

鋼中の非金属介在物の超音波探傷に関する研究（その2）

石川 登
藤盛 紀明

§ 1. はじめに

前報¹⁾で述べたごとく、鋼構造物の柱-梁接合部の柱フランジの板厚方向引張特性は、構造物の安全上留意しなければならない重要な要素となってきた。特に、鋼板中に非金属介在物が含まれた場合には、介在物の切欠効果によりその板厚方向の延性低下が顕著となる²⁾。

これらの非金属介在物が柱-梁接合部の継手性能に及ぼす影響を検討し、また鉄骨の品質管理に反映させるためには、鋼板中の非金属介在物の非破壊的な検査手法を確立する必要がある。

前報では、JIS G 0801による超音波探傷法、水浸焦点探触子を用いたCスコープ法、直接接触格子点探傷法およびアクリル遅延法により非金属介在物を含む鋼板を探傷し、Cスコープ法による結果と前述した他の探傷法による結果との相関について報告した。

前報においてCスコープ法の結果を重視したのは、Cスコープ法では欠陥像が放射線透過試験の透過写真のように投影された平面図として認識され、直感的に欠陥の分布・形状・寸法を知ることができるからである。

しかしながら、前報においてはCスコープ像と欠陥の実像との関係については言及しなかった。本報は、この点に関して調査した結果をまとめたものである。

また、Cスコープ法は実験室的な探傷法であり、現場的でない。そのため、現場的な探傷法としてアクリル遅延法に着目し、この探傷法の欠陥寸法の推定能力等についても報告する。

§ 2. 供試材料

供試材料は、溶接構造用圧延鋼材(SM50A)とし、連続鋳造圧延法により板厚32mmに圧延した鋼板を使用した。その化学成分ならびに圧延方向の機械的性質を表1に示す。

§ 3. 実験方法

3.1 超音波探傷試験

超音波探傷試験は、以下に示す種類の方法により行なった。

1) Cスコープ法

自動探傷法の一つであり、水中にて探触子を自動的にX-Y走査し、鋼板内の介在物の平面分布図を得る。探触子としては、水浸焦点探触子を用いた。探触子の性能および探傷感度を表-2に示す。

2) アクリル遅延法

供試鋼板と探触子間にアクリルを介在させて、ビーム路程を大きくした探傷法である。それにより規準化距離 n の値をAVG線図の適用可能な範囲とし、鋼中の介在物の寸法をAVG線図を用いて推定する。

本試験に使用した探触子を写真-1に、その性能を表-2に示す。

3.2 介在物の実寸法の測定

鋼板の介在物を含む部分を、図-1に示すように厚さ1mm、切り代0.5mmの短冊状の薄片に切断する。

薄片の切断面が表面に出るように樹脂中に埋め込む。薄片の断面を研磨し、その後顕微鏡にて観察し、介在物の実像の寸法を測定する。これらを順次繰返し、介在物の形状と寸法を得る。

C ×100(%)	Si ×100(%)	Mn ×100(%)	P ×1000(%)	S ×1000(%)
17	37	140	22	8
σ_y (kg/mm ²)		σ_b (kg/mm ²)		E_t (%)
35.8		54.7		27.4

表-1 化学成分と機械的性質

§ 4. 実験結果と考察

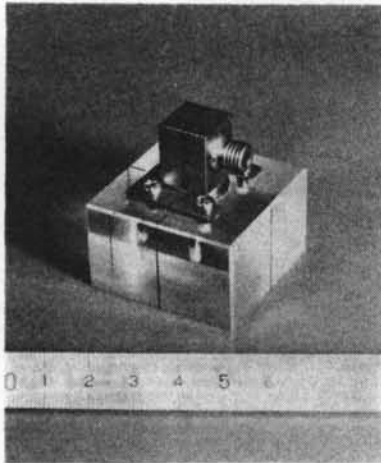
4.1 介在物の性状

介在物の顕微鏡組織を写真一2に示す。介在物は、鋼板の板厚中央付近に薄い箔状となって分布していた。本供試鋼板に含まれていた介在物は、主として MnS 系であった。また、介在物と鋼の基地との界面は大部分が密着状態となっていた。

4.2 Cスコープ法の欠陥検出性能

4.2.1 Cスコープ法の欠陥寸法測定精度

平底穴を有する対比試験片を用いて、Cスコープ法の欠陥寸法の測定精度を検討した。対比試験片には、径を2mm～11.3mmの6段階に、深さを5mm～25mmの5段階に



写真一1 アクリル遅延用探触子

	Cスコープ法	アクリル遅延法
探傷器	UM731 東京計器特製	UFD-305 D 三菱電機特製
探触子	水浸焦点探触子 パナメトリック社製 周波数 10 MHz 振動子直径 0.25 in. 水中焦点距離 2 in. 焦点直径 約 0.8 mm	垂直探触子 KGK 製 周波数 5 MHz 振動子直径 10 mm
接触媒質	水	グリセリン濃度98.5%以上
探傷感度	STB-N1 5.6φ 平底穴を記録紙上で約 5.6φ に表示させるような感度	STB-N1 5.6φ のエコー高さより 12 dB 低いエコー高さ
その他	走査ピッチ 0.01 in. 焦点位置：鋼板表面より深さ 15 mm の位置	アクリル厚さ 25 mm

表一2 探傷条件

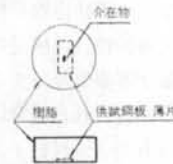
変えた平底穴を設けた。探傷に際しては、探触子の焦点が試験片の深さ15mmの位置に結ばれるように調整した。

図一5に示すように、平底穴のCスコープ像の径は焦点の深さ付近で最大となり、平底穴の深さが焦点位置から外れるにつれて、Cスコープ像の径は次第に小さくなる。

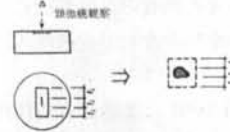
また、焦点の深さ付近に位置する平底穴のCスコープ



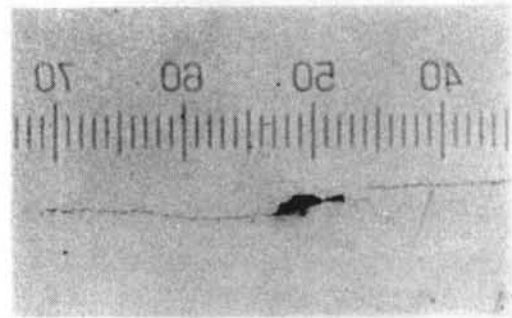
図一1 供試鋼板の切断方法



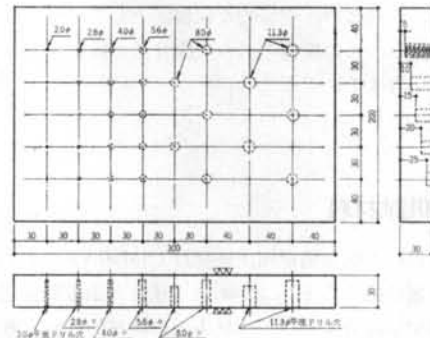
図二 薄片試験片の埋め込み方法



図三 介在物実像の寸法測定方法



写真二 介在物のマイクロ組織



図四 垂直探傷対比試験片 (RB) の寸法形状

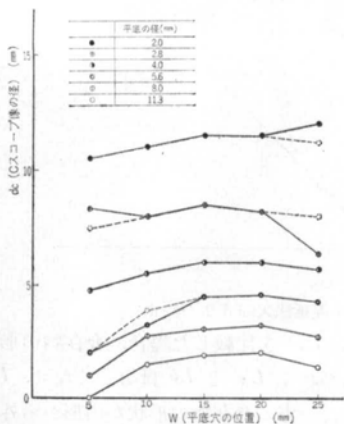


図-5 Cスコープ像の径と平底穴の位置の関係

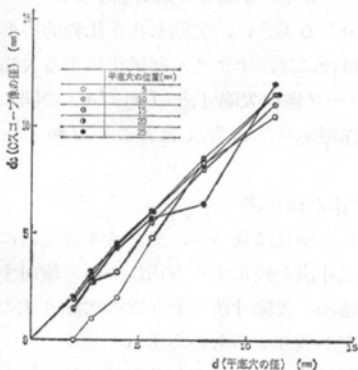


図-6 Cスコープ像の径と平底穴の径の関係

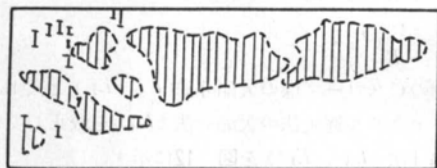


図-7 Cスコープ像と実像との比較
像の径は、実際の平底穴の径と良い対応を示す。
以上のように、平板状の欠陥に対するCスコープ法の

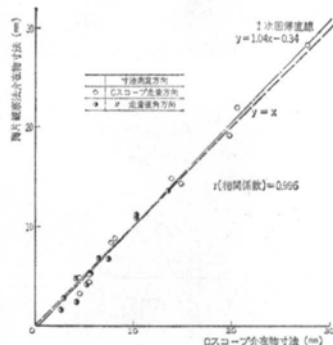


図-8 介在物のCスコープ像と実像との比較

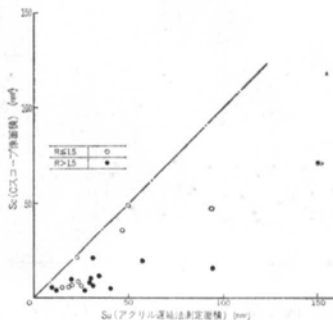


図-9 Cスコープ法とアクリル遅延法の欠陥面積

測定精度は、焦点近傍の欠陥に対しては高いが、焦点から外れた位置にある欠陥に対しては欠陥の寸法を過小に評価する。

4.2.2 介在物のCスコープ像と実像との対応

介在物のCスコープ像の一例を図-7に示す。顕微鏡観察から得られた介在物の実験の形状を、図-7に併せて示す。

また、Cスコープ像と実像の寸法を比較して、図-8に示す。

Cスコープ像は実像の形状・寸法と良い対応を示している。したがって、Cスコープ法は介在物のような平面状の欠陥の形状や寸法を測定する手法として有効なものと考えられる。

4.3 アクリル遅延法による欠陥寸法の推定

4.3.1 介在物に対するAVG線図の適用性

介在物のCスコープ像の欠陥面積 (S_c) と、アクリル遅延法の測定結果をAVG線図を用いて求めた欠陥面積 (S_u) を図-9に示す。両者は余り良い対応を示していない。

AVG線図による欠陥寸法の推定は、円形平板状の欠陥に超音波が垂直に当たる場合のみ適用できる。本実験で対象とした介在物は、大部分が鋼板の圧延方向に伸

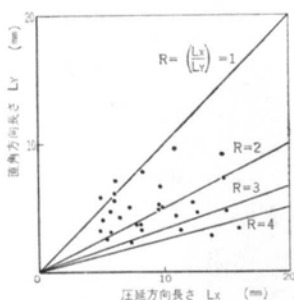


図-10 介在物の寸法

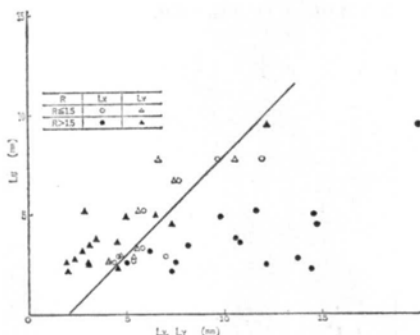


図-11 Cスコープ像欠陥寸法とアクリル遅延法欠陥寸法

びた形状を呈していた。介在物の圧延方向の寸法 (L_x) と圧延直角方向の寸法 (L_y) を図-10に示す。両者の寸法の比 ($R=L_x/L_y$) は大部分が1~4であった。

このような楕円形状の欠陥の場合には、欠陥形状がAVG線図の仮定(円形欠陥)と異なるため、反射エコーの高さと介在物の面積が対応せず、欠陥面積を実際より小さく評価する結果になる。

欠陥形状が円形に近い介在物では、上記の欠陥形状に起因する欠陥面積の過小評価が少なくなるものと考えられる。しかしながら図-9において形状が比較的円形に近いと思われる $R \leq 1.5$ なる介在物についても、Cスコープ像の欠陥面積 (S_c) とアクリル遅延法により推定した欠陥面積 (S_u) は必ずしも良い対応を示していない。

円形欠陥に近い形状の介在物においても、欠陥面積が良い対応を示さない要因としては、介在物の鋼基地界面が密着状態にあり、そこでは超音波の反射特性が平底穴に対する反射特性と異なることや、供試鋼板と標準試験片との伝達損失の相異等によるものが考えられる。

介在物の形状が円形でないために生じる欠陥面積の過小評価と、上記のそれ以外の要因に基づく欠陥面積の過小評価を分離して検討するため、Cスコープ像の欠陥寸法 (L_x, L_y) とアクリル遅延法による欠陥寸法 (L_u) を比較して図-11に示す。

Cスコープ像の欠陥寸法 (L_x, L_y) とアクリル遅延法

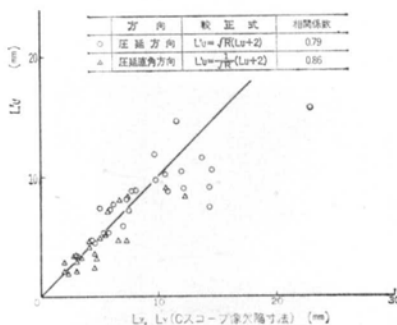


図-12 アクリル遅延法欠陥寸法の校正

による欠陥寸法 (L_u) を比較した場合、介在物の形状が円形に近づくにつれて L_x と L_y は等しくなり、 L_u とある関係を示す。一方、介在物の形状が円形から外れるにつれて L_u は L_x を過小に評価し、また L_y を過大に評価することとなる。そのため、図-11中において L_x は右方に、 L_y は左方に分散する傾向を示す。

図-11から分かるように、欠陥形状が比較的円形に近い $R \leq 1.5$ の場合には、アクリル遅延法による欠陥寸法 (L_u) とCスコープ像の欠陥寸法 (L_x, L_y) の間には直線的な相関関係があり、前者は後者より2mmほど小さい。

4.3.2 欠陥寸法の校正法

前項で得られた知見に基づき、アクリル遅延法によって得られた欠陥寸法を校正する方法について検討する。

アクリル遅延法の欠陥寸法と介在物の欠陥寸法の間には、以下の仮定が成り立つものとする。

「アクリル遅延法により得られる欠陥寸法 (L_u) は介在物の欠陥面積 (S_c) と等価な円形欠陥の欠陥寸法 ($L_c = \sqrt{\frac{4}{\pi} S_c}$) よりも常に2mm小さい。」

したがって、

$$L_c = L_u + 2$$

$$S_c = \frac{\pi}{4} (L_u + 2)^2$$

また、

$$S_c = \frac{\pi}{4} L_x \cdot L_y, \quad R = L_x / L_y$$

これらの関係から L_x, L_y は以下のように表わされる。

$$L_x = \sqrt{R} (L_u + 2) \quad \dots\dots(1)$$

$$L_y = \frac{1}{\sqrt{R}} (L_u + 2) \quad \dots\dots(2)$$

介在物のCスコープ像の欠陥寸法 (L_x, L_y) と式(1)、(2)によりアクリル遅延法の欠陥寸法 (L_u) を校正して求めた欠陥寸法 (L_x', L_y') を図-12に示す。

両者は、この種の欠陥寸法測定法としては良い対応を示している。介在物の欠陥寸法の比 (R) を鋼板の圧延方法や圧延比、あるいは部分的な介在物の形状測定等に

よって知ることにより、欠陥寸法の測定を十分実用的に行ない得るものと考えられる。

§ 5. 結論

鋼板中に含まれる非金属介在物の寸法を非破壊的に評価する手法として、Cスコープ法とアクリル遅延法について実験的に検討し、以下の結論を得た。

1) 焦点探触子を用いたCスコープ法は、介在物のような平板状の欠陥を検出する手法として、極めて有効な方法である。

2) Cスコープ法は、探触子の焦点と同程度の深さにある欠陥に対してはその寸法を正確に表示するが、焦点と欠陥の位置が異なるにつれて欠陥を小さく表示する。し

たがって、介在物が何層にもわたって存在するような鋼板に対しては、焦点の深さを変更し、板厚を分割して探傷を行なうことが必要である。

3) アクリル遅延法にて、AVG線図を用い求めた欠陥面積は、実際の欠陥面積よりも小さく評価される。

4) 介在物の形状が既知である場合は、以下の式によりアクリル遅延法による欠陥寸法を用いて、介在物の欠陥寸法を推定できる。

$$L_{x'} = \sqrt{R(L_u + 2)}$$

$$L_{y'} = \frac{1}{\sqrt{R}}(L_u + 2)$$

$L_{x'}$: 圧延方向の推定欠陥寸法

$L_{y'}$: 圧延直角方向の推定欠陥寸法

L_u : アクリル遅延法による欠陥寸法

R : 介在物の形状

<参考文献>

- 1) 石川, 藤盛: “鋼中の非金属介在物の超音波探傷に関する研究(その1)” 清水建設研究所報 Vol. 31 (1979.10) pp. 111~117
- 2) 小指: “硫化物系介在物と構造用鋼の延性および靱性” 鉄と鋼 Vol. 61, No. 14 (1975) pp. 2998~3021

