用の探触子を用いて前述のような欠陥を走査した時に受信される速度ポテンシャル ϕ_A' は(25)式で表わされる。

(以下図-10参照)

$$\phi_P = \frac{U_0 4 l m e^{-jk(R+dr)}}{2\pi(R+dr)} \left[\frac{\sin(km \cos \alpha)}{km \cos \alpha} \right] \cdot \left[\frac{\sin(kl \cos \beta)}{kl \cos \beta} \right] \quad \dots\dots(24)$$

$$\phi_A' = \phi_P^2 \quad \dots\dots(25)$$

欠陥Pが(0, 0, R)の位置にある時 ϕ_A' が最大となり、その時の値は(26)式で与えられる。

$$\phi_{A'_{x_P, y_P=0}} = \left(\frac{U_0 4 l m e^{-jkR}}{2\pi R} \right)^2 \quad \dots\dots(26)$$

欠陥Pが $(x_P, 0, R)$ の位置にある時の ϕ_A' は(27)

式で与えられる。

$$\phi_{A'_{y_P=0}} = \left(\frac{U_0 4 l m e^{-jk\sqrt{R^2+x_P^2}}}{2\pi\sqrt{R^2+x_P^2}} \right) \cdot \left[\frac{\sin(km x_P / \sqrt{R^2+x_P^2})}{km x_P / \sqrt{R^2+x_P^2}} \right]^2 \quad \dots\dots(27)$$

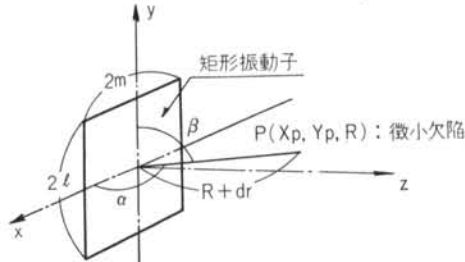


図-10 計算図表(2)

$R \gg x_P$ であれば

$$\phi_{A'_{y_P=0}} \approx \left(\frac{U_0 4 l m e^{-jkR}}{2\pi R} \right)^2 \left[\frac{\sin(km x_P / R)}{km x_P / R} \right]^2 \quad \dots\dots(28)$$

したがって最大エコー高さと、最大エコー高さを与える位置から x_P だけ左右走査を行なった位置におけるエコー高さの比 γ' は(29)式で与えられる。

$$\gamma' = \phi_{A'_{x_P, y_P=0}} / \phi_{A'_{y_P=0}} = \left[\frac{\sin(km x_P / R)}{km x_P / R} \right]^2 \quad \dots\dots(29)$$

D_e 法によって $D_e = 6$ dBとして欠陥の長さを推定する時には $\gamma' = 0.5$ として、

$$\frac{\sin(km x_P / R)}{km x_P / R} = 0.707 \quad \dots\dots(30)$$

$$km x_P / R \approx 1.39 \quad \dots\dots(31)$$

$$2 x_P = 1.39 \lambda R / m \pi \quad \dots\dots(32)$$

(32)式の $2 x_P$ は、指向性を無視する程小さな欠陥を $D_e = 6$ dBとして、 D_e 法によって長さを推定した場合の値である。

4.2 小さなドリル穴による計算結果の確認

理論計算の結果を確認するために、日本非破壊検査協会に配布している斜角探傷試験用感度標準試験片NDI-STB-A2(図-11の)2φ×2, 4φ×4, 8φ×8のドリル穴を利用して実験を行なった。探傷条件は表-1に示すものと同じである。図-12~図-15に実験結果を示す。仮定に基づき遠距離音場の結果のみ記載した。理論値と実験値は良く一致している。近距離音場の場合は理論値と著しく異なった値が得られる。4 B 8 × 9 A45の場合、理論値と幾分異なった値が得られているが、これは理論値の計算にあたって公称周波数より算出した波長を使用したためと考えられ、実際の周波数はこれより幾分低いのではないかと考えられる¹¹⁾。

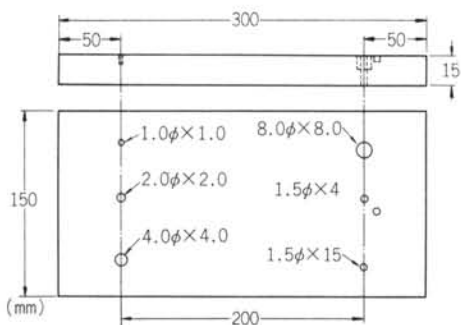


図-11 試験体(2), NDI-STB-A 2

§ 5. まとめ

D_e 法によって欠陥の長さを推定する場合、採るべき D_e の値は欠陥までのビーム路程 R と欠陥の長さ $2a$ によって変えねばならない。 R が小さく $2a$ が大きい場合には D_e の値は 6 dB で良いが、 R が大きく $2a$ が小さい場合には、 D_e の値は 6 dB より小さく採らねばならない。例えば、本実験に使用したようなスリット

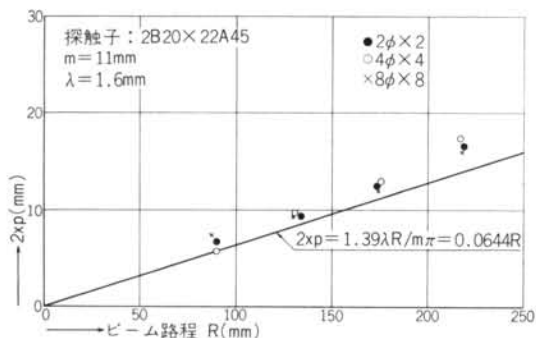


図-12 2 B20×22A45を用いて $D_e=6$ dBとする D_e 法によって試験体(2)のドリル穴の長さを推定した場合

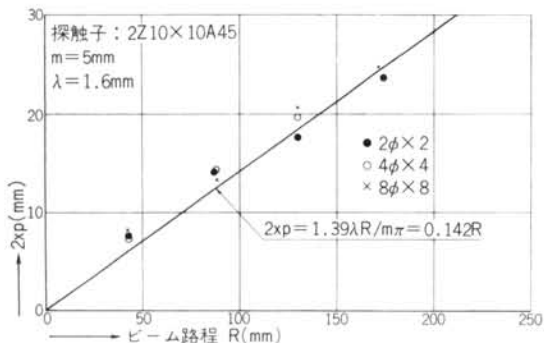


図-13 2 Z10×10Aを用いて $D_e=6$ dBとする D_e 法によって試験体(2)のドリル穴の長さを推定した場合

の場合、 $D_e=6$ dB として D_e 法によってその幅を推定した時の誤差を 2 割以下におさえるためには $2a/\sqrt{\lambda R}$ は 1.5 を越えていなければならない。すなわち $D_e=6$ dB として D_e 法によって推定した欠陥の長さが $1.5\sqrt{\lambda R}$ より大きければその推定値は約 2 割の誤差範囲におさまっているが、 $1.5\sqrt{\lambda R}$ より小さい場合には長さを過大に評価しているおそれがあるといえる。図-16 に $1.5\sqrt{\lambda R}$ と R の関係を示す。 $D_e=6$ dB として D_e 法によって推定した欠陥の長さが図中の曲線の下にある場合は、長さを過大に評価しているおそれがある。 $D_e=6$ dB とした D_e 法によって推定した欠陥の長さの誤差をある程度以下におさえるための $2a/\sqrt{\lambda R}$ の境界値 (本実験では 1.5) は、欠陥の種類や形状によって異なることも予想され、今後自然欠陥を対象としたデータの蓄積が必要である。

$D_e=6$ dB とした D_e 法によって小さな欠陥の長さを推定すると、欠陥の長さに関係なくその推定値は $1.39\lambda R/m\pi$ となる。図-17 に $1.39\lambda R/m\pi$ と R の関係を示す。

溶接部に実際に存在する欠陥は平面状矩形欠陥と異なり、長い欠陥の場合は中央が膨らんでいるものが多いと

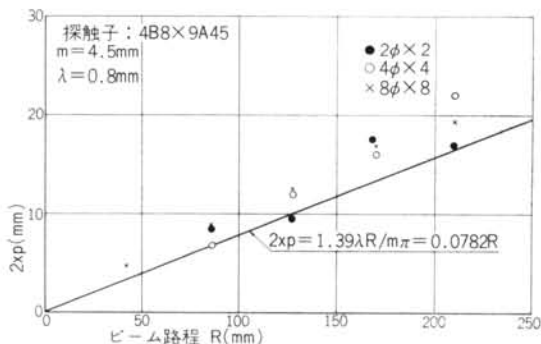


図-14 4 B8×9A45を用いて $D_e=6$ dBとする D_e 法によって試験体(2)のドリル穴の長さを推定した場合

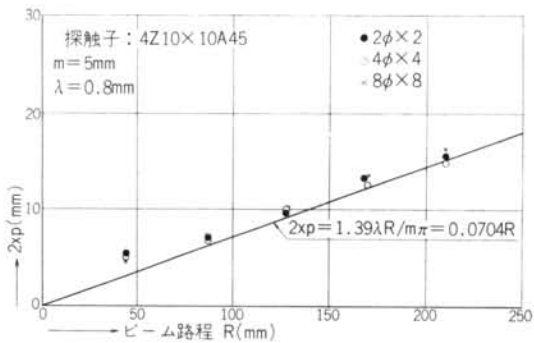


図-15 4 Z10×10A45を用いて $D_e=6$ dBとする D_e 法によって試験体(2)のドリル穴の長さを推定した場合

推察される。そのような場合は、欠陥の実際の長さが $1.5\sqrt{\lambda R}$ より長い欠陥でも、 $D_e = 6\text{ dB}$ として D_e 法によって長さを推定すると、長さを過小評価するおそれがあり、 D_e を 6 dB より大きくとらねばならない。自然欠陥の場合 D_e の値をいくかにすべきかについて、今後自然欠陥を対象としたデータを蓄積、分析して検討しなければならぬ。 D_e の値を 6 dB よりも大きくとった場合、小さな欠陥の長さは $D_e = 6\text{ dB}$ とした時よりもさらに過大に評価する。 D_e 法によって欠陥の長さを推定する場合には、採用した D_e の値に応じて、精度良く推定しうる欠陥の長さの下限値をあわせて検討する必要がある。AWS²⁾において、欠陥の合否判定をおこなう際、欠陥の長さとしては比較的長いと思われる 20mm 、 50mm を区切りとしているのは、本論文において考察したような理由のためと推察される。

D_e 法によって精度良く推定しうる長さ以下の欠陥の

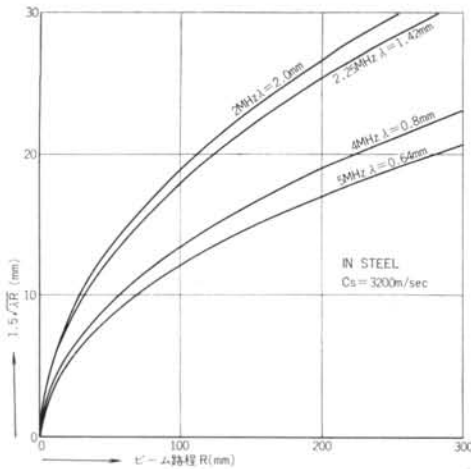


図-16 $D_e = 6\text{ dB}$ とする D_e 法によって推定した欠陥の長さが図中の曲線の上であれば、推定値は真の長さに近いが、曲線の下であれば過大に評価している恐れがある

長さの推定方法としては D_e 法や D_{max} 法が考えられる。

R が大きければ大きい程、 $2a$ が小さければ小さい程エコーの高さは小さいが、 D_e 法においては、一般にエコーが小さければ小さい程、欠陥の長さを短く推定する。

D_{max} 法においては第1報¹⁾において報告したように推定することのできる欠陥の長さ (D_{max} 法においては、直接推定できるのは欠陥の見掛けの面積で、欠陥の寸法については、例えば矩形欠陥の場合は一辺の寸法がわからなければ他辺の寸法を推定することはできない) に上限があるが、ある程度以下の小さな欠陥の寸法の推定には利用できる方法である。

本論文の理論式の誘導にあたっては実吉博士の論文¹²⁾を参考にさせて頂いた。紙上を借りて謝意を表したい。

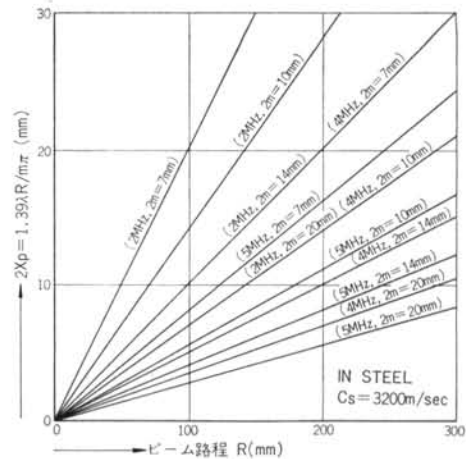


図-17 $D_e = 6\text{ dB}$ とする D_e 法によって微小な欠陥の長さを推定すると、欠陥の長さに関係なく $2\alpha_p$ となる

＜参考文献＞

- 1) 藤盛紀明：“鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究（その1） 表面に開口した長いスリット状傷の深さの推定方法の検討” 建築学会論文報告集第173号 昭和45年7月
- 2) “AWS D1.0-69, Code for Welding in Building Construction, Appendix C”
- 3) “BS 3923, Method for Ultrasonic Examination of Welds, Part 1, 1968, Appendix B”
- 4) R.T. Roehro：“溶接部超音波探傷 ASME 規格の解析（吉田訳）” NDI 202 小委資料, 202-34
- 5) 那波, 山内, 三村：“斜角探傷法による溶接部欠陥の長さ測定に関する一実験” NDI 資料 2343
- 6) 加藤, 古沢, 中野：“溶接継手のモデル欠陥による超音波探傷” 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和44年8月
- 7) NDI 202 小委報告：“鋼溶接部の超音波斜角探傷試験方法および等級分類” NDI 資料 2352
- 8) John William Strutt and Baron Rayleigh：“The Theory of Sound” Volume II, p. 107
- 9) マルセル・ボル（弥永, 矢野共訳）：“万能数値表” 白水社

- 10) 日本學術振興會, 製鋼第19委員會編: “超音波探傷法” 日刊工業新聞社 p. 597
- 11) H.L. Whaley and K.V. Cook: “Ultrasonic Frequency Analysis” *Materials Evaluation*, Vol. 28, No. 3
March 1960
- 12) 実吉: “音波及超音波の反射に就て”, 日本音響学会誌, 昭和18年12月