



研究ノート

見えない欠陥をさがす

—透過写真の像質の改善—

平 山 一 男*

1. はじめに

溶接部の内部欠陥の検出のための非破壊試験方法として放射線透過試験が広く利用されている。

放射線透過試験の特徴は、ブローホール及びスラグ巻込みのようにある程度体積がある場合には検出が優れている。また、その欠陥像から欠陥の種類、判別及び形状・寸法の測定が比較的容易である。しかし、放射線の照射方向に対して傾きのある、開先面の融合不良や割れなどの面状欠陥は検出が困難な場合がある。

したがって、普通に行われている試験方法及び試験精度（これらは規格で規定される場合が多い。）では、溶接部に欠陥が存在していても透過写真上では何も検出されない場合があり、溶接部は無欠陥であると判定されてしまうことがある。このような欠陥をここでは「見えない欠陥」と呼ぶことにする。また、透過写真上で検出されたとしても、欠陥か否か、あるいは欠陥と判断されてもその種類、形状及び寸法が実際の欠陥と大きく異なる場合がある。このような問題に対して透過写真の像質の改善による精密試験を行う方法が検討されている。

2. 透過写真の像質の改善方法

透過写真上で欠陥像の存在を認めることができるか否かは、その欠陥像の示す濃度差、すなわち欠陥に対する透過写真のコントラスト ΔD と欠陥像の存在を認めることができる最小の濃度差、すなわち識別限界コントラスト ΔD_{min} との大小関係によって定まる。

$$|\Delta D| \geq |\Delta D_{min}| \quad \dots\dots(1)$$

$$|\Delta D| < |\Delta D_{min}| \quad \dots\dots(2)$$

(1)式の場合は欠陥像が識別され、(2)式の場合は識別されない。

図1は透過写真の濃度と識別限界コントラストとの関係を示したものである。ある濃度における欠陥像の透過写真のコントラスト ΔD を図中のA点で示す。このA点は ΔD_{min} より小さい範囲 ((2)式) にあるため欠陥像は識別されない。すなわちこれは「見えない欠陥」である。ここでA点の透過写真のコントラストをB点まで増加させれば「見えない欠陥」は識別できるようになる。この方法を透過写真のコントラストの増加による方法という。

次に、図1のC点は高い濃度で撮影された透過写真の欠陥像の ΔD を示す。これも「見えない欠陥」である。この欠陥を識別するためには、C点の透過写真のコントラストをそのまま

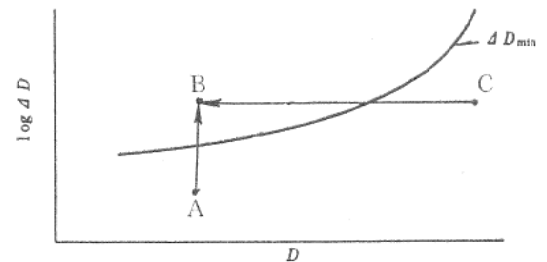


図1 像質の改善方法（濃度差の増加と濃度の低減）

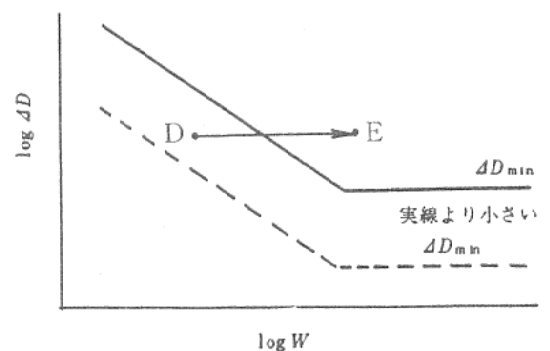


図2 質像の改善方法（像の拡大と ΔD_{min} の低減）

*平山一男 (Kazuo HIRAYAMA), 大阪大学工学部, 溶接工学科, 助手, 溶接試験工学

に保ち、B点まで透過写真の濃度を低下させればよい。これには透過写真の複製技術の利用がある。

図2は欠陥像の幅と ΔD_{min} との関係を示したものである。図中のD点は ΔD_{min} (実線) より小さい範囲にあり識別できない。しかし欠陥像をE点まで拡大すれば識別できるようになる。これには微小焦点X線装置による拡大撮影方法か、写真引伸機による拡大複製の利用がある。さらに、撮影に際して図中の破線で示すような ΔD_{min} が小さいX線フィルムと増感紙の組み合わせを用いれば、D点は ΔD_{min} (破線) より大きい範囲にあるため識別できるようになる。これらの方法を識別限界コントラストの低減による方法という。

ここでは、透過写真のコントラストの増加による方法の具体例として現場での実施が比較的容易な狭照射野撮影方法と、識別限界のコントラストの低減による方法として微小焦点X線装置による拡大撮影方法について述べる。

3. 狭照射野撮影方法による精密試験

透過写真のコントラスト ΔD は、次式で与えられる¹⁾。

$$\Delta D = -0.434 \gamma \mu_p \sigma d / (1+n) \quad \dots\dots(3)$$

ここで d : 欠陥寸法 (透過度計の場合は線の直径)

γ : X線フィルムの特性曲線の濃度Dにおける接線のこう配 (フィルムコントラスト)

μ_p : X線フィルムの感度係数を考慮したX線の吸収係数

σ : 焦点寸法及び撮影の幾何学的条件による補正係数

n : X線フィルムに一樣に到達する散乱線の線量率にその感度係数を乗じたものを、透過線の線量率にその感度係数を乗じたもので除した商 (散乱比)

使用する放射線の線質、写真濃度、焦点寸法及び撮影配置が一定であれば、透過写真のコントラスト ΔD は(3)式から散乱比 n のみに関係

する。したがって、透過写真のコントラスト ΔD を大きくするためには散乱比 n を低減する必要がある。

撮影に際してX線フィルムは通常試験体に接近させて配置する。このような撮影における散乱比を溶接部と母材部からのものに分けて図示した一例が図3 (フィルム試験体間距離 2.0mm) である²⁾。また参考までにフィルム試験体間距離を通常より大きくして配置した場合の散乱比を図3に併せて示す。図3から明らかなようにX線フィルムを試験体に接近させている場合の散乱比は大部分が溶接部 (斜線部) からのものである。したがって、通常の撮影配置では絞りを用いて照射野を溶接部の幅程度に狭くしても散乱線の低減はあまり大きく期待できない。

一方、図3からフィルム試験体間距離が大きくなるにつれて溶接部の散乱比は著しく減少する。これは散乱源となっている溶接部がX線フィルムから離れるにしたがって距離による散乱

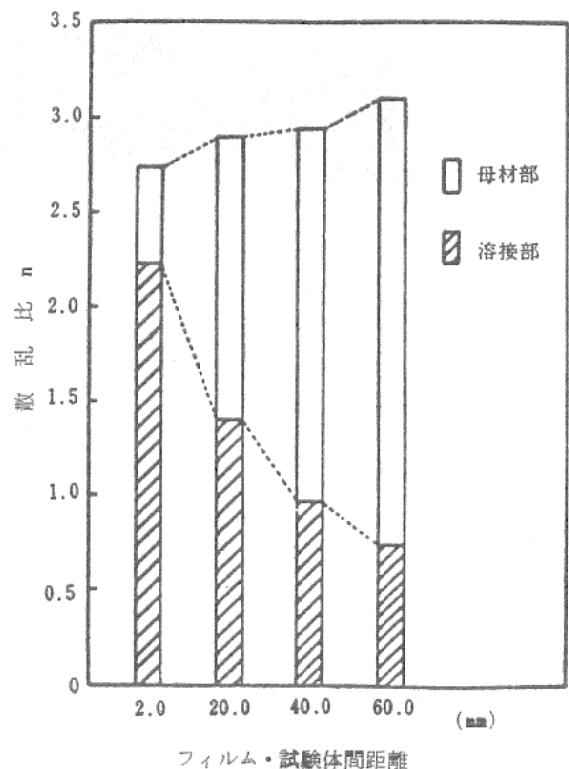


図3 フィルム試験体間距離と散乱比との関係

エネルギー : 380 kVeff
 板厚 : 25mm (鋼)
 余盛幅 : 25mm
 余盛高さ : 3 + 3 mm
 線源フィルム間距離 : 660mm

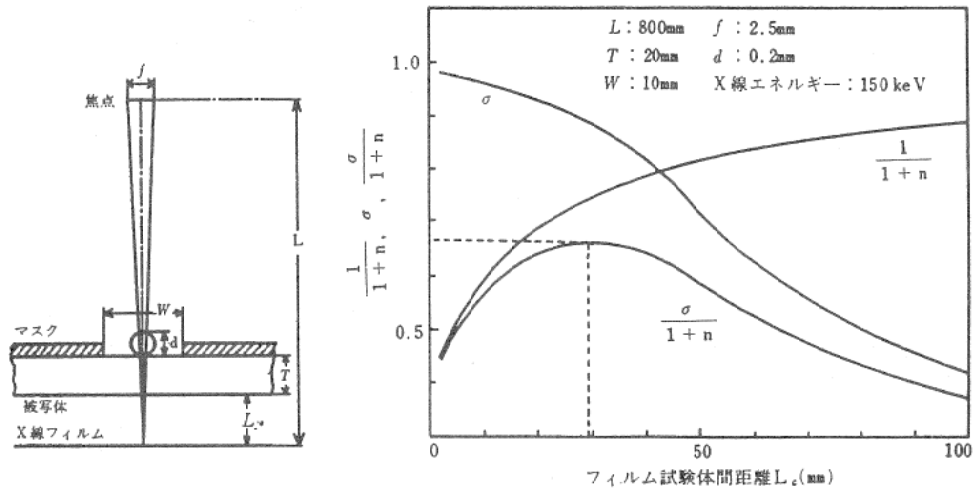
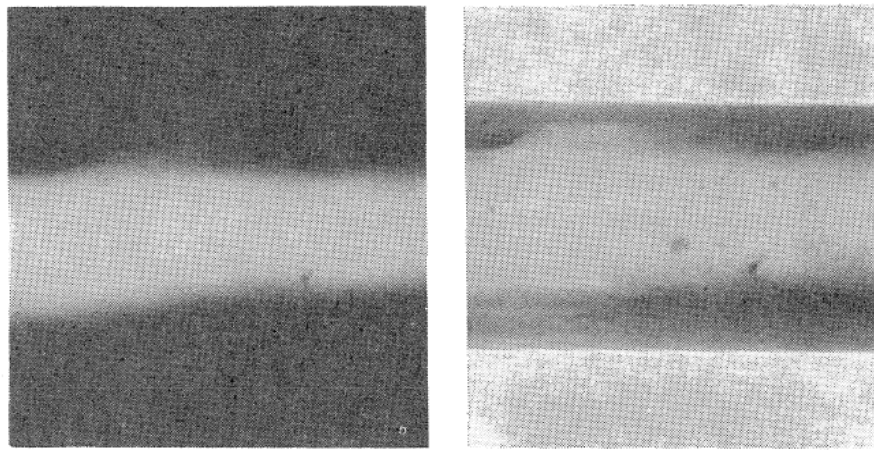


図4 フィルム試験体間距離と $\sigma/(1+n)$



(a) 通常撮影

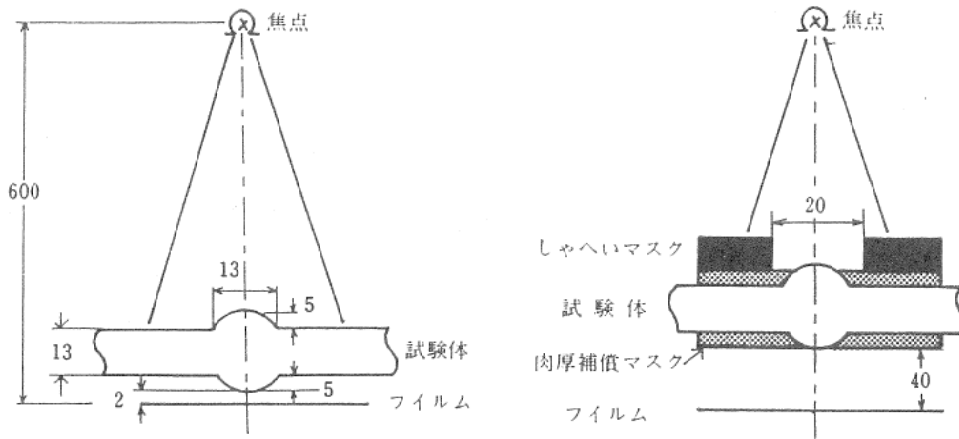
(b) 肉厚補償マスク付狭照射野撮影

写真1 溶接部の透過写真の例

鋼溶接部 母材厚 13mm, 余盛高さ (両面合計) 10mm, X線装置 RF-300 EGB
管電圧 200 kVp, フィルム・増感紙 #100, 鉛箔 0.03mm

(a) フィルム密着

(b) シャへいマスク鉛 10mm, 照射野の幅 20mm, フィルム試験体間距離 40mm,
粘土状肉厚補償マスク使用



(a) 通常撮影

(b) 肉厚補償マスク付狭照射野撮影

図5 撮影配置

線の減弱が著しくなるためである。

そこで、従来の広い照射野による撮影に対して、適当な材料で母材部をしゃへいし、必要な部分すなわち溶接部のみを照射して、X線フィルムを試験体から離せば、散乱比を大きく低減させることが期待できる。この方法を狭照射野撮影方法と呼ぶ。

同一濃度及び同一線質で、フィルム試験体間距離が変化する場合の透過写真のコントラスト $4D$ は(3)式から $\sigma/(1+n)$ に比例する。

さて、狭照射野撮影を行う場合は、フィルム試験体間を大きくすれば散乱比 n は小さくすることができるが、焦点寸法及び撮影の幾何学的条件による補正係数 σ も小さくなる。図4はフィルム試験体間距離と $\sigma/(1+n)$ との関係を示した例である。図4から $\sigma/(1+n)$ が最大、すなわち透過写真のコントラストが最大となる最適撮影配置が存在することがわかる³⁾。

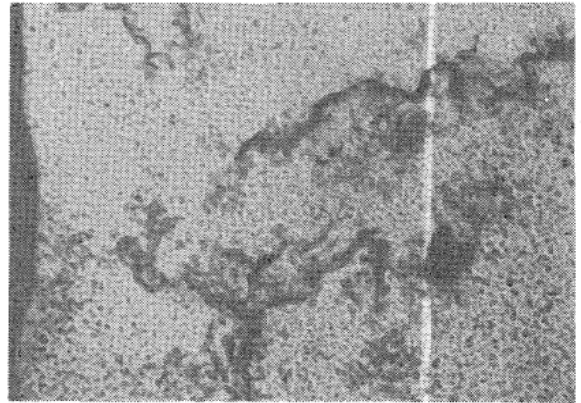
写真1は通常撮影と狭照射野撮影を比較した鋼溶接部の透過写真の一例である。撮影配置を図5に示す。写真1(b)に、粘土状の肉厚補償マスク⁴⁾を用い、余盛付試験体を平板試験体に近い状態にして、狭照射野撮影方法を適用した透過写真を示す⁵⁾。

写真1(a)の通常撮影では検出できなかった中央部の欠陥群や余盛端部の欠陥などが、写真1(b)では検出され、さらに止端部近傍に存在するアンダカットも明りょうに検出されている。

以上のことから、透過写真の像質の改善には母材部からの散乱線を低減させ、必要な試験部のみを撮影する狭照射野撮影方法が有効である。

4. 拡大撮影方法による精密試験

透過写真の撮影に際して、試験体をX線フィルムから離し、焦点に近づくように配置すると、欠陥像は拡大される。このような撮影方法を直接拡大撮影方法又は単に拡大撮影方法という。この際焦点によるぼけを小さくするためにはできるだけ小さい焦点のX線装置を使用しなければならない。最近、焦点寸法が5~10ミクロン程度のX線装置が開発されるようになり、精密試験の方法として拡大撮影方法の実用化が



(試料提供：大阪大学工学部冶金工学科福迫研究室)

写真2 球状黒鉛鑄鉄の拡大透過写真の例

試料の厚さ 0.5mm

拡大率30倍, X線装置 (MRS-160, 焦点寸法 10 μ m)

管電圧 60 kVp, 管電流 95 μ A, 露出時間 6分

X線フィルム #80, 焦点フィルム間距離 470mm

急速に検討されるようになった。

写真2は球状黒鉛鑄鉄の薄板を拡大率30倍で撮影した透過写真の一例である。写真上の白い線像は比較のために50 μ mのステンレス鋼線(SUS 304)を試験体の上に置いて同時撮影したものである。写真から最小約20 μ mの微細な球状黒鉛(黒い点状の像)及び鑄造欠陥の微細な部分まで検出されている。

5. おわりに

放射線透過試験による精密試験として狭照射野撮影方法及び拡大撮影方法について概略を述べた。特に最近の進歩である微小焦点X線装置による拡大撮影方法については、試験精度の定量化が十分に行われていない現状でもあり、また、その可能性の問題についても研究が必要であり、今後の研究に期待するところが大きい。

参考文献

- 1) 仙田：X線透過写真のコントラストに関する研究，東京大学生産技術研究所報告，Vol. 11 (1962)，No. 6, 297
- 2) 仙田，平山，正岡，野呂：溶接部の狭照射野撮影方法に関する研究(第2報)，非破壊検査，Vol. 27 (1978)，No. 2, 104
- 3) 仙田，平山，山中：溶接部の狭照射野撮影方法に関する研究(第4報)，非破壊検査，Vol. 27 (1978)，No. 9, 584
- 4) 松川，中台，関田，村越：粘土状放射線吸収剤の試作について，非破壊検査，Vol. 28 (1979)，No. 9, 584
- 5) 仙田，平山，横山，清本：肉厚補償マスクによる透過写真の像質の改善，昭和55年度 NDI 関西支部研究発表講演概要 (1980) 193