

鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論 (その3)

——最大エコー高さと引張耐力の相関関係に関する考察——

齊 藤 鉄 夫
(技術研究所)
矢 部 喜 堂
(技術研究所)
倉 持 貢
(技術研究所)
藤 盛 紀 明
(総合企画室)

§ 1. はじめに

既報 (その1)¹⁾ では、鉄筋ガス圧接部に生ずる欠陥の性状と超音波による欠陥検出の可能性について論じ、

(1)欠陥には、引張強度が金属結晶部と同等のフラット部と、引張強度の低い黒灰色欠陥の2種類があり、いずれも薄膜平面状である、

(2)圧接部の引張耐力は、圧接部における黒灰色部面積率に依存する、

(3)厚さ10 μ m以上の黒灰色欠陥は超音波反射法によって検出可能である、

の3点が明らかになった。既報 (その2)²⁾ では、超音波反射法による鉄筋ガス圧接部の評価方法として、送信・受信の2つの探触子を縦リブ上で任意に前後走査したときの最大エコー高さ (以後、単に最大エコー高さと呼ぶ) によって圧接部の品質を評価する手法を提案した。この提案は、呼び名D38の異形鉄筋を用いて行なった実験結果から得られた最大エコー高さと、圧接部の引張耐力の相関関係 (図-1) に根拠を置くものである。

提案した評価方法を現場に適用する前段階として、図-1に示される相関が普遍的に、また径に依存せずに成立するものであることを検証する必要がある。そのため

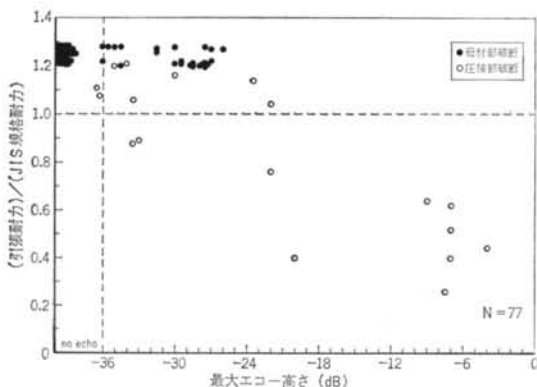


図1 最大エコー高さと引張耐力の関係

図-1 最大エコー高さと引張耐力の関係

には、

(1)最大エコー高さと引張耐力の相関が成立する理論的必然性を明らかにすること、

(2)多数の現場圧接部を用いての相関の確認、の2つが必要である。

上記(1)を検討するためには、以下の点を考察しなければならない。

(i)縦リブからの斜角2探触子法では圧接面の全面を探傷できない。欠陥検出が可能である圧接面上の領域 (探傷可能領域) を明確にすること。

(ii)圧接面内における黒灰色欠陥の発生分布。

(iii)黒灰色欠陥部の面積とエコー高さの関係。

本報では、これらの点を実験・調査で明確にし、その結果を用いて最大エコー高さと引張耐力の相関関係を理論的に導く。

§ 2. 探傷可能領域の同定

2.1 実験概要

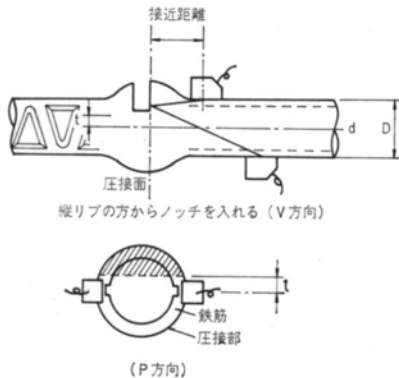
(1)実験の目的

鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法において、縦リブからの斜角2探触子法では圧接面の全面を探傷することは不可能である。最大エコー高さと圧接部の引張耐力の相関が成立する必要性を考察するに当たり、欠陥検出が可能である圧接面上の領域 (探傷可能領域と呼ぶ) を同定する必要がある。

(2)圧接部供試体

呼び名D19、D25、D32およびD51の4種の径の鉄筋ガス圧接部を供試体とした。各径について縦リブで高さの異なる2種類の鉄筋を2体ずつ用いた。圧接作業は、直角に鋸切切断し十分グラインダがけをした端面で標準作業条件で行ない、圧接後圧接面からのエコーが検出されないことを確認した。

(3)ノッチ加工



図一 2 探傷可能領域を同定する実験

呼び名	本 数	林状エコーレベル(平均値)	標準偏差
D19	4	-35.5(dB)	3.6(dB)
D25	4	-36.0	1.4
D32	4	-37.3	3.0
D51	4	-35.5	1.9
総平均	16	-36.1	2.5

表一 1 実験に供した圧接部からの林状エコーレベル

製作した圧接部の圧接面上に、各径のV1, V2試験体に対しては縦リブの方向からノッチを入れ(図一2に示すV方向), P1, P2試験体にはV方向から90°回転した方向からノッチを入れ(図一2に示すP方向), ノッチ深さと対応したエコー高さを測定した。

(4) 探傷条件

使用探触子は5Z5×5A70, 接触媒質は濃度98%以上のグリセリン水溶液である。探傷感度は、縦リブ間の透過パルスの最大値を基準とした。

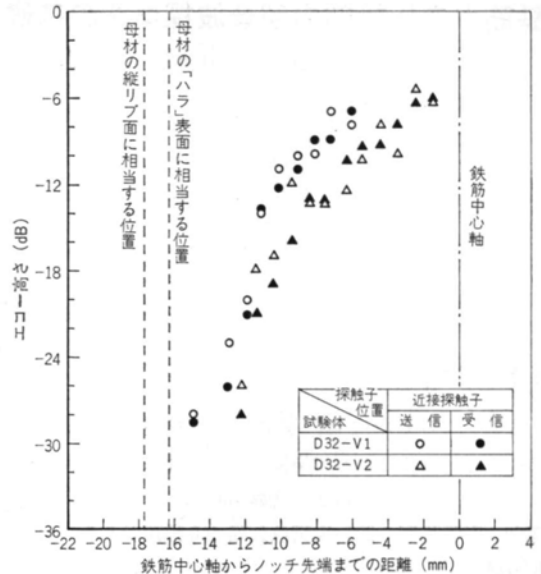
(5) エコー高さの測定

V方向からノッチを入れた場合、1つの探触子を圧接部に最も近接させたときに最大エコー高さを得る。圧接部に近接させる探触子(近接探触子と呼ぶ)を送信探触子にした場合と、受信探触子にした場合のそれぞれについて最大エコー高さを求めた。また、P方向ノッチの場合は2つの探触子を縦リブ上で前後走査させたときの最大エコー高さを測定した。なお、ノッチ加工に先立ち圧接部からの林状レベルを測定した。

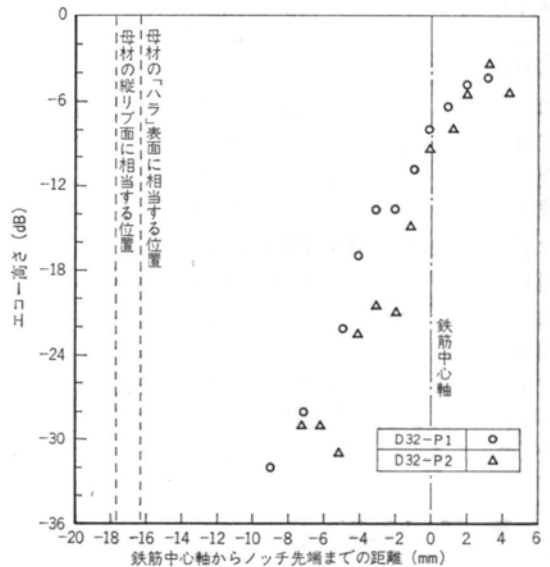
2.2 実験結果

(1) 林状エコーレベル

表一1は圧接部からの林状エコーレベルの測定結果である。径による林状エコーレベルの差は無視でき、-36 dBが欠陥エコーの検出限界であるといえる。この値は、前報²⁾での呼び名D38の鉄筋を用いた実験で得られた林状エコーレベルとも一致している。



図一 3 ノッチ深さとエコー高さの関係 (D32, V方向)

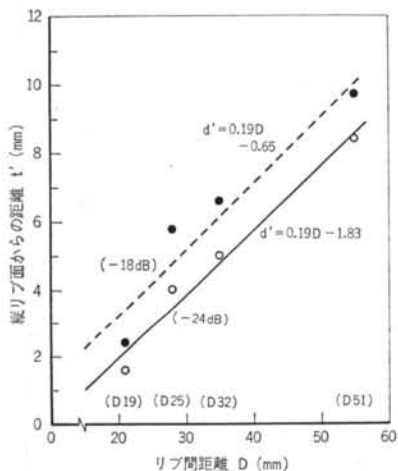


図一 4 ノッチ深さとエコー高さの関係 (D32, P方向)

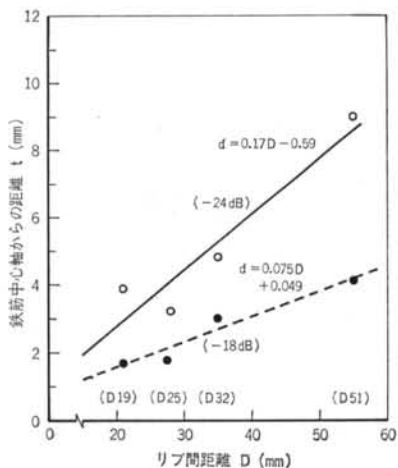
(2) ノッチ深さとエコー高さの関係

図一3, 図一4は、それぞれV方向, P方向からノッチを入れた場合のノッチ深さとエコー高さの関係の実験結果を示したものである。ここでは、一例として呼び名D32の場合を示した。ノッチ深さの増大とともに、エコー高さは大きくなる。V方向ノッチの実験において、圧接部に近接させる探触子を送信側にしても受信側としても、そのエコー高さに有意差はないといえる。

図一5, 図一6は、それぞれV方向, P方向からノッ



図—5 エコー高さがしきい値を越えるノッチ先端の鉄筋中心軸からの距離 (V方向)



図—6 エコー高さがしきい値を越えるノッチ先端の鉄筋中心軸からの距離

チを入れた場合に、エコー高さがしきい値を越えるノッチ深さを示したものである。ここで、しきい値を -24 dB および -18 dB とした。図中の直線は単回帰直線である。

-24 dB をしきい値として選んだ理由は、最大エコー高さと引張耐力の相関関係(図—1)において、赤錆発生端面で圧接した試験体を除いて、規格値以下の耐力で圧接面破断するものは -24 dB 以上のエコー高さを示し、このレベルが合否判定の1つの基準になり得るからである。また、既報(その2)において検出レベルとして提案している -18 dB は、 -24 dB より6 dB (2倍)高いレベルとして参考までに取り上げた。

2.3 考察

探傷可能領域は、矩形振動子を持った斜角探触子の音場を考慮すると、図—7の実線で示されるような形状になると考えられる。これを長軸 $2a$ 、短軸 $2b$ を持った楕円で近似する。 -24 dB をしきい値として考えた場合、 a および b の値は図—5、図—6の回帰式から求まり、

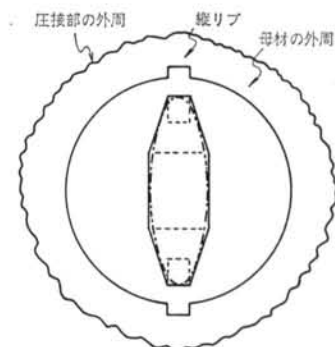
$$\left. \begin{aligned} a &= 0.13D + 1.83 \\ b &= 0.17D - 0.59 \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

となる。ここで、 D はリブ間距離、単位は(mm)である。したがって、楕円の面積 S' は、

$$S' = 0.05\pi(D^2 + 2.43D - 20.5) \dots\dots(2)$$

で表わされる。前報²⁾の実験で使用した呼び名D48を例にとれば、リブ間距離 $D=41.0$ mmとして $S'=292.5\text{mm}^2$ となる。これは、D38の公称断面積 1140mm^2 の25.7%に当たる。圧接部の径は鉄筋径の1.4倍以上でなければならないと規定されているので、圧接面の面積が鉄筋母材の断面積の2倍になっていると仮定すると、探傷可能領域は全圧接面の12.8%である。

表—1は、各呼び名の鉄筋のリブ間距離 D 、楕円に近似した探傷可能領域の長軸 $2a$ 、短軸 $2b$ 、面積 S' および鉄筋母材の断面積の2倍と仮定した圧接面面積に対す



図—7 探傷可能領域の模式図

呼び名	D	$2a$	$2b$	S'	S' 圧接面面積
D19	20.6	16.4	5.8	74.7	0.130
D22	23.9	18.5	6.9	100.3	0.130
D25	27.4	20.6	8.1	131.1	0.129
D29	30.7	22.7	9.3	165.8	0.129
D32	34.2	24.9	10.4	203.4	0.128
D35	37.5	26.9	11.6	245.1	0.128
D38	41.0	29.1	12.8	292.5	0.128
D41	44.5	31.3	14.0	344.2	0.128
D51	54.6	37.5	17.4	512.5	0.126

表—2 各呼び名の鉄筋ガス圧接部の探傷可能領域

る S' の比をまとめたものである。ここで、リブ間距離は JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼) に定められる公称径に、リブの高さの中間値を加えた値とした。

§ 3. 圧接面内における黒灰色欠陥の発生分布

既報 (その1) において欠陥の性状を調査するために用いた現場圧接部 117 体について、圧接面内の黒灰色欠陥の径方向の分布を調査した。調査の方法は、同一倍率で拡大した破面写真に方眼紙を載せ、黒灰色部に入る格子点の数、および格子点の圧接面中心からの距離を測定した。

図-8 はその結果で、圧接面を等しい幅をもった円環で10分割し、それぞれの円環内で数えられた点の数とそれを単位面積あたりに変換した値を示したものである。圧接面の半径を R とすると、中心から $0.6R$ 付近までの中央部での発生密度はほぼ均等であるが、その外側では外周に近づくほど発生密度が大きくなり、最外周部では中央部の約 2.5 倍になる。

圧接面中心から距離 r の点の近傍の黒灰色欠陥発生密度分布関数を $f(r)$ とすると、図-8 の結果から

$$\left. \begin{aligned} f(r) &= a & (0 \leq r \leq R/2) \\ f(r) &= \frac{a}{4} \left\{ 7 + 3 \sin 2\pi \left(\frac{r}{R} - \frac{3}{4} \right) \right\} & (R/2 \leq r \leq R) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

と近似できる。ここで、 a は定数で

$$\int_0^R 2\pi r f(r) dr = 1 \quad \dots\dots(4)$$

で定まる値で、 $R=1$ としたとき $a=0.194$ となる。図-8 の一点鎖線は式(3)を表わしている。

外周部において黒灰色欠陥の発生分布が中央部と比べて高い理由は、加熱加圧による変形時の端面の面積拡大率が外周部では相対的に中央部より小さいために、欠陥発生の要因となる不純物の離散が外周部において小さくなるからであると考えられる³⁾。

§ 4. 探傷可能領域内の黒灰色部面積率

黒灰色欠陥の圧接面内における発生密度分布が分かれば、全圧接面の黒灰色部面積率 (図-9 中の S_0/A_0) から探傷可能領域内の黒灰色部面積率 (図-9 中の S/A) を推定することができる。次に述べるようなモデルを考えて、全圧接面の黒灰色部面積率 (S_0/A_0) と探傷可能領域

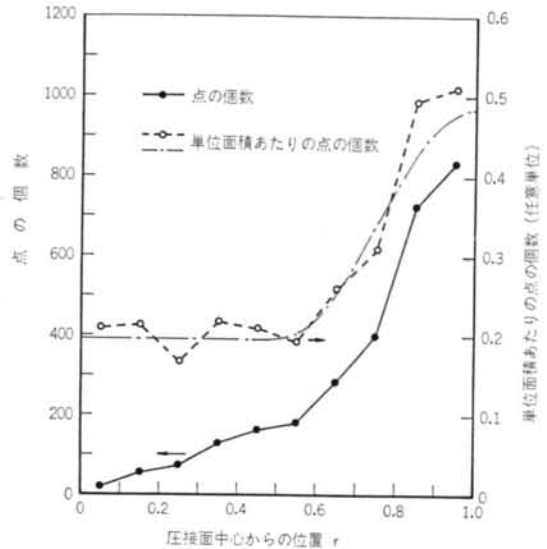
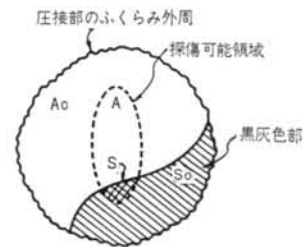


図-8 黒灰色欠陥の圧接面内の分布



A_0 : 全圧接面の面積
 A : 探傷可能領域の面積
 S_0 : 黒灰色部面積
 S : 探傷可能領域内の黒灰色部面積

図-9 全圧接面の黒灰色部面積率 (S_0/A_0) と探傷可能領域内の黒灰色部面積率 (S/A)

内のみの黒灰色部面積率 (S/A) の関係を導いた。

圧接面に欠陥の座があるとすると、この座は全圧接面を他の座と重複することなく覆っており、互いに等しい面積を有している。そして、黒灰色欠陥はこの座を 1 単位として発生すると仮定する。

全圧接面の座の数を N_0 とすると、探傷可能領域内の座の数は αN_0 となる。ここで、 α は探傷可能領域の全圧接面に対する面積比 (図-9 中の A/A_0) で、圧接部径が公称径の 1.4 倍であり、全圧接面面積が母材断面の 2 倍になっているとすると、 $\alpha=0.13$ となる。

n 単位の欠陥が圧接面上に生じるとき、全圧接面の黒灰色部面積率は (n/N_0) である。 n 個の欠陥のうち m 個 ($m \leq n$) が探傷可能領域に入れば、探傷可能領域内の黒灰色部面積率は ($m/\alpha N_0$) となる。ここで、 m 個の欠陥が探傷可能領域内に入る確率 p を求めることができる。

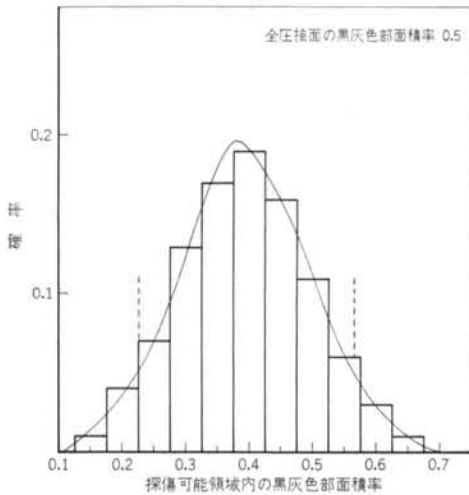


図-10 全圧接面の黒灰色部面積率が0.5のときの探傷可能領域内の黒灰色部面積率の確率分布

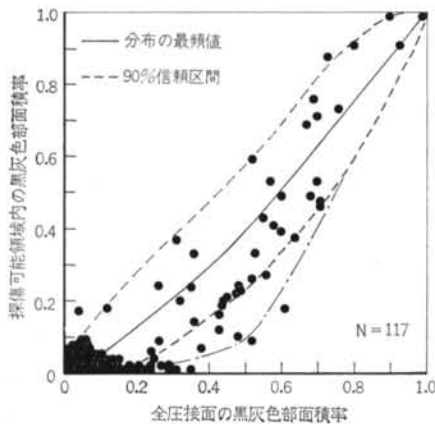


図-11 全圧接面の黒灰色部面積率と探傷可能領域内の黒灰色部面積率の関係

欠陥が1単位ずつ座に分配され、 $i_1, i_2, \dots, i_m$ ($i_1 < i_2 < \dots < i_m$)番目の欠陥が探傷可能領域内の座に分配されるとすると、その確率 Δp は、

$$\begin{aligned} \Delta p = & \left(\prod_{j=1}^{i_1-1} \frac{N' - (j-1)\gamma}{N_0' - (j-1)\gamma} \right) \left(\frac{\alpha N_0}{N_0' - (i_1-1)\gamma} \right) \cdot \\ & \left(\prod_{j=i_1+1}^{i_2-1} \frac{N' - (j-2)\gamma}{N_0' - (j-2)\gamma - 1} \right) \left(\frac{\alpha N_0 - 1}{N_0' - (i_2-2)\gamma - 1} \right) \cdot \\ & \dots \left(\prod_{j=i_{m-1}+1}^{i_m-1} \frac{N' - (j-i_{m-1}-1)\gamma}{N_0' - (j-i_{m-1}-1)\gamma - (m-1)} \right) \cdot \\ & \left(\frac{\alpha N_0 - (m-1)}{N_0' - (i_m-m)\gamma - (m-1)} \right) \cdot \\ & \left(\prod_{j=i_m+1}^n \frac{N' - (j-i_m)\gamma}{N_0' - (j-i_m)\gamma - m} \right) \quad \dots (5) \end{aligned}$$

で表わされる。ここで

$$N_0' = \beta N_0$$

$$N' = N_0' - \alpha N_0$$

$$\beta = \int_0^R 2\pi r f(r) dr / \pi R^2$$

$$\gamma = (\beta - \alpha) / (1 - \alpha)$$

である。なお、式(5)は探傷可能領域が欠陥の発生密度分布が均等である領域 ($r < 0.6R$) にあることにより成り立つものである。確率 p は、 nCm 個のそれぞれ異なる値をもつ Δp の総和である。計算結果の一例として圧接面の黒灰色部面積率が50%の場合、探傷可能領域内の黒灰色部面積率の確率密度分布を図-10に示す。推定される探傷可能領域内の黒灰色部面積率は0.4近傍に最頻値をもち、90%信頼区間が0.25~0.59であるような分布となる。図-11は、圧接面の黒灰色部面積率と探傷可能領域内の黒灰色部面積率の関係を示したものである。実線が上記のモデルで計算された最も確からしい値を、点線が90%信頼区間を示している。

図中のプロット点は、前節において黒灰色欠陥の発生密度分布を調査した117体の現場圧接部の破面を用いて探傷可能領域と考えられる領域の黒灰色部面積率を測定し、全圧接面における黒灰色部面積率との関係を示したものである。117点のうち96点(82%)が点線内に入り、21点(18%)が区間外にある。したがって、式(5)で表わされる黒灰色欠陥の発生分布モデル、および図-11で示される全圧接面の黒灰色部面積率と探傷可能領域内の黒灰色部面積率の関係モデルは、おおむね妥当であるといえる。

探傷可能領域内の実際の黒灰色部面積率は、理論値に対して、全圧接面の黒灰色部面積率が小さい領域で小さく、大きい領域で大きくなる傾向にある。図中の一点鎖線は式(5)で表される理論値とは関係なく、現場圧接部の調査から得られた値(点)を95%程度包含するような曲線である。この曲線は後の考察において用いる。

§ 5. 探傷可能領域内の黒灰色欠陥面積とエコー高さ

斜角探傷において見掛けの振動子寸法が $2d_1$ (横)、 $2d_2$ (縦) であるような矩形振動子の音軸上での音圧 $p(x)$ は近似的に、

$$\frac{p(x)}{p_0} \doteq \sqrt{2 \sin \frac{2d_1^2}{\lambda x}} \sqrt{2 \sin \frac{2d_2^2}{\lambda x}} \doteq \frac{4d_1d_2}{\lambda x} = \frac{A}{\lambda x} \quad \dots (6)$$

で表わされる⁴⁾。ここで、 p_0 は音源の平均音圧を、 x は

振動子と音軸上の点の間の距離を、 A は振動子の見掛けの面積を表わしている。透過パルスの受信探触子位置における音圧 p_p は、リブ間距離を D 、探触子の屈折角を θ とすると、 $p_p = p(D/\cos \theta)$ で表わされる。圧接面の音場内に面積 ΔS の黒灰色欠陥が存在するとき、欠陥位置での送信音圧 p_T は、送信振動子と欠陥の距離を l_T とすると $p_T = p(l_T)$ で表わされる。

欠陥からの反射波の音圧は、面積 ΔS の欠陥を2次音源と考えて上と同様に求めることができる。受信探触子位置における音圧 p_R は、面積 ΔS の2次音源の振幅に $\sin \theta$ がかかるので、

$$\frac{p_R}{p_T} = \zeta \frac{\Delta S \sin \theta}{\lambda l_R} \quad \dots\dots(7)$$

となる。ここで、 ζ は欠陥の反射能率、 l_R は欠陥と受信探触子の間の距離で、 $l_T + l_R = D/\cos \theta$ である。したがって、透過パルスを基準としたときの欠陥からのエコー高さ (p_R/p_p) は、

$$\frac{p_R}{p_p} = \zeta \frac{(l_T + l_R) \Delta S \sin \theta}{\lambda l_T l_R} \quad \dots\dots(8)$$

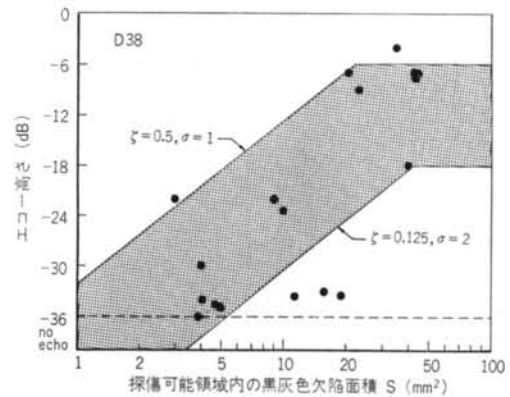
となる。一方、 ΔS と探傷可能領域内の黒灰色部面積率 S の関係を $S = \sigma \Delta S$ とすると、 σ は黒灰色欠陥が探傷可能領域内にどのように分割されて存在しているかを示す値である。 S を用いて式(8)を表現すると、

$$\frac{p_R}{p_p} = \zeta \frac{(l_T + l_R) S \sin \theta}{\lambda l_T l_R \sigma} \quad \dots\dots(8')$$

となる。

既報(その1)で調査した現場圧接体117体の破面について、探傷可能領域と考えられる領域に黒灰色欠陥がどのように分割されて存在しているかを調べた。探傷可能領域内に黒灰色欠陥が存在した49体のうち、1箇にまとまっていたもの29体、2箇に分割されていたもの18体、3箇に分割されていたもの2体であった。したがって、 $\sigma = 1, 2$ と考えるとよい。

欠陥の反射能率 ζ は無限大欠陥に対する値で、ビームの入射角と黒灰色層の厚さによって定まる¹⁾。ここで、 $0.125 \leq \zeta \leq 0.5$ とした。これは、屈折角 70° のときの黒灰色層の厚さとエコー高さの関係の実験結果¹⁾における厚さ $10 \mu\text{m}$ 以上に対応するものである。厚さが $10 \mu\text{m}$ 以上では引張強度はほとんどなく、エコー高さが -18dB ($\zeta = 0.125$)以上あり検出可能とされたものである。厚さ $10 \mu\text{m}$ 未満の場合、エコー高さが低く、検出の可能性が小さくなる。また、引張強度も規格値の $0.8 \sim 1.0$ 倍程度存在する。黒灰色層の厚さを $10 \mu\text{m}$ 以上と仮定したのは、前報²⁾で述べたように $10 \mu\text{m}$ 未満のものは現場圧接部には少ないと考えられること、丸棒試験体における黒灰色



図一12 探傷可能領域内の黒灰色欠陥面積とエコー高さの関係
部面積率と引張耐力の関係¹⁾において黒灰色部の引張強度を0とすると実験結果をよく説明できたことによる。

図一2は、呼び名D38の場合について式(8)'を用いて計算した探傷可能領域内の黒灰色部面積 S とエコー高さの関係である。図中の打点された領域が式(8)'を表わしている。ここで、 $\sigma = 1, 2, 0.125 \leq \zeta \leq 0.5$ である。

図中のプロット点は、前報²⁾における呼び名D38に関する実験結果で、探傷可能領域内の黒灰色部面積と最大エコー高さの関係を表わしたものである。式(8)'で表わされる領域の下限値より数dB低いエコー高さを示す試験体が3体存在する。これは、直角に鋸切切断した端面を発錆させて圧接した試験体である。この場合、黒灰色欠陥の厚さは $10 \mu\text{m}$ 未満で反射波の強さが小さく、検出が困難とされたものである。これらの点を除くと実験値は式(8)'とよく一致しており、式(8)'が妥当なものであることを示している。

図一2の計算において、黒灰色欠陥は探傷可能領域の中央にある。すなわち、 $l_T = l_R$ であるとした。 $l_T + l_R =$ 一定であれば、 $l_T = l_R$ のときエコー高さは最も小さくなる。この場合、同一形状の欠陥が探傷可能領域の外周部にある場合に比較し、エコー高さが 1.5dB 低い。したがって、図一12の計算値は欠陥検出の観点から安全側なものといえる。

最大エコー高さを示す探触子位置が、

$$l_T + l_R = D/\cos \theta \quad \dots\dots(9)$$

で表わされる位置から離れた場合のエコー高さは、式(8)'の他に探触子の指向性に依存する。しかし、振動子寸法 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 、屈折角 70° の探触子の指向性は非常に大きい²⁾ので、指向性の効果を見捨てエコー高さの変化を議論する。最大エコー高さを示す探触子位置の式(9)からのずれは、前報²⁾の実験結果から、

$$0.75 D/\cos \theta < l_T + l_R < 1.25 D/\cos \theta$$

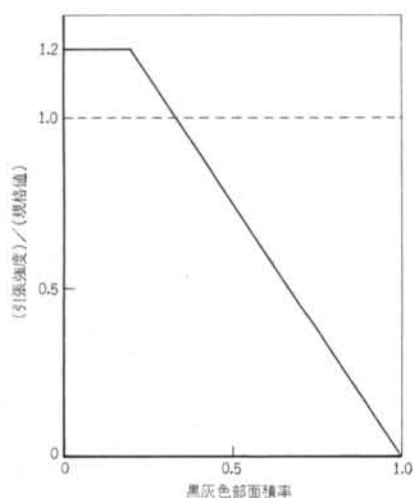


図-13 黒灰色部面積率と引張耐力の模式図

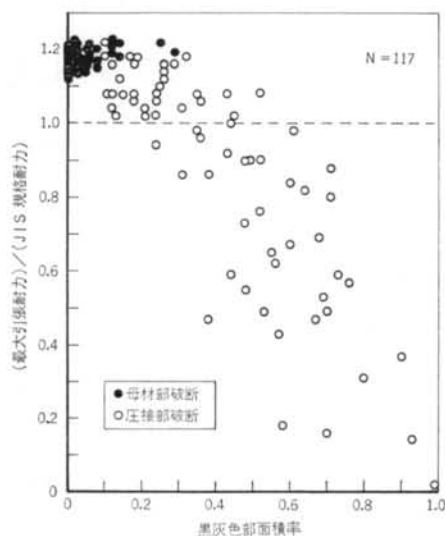


図-14 現場圧接体における黒灰色部面積率と引張耐力の関係の範囲にあるといえる。このとき、式(8)'で求まるエコー高さ(p_R/p_P)は、式(9)の場合に比べ(+2.5 dB)~(-1.0 dB)の範囲で変化する。したがって、探触子位置の式(9)からのずれによるエコー高さの変化は小さく、距離補正の必要はないと考えられる。

§ 6. 最大エコー高さと引張耐力の相関の導出

圧接部の引張耐力は圧接面中の黒灰色部面積率によって定まり、図-13に模式的に示されるような関係があ

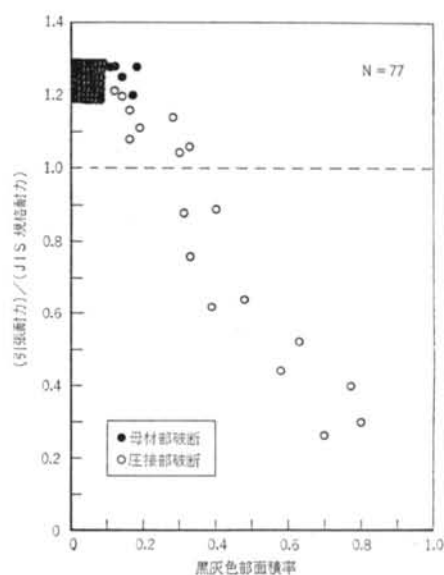


図-15 黒灰色部面積率と引張耐力の関係

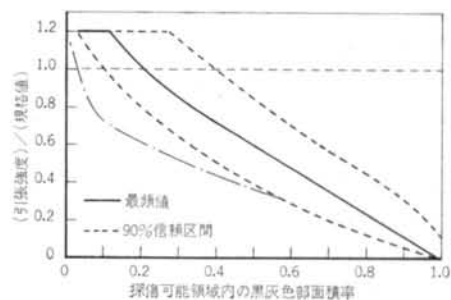


図-16 探傷可能領域内の黒灰色部面積率と引張耐力の関係。ここでは、現場圧接部の調査結果(図-14)¹⁾および前報²⁾での実験結果(図-15)から、黒灰色部面積率が0.2以下では母材と同等の引張耐力を示すとした。また、母材の耐力は JIS 規格値の1.2倍であるとした。

圧接面の黒灰色部面積率(図-9の S_0/A_0)と探傷可能領域の黒灰色部面積率(図-9の S/A)との間には、図-11に示されるような関係があるので、図-13の横軸(圧接面の黒灰色部面積率)を探傷可能領域の黒灰色部面積率を用いて表わすと図-16になる。なお、同図における実線、点線、一点鎖線は図-11の場合と同様な意味を持つ。一方、探傷可能領域内の黒灰色部面積とエコー高さの関係は、呼び名D38を例とした場合図-12で表わされる。図-12および図-16から、探傷可能領域の黒灰色部面積を消去すればエコー高さと圧接部の引張耐力の関係を導くことができ、図-17のようになる。図中の実線で囲まれた領域が図-16の実線に相当し、点線で囲まれた領域が90%信頼区間に相当する。ここで、D38の場合

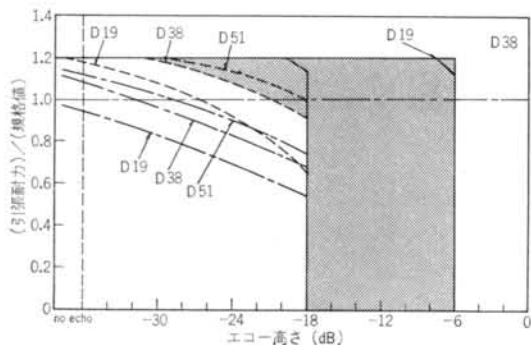


図-17 エコー高さと引張耐力の関係

と細径のD19および最大径のD51の場合を併せて示す。エコー高さと引張耐力の相関のばらつきは、黒灰色部の厚さによるエコー高さの変化に起因していることが明らかである。また、エコー高さと引張耐力の相関は鉄筋径に依存せず成立するといえる。

図-17は、探傷可能領域および黒灰色欠陥の圧接面内分布の実測から理論的に導いたエコー高さと引張耐力の関係である。第2報²⁾で報告したエコー高さと引張耐力の関係の室内実験結果(図-1)とよく一致している。したがって、エコー高さと引張耐力との相関は、

- (i) 引張耐力と黒灰色部面積率の関係(図-13, 14, 15)
- (ii) 圧接面の黒灰色部面積率と探傷可能領域内の黒灰色部面積率との関係(図-11)
- (iii) 探傷可能領域内の黒灰色欠陥の面積とエコー高さの関係(図-12)

から必然的に成立するものであるといえる。ただし、母材と同等程度の引張耐力を有し、かつエコー高さが高いものは理論的には存在するが、図-1に示される実験結果には表われていない。また、図中の一点鎖線は図-11の一点鎖線に対応するものである。すなわち、図-11においてモデル値からはずれる実験値をも包含する一点鎖線に対応するものである。これらの領域に相当する圧接部が存在するか否かを、現場への適用実験で確認する必要がある。

<参考文献>

- 1) 斉藤鉄夫, 矢部喜堂, 倉持 貢, 藤盛紀明: “鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その1: 欠陥性状の把握と探傷手法の検討)” 清水建設研究報告 Vol.40 (1984年)
- 2) 斉藤鉄夫, 矢部喜堂, 倉持 貢, 藤盛紀明: “鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その2: 品質評価手法の検討)” 清水建設研究報告 Vol.41 (1984年)
- 3) 大石橋宏治: “圧接時の面積拡大率” 溶接学会抵抗溶接研究委員会資料 RW-190-81 (1981年)
- 4) 仙田富男, 廣瀬貞雄, 裏垣 博, 西田健陽, 新川裕幸: “斜角探触子の音場特性と各種反射源の距離振幅特性について” 日本非破壊検査協会資料 No.2695 (1978年)

§. 7 まとめ

既報(その1)¹⁾, (その2)²⁾において、鉄筋ガス圧接部の超音波探傷試験による品質評価手法を検討した。そして、送信・受信の2つの探触子を縦リブ上で任意に前後走査したときに得られる最大エコー高さをを用いて、圧接部の品質を評価する手法を提案した。これは、最大エコー高さと圧接部の引張耐力の関係の実験結果(図-1)に根拠を置くものである。本報では、この相関関係が径に依存しないで必然的に成立するものであることを、以下の順序で導いた。

第一に、圧接面内の探傷可能領域を求めた。探傷可能領域は鉄筋中心を中心とし縦リブ方向に長い楕円で近似でき、その面積はしきい値を-24 dBとした場合、母材断面面積の約26%、圧接面が母材断面面積の2倍であるとすると圧接面面積の約13%となる。

第二に、黒灰色欠陥の圧接面内発生分布を実測した。そして、中央部ではほぼ均一な発生密度分布を示すが、外周部では中央部より大きな値を示し、最外周部では中央部の2.5倍の発生密度となることが分かった。黒灰色欠陥の発生密度分布と探傷可能領域から、圧接面全面の黒灰色部面積率と探傷可能領域内の黒灰色部面積率の関係を求めた。これを基本として、

- (i) 探傷可能領域内の黒灰色欠陥部の面積とエコー高さの関係
 - (ii) 圧接部の引張耐力と黒灰色部面積の関係
- を用いて、最終的に引張耐力とエコー高さの関係を導いた。

以上の考察により、鉄筋ガス圧接部の引張耐力とエコー高さの相関は必然性を有するものであること、またこの相関関係は径に依存しないこと、および相関関係のばらつきは主に黒灰色欠陥の厚さによるエコー高さの変化に起因するものであることが分かった。

最後に、本研究の遂行にあたりご指導・ご助言を頂いた東京工業大学精密工学研究所 奥島基良教授に心から感謝の意を表します。