

大容量コバルト 60 γ 線による透過写真検査について

石井勇五郎* 神尾 昭** 榎 昌英** 高橋輝夫**

Gamma-Radiography with a Large Cobalt-60 Source

By

Yugoro Ishii, Akira Kanno, Masahide Sakaki and Teruo Takahashi

The way to take high quality radiograph with a 50 curie cobalt-60 gamma-ray equipment, which is one of the largest gamma-ray source for industrial use in Japan, was studied, as follows

- (1) Exclusion of scattered ray
- (2) Penetrameter sensitivity and artificial defect detectability
- (3) Comparison with other radiographic equipments.

Back scattered ray is satisfactorily reduced by a 3mm back shielding plate of lead in radiographs of less than 100mm thick steel plates.

Penetrameter sensitivity of radiographs of steel plates over 80mm thickness is less than 1% with fine grain film at the condition of reduced scattered ray.

1. ま え が き

原子炉の压力容器等 5 cm を越える厚鋼板に対する透過検査に、15 MeV ベータトロンや 1 MeV 工業用 X線装置などが使用されているが、 ^{60}Co は γ 線のエネルギー (平均 1.25 MeV) も、比放射能 (900 c/cm³) も高いので、キューリー数を大きくし、作業能率をあげれば厚鋼板に対する透過検査にも充分使用できると考えられる。しかも特殊な電源も必要でなく、軽量であるので移動するのに便利である。したがってここに 50 キューリーを使用した大容量 ^{60}Co γ 線による最適の透過写真検査方法を示すために特に実用に重点をおき次の実験を行なった。

- i 散乱線の発生状況とその除去方法
- ii 透過度計識別度および人工欠陥の検出度
- iii その他の放射線透過検査装置との比較

2. 透過検査装置

実験に使用した ^{60}Co 50C 透過検査装置の内部の構

造を Fig. 1 に示す。線源はほぼ容器の中心部で床から 35 cm の位置に固定している。照射時にはオイル

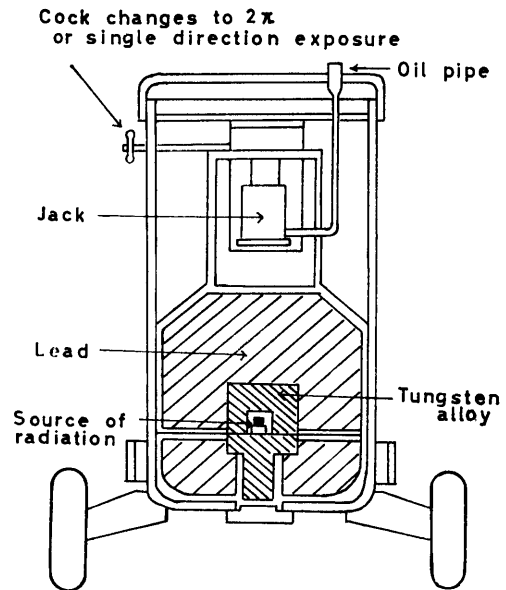


Fig. 1. Large curie cobalt-60 radiographic equipment.

* 東京工大 (元溶接工作部) ** 溶接工作部

ジャッキを使用して線源の周囲の遮蔽物を取り除き線源を露出する。コックの切換によって照射方法は 2π 放射か単放射にすることができるが今回の実験では単放射のみにした。単放射の照射野は線源容器の軸に対して垂直面内で立体角 30° である。線源の大きさは約 $4\text{ mm}\phi \times 4\text{ mm}$ であり容器の重量は約 300 kg である。

3. 散乱線の発生状況とその除去方法

透過検査において散乱線はフィルムのカブリの原因となり写真コントラストを低下させ、欠陥の検出度に悪影響をおよぼすのでこれはなるべく除去しなくてはならない。したがって散乱線をフィルムの後方の壁などよりフィルムに入射してくる後方散乱線とフィルムの前方の被写体の内部で散乱されてフィルムに入射してくる前方散乱線の二つに分けて、これらの散乱線が実際にフィルムにおよぼす影響をフィルムの黒化度により調べ、その除去方法の実験を行なった。

3.1 後方散乱線

^{60}Co のような高エネルギー γ 線の後方散乱線はかなり高いエネルギーから比較的低いエネルギーまでの波長分布を示している⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。この後方散乱線を鉛遮蔽板により除去しようとするれば低エネルギーの波長に対しては鉛板の厚さを厚くする必要がある。この鉛板の厚さを決定するために散乱体物質の種類による影響および散乱体—フィルム間の距離の影響とについて調べた。

3.1.1 散乱体物質の種類による影響

散乱線の発生状況は散乱体物質の種類により大きな差異があるので散乱体として、コンクリート、鉄および鉛を選んだ⁽²⁾⁽³⁾。実際の透過撮影現場でコンクリートと鉄は建設構造物の主要部をなしている可能性が多く、鉛は遮蔽材として常に使用されている。又コンクリートは原子番号の小さいものの代表でもあり、鉄はそれにつき鉛は原子番号の大きい方の代表であると考えられる。散乱体とフィルムの関係位置は Fig. 2 に示した。直接線は立体角 30° でフィルム後方の壁面に入射し、そこで散乱され全周よりフィルムに散乱線が入射してくる場合でフィルムと線源の距離およびフィルムと散乱体の距離は常に一定にした。散乱体としてのコンクリートは厚さが約 30 cm のものを使用し、鉄についてはコンクリートの上に約 2 cm の鉄板を重ね、鉛についてはその上にさらに約 2 mm の鉛板を重ねた。これらの厚さに対しては各々の散乱体の厚さの

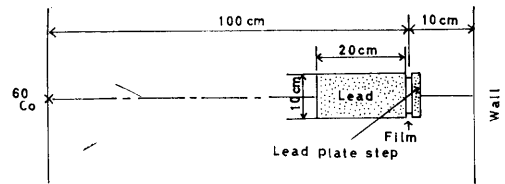


Fig. 2. Measuring method of scattered ray from different material

Material of wall	Thickness
Concrete	>30 cm
Steel plate	>2 cm
Lead plate	>0.2 cm

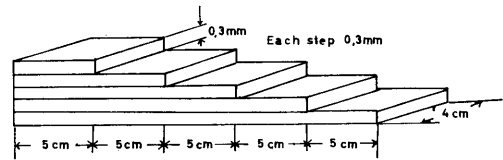


Fig. 3. Lead plate steps for measuring the shielding effect to scattered ray.

変化による散乱線の変化がなくなった、いわゆる散乱線の飽和値の最小の厚さをとった⁽²⁾⁽³⁾。鉛遮蔽板は Fig. 3. のような階段を使用してフィルムに密着させた。フィルムはノンスクリーン型高感度フィルム（サクラN）を使用した。

結果は Fig. 4. のごとくである。露出時間1分、5分、30分は同じノンスクリーン型高感度フィルムで鉄板厚 5 cm 、 10 cm 、 15 cm を撮影して濃度 2.0 になる照射時間である。Fig. 4. より後方散乱線がフィルムにおよぼす散乱体の影響は鉛が最も小さく鉄、コンクリートの順に大きくなっている。このことは一般の撮影現場で後方散乱線に充分注意を払わなければならないことを示している。散乱線は鉛遮蔽板の厚さを増せば低減させることができるがこれを完全に除去するには非常に厚い鉛遮蔽板が必要であり実用的でない。散乱線による濃度がいくら位であれば許容し得るかはむずかしい問題であるがここでは仮に濃度が 0.2 以下であれば実用上さしつかえないと考えた。このように考えるならば鉄板の厚さが 10 cm 以下の撮影においては 3 mm の鉛遮蔽板を用いると散乱体の種類によらず遮蔽できる。鉛遮蔽板の厚さを増すと散乱体の種類によらなくなる傾向があり散乱線の高エネルギーの領域よりも低エネルギーの領域の分布が散乱体の材質によって大きく異なることを示している。

3.1.2 散乱体とフィルムの距離の影響

散乱体としてフィルムにおよぼす影響のもっとも大

きなものはコンクリートであるので、この散乱線についての除去方法を考えれば、他の散乱体に対してコンクリートによる散乱線の除去方法で充分である。したがって散乱体としてコンクリートを用い散乱体とフィルムの距離の影響を調べた。散乱体に直接 ^{60}Co γ 線が入射して散乱されフィルムに到達する場合と被写体である鉄板を透過した後に散乱体に当り散乱されてフィルムに到達する場合とは散乱線がフィルムにおよ

ぼす影響は異なるので実験はこの二つに分けて行なった。

i 直接線がフィルム後方の散乱体の壁に当りそこから散乱されてくる散乱線の影響、
フィルムと散乱体の距離は 10 cm から 200 cm まで変化させて、他の関係位置は Fig. 2 と同じにした。この場合にフィルムと散乱体の距離を大きくすることが散乱線の低減に役立つのは、この ^{60}Co の照射装置

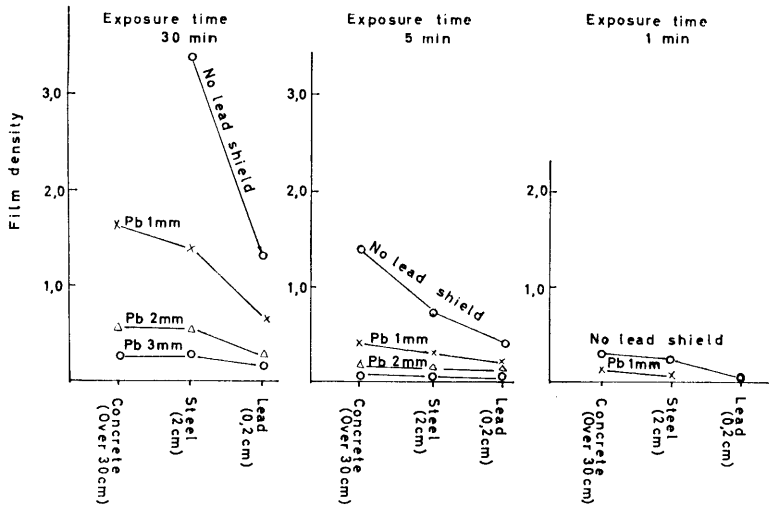


Fig. 4. Shielding effect of lead plate to scattered ray from different material.

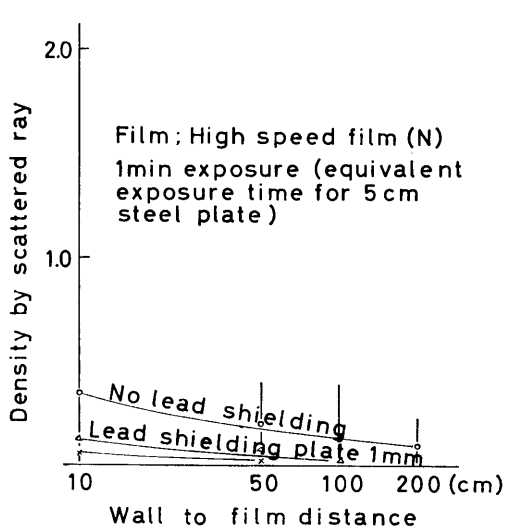


Fig. 5-1. Shielding effect of lead plate to scattered ray at different distances.

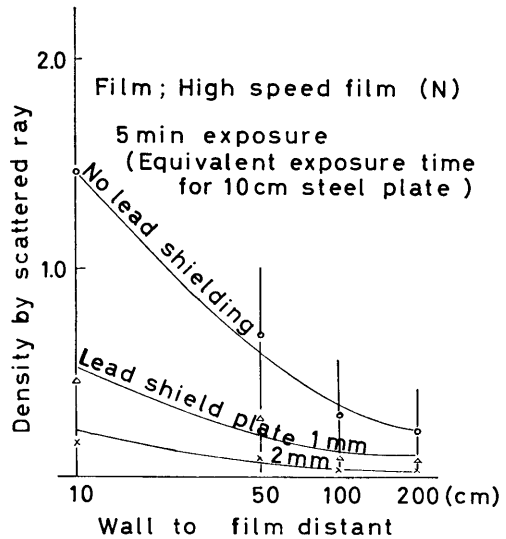


Fig. 5-2. Shielding effect of lead plate to scattered ray at different distances.

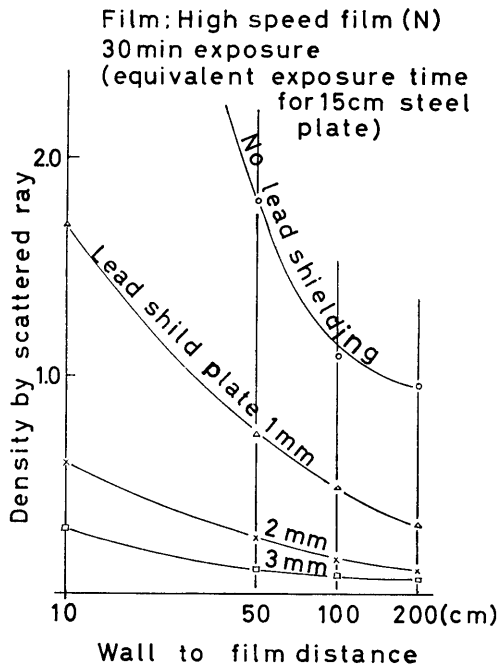


Fig. 5-3. Shielding effect of lead plate to scattered ray at different distances.

の立体角が常に 30° であるため、Fig. 2 のような平面の壁から散乱されてくる散乱線の全線量は常に一定だから、フィルムと散乱体の距離が離れれば大略距離の二乗則で減少する筈である。

結果は Fig. 5 のごとくである。縦軸の濃度はフィルムのベース濃度を差し引いた値を示し、横軸はフィルムと散乱体の距離を示している。Fig. 5 から鉄板厚 15 cm 以下の撮影では 3 mm の鉛遮蔽板を使用してフィルムと散乱体間距離を約 50 cm 以上離さなければ遮蔽できないが、鉄板厚 10 cm 以下の撮影では 2 mm の鉛遮蔽板で充分である。

ii 鉛板をフィルターとした際のフィルム後方の壁面よりくる散乱線の影響。

前の実験 i では被写体の大きさに制限がある撮影時の散乱線の影響で、特に構造物や鋳物などの透過写真検査に適する実験結果である。実際にはこのような直接線による散乱線ばかりではなく、被写体である鉄板を透過した後の透過線および散乱線がフィルム後方の壁面で再度散乱されてくる散乱線のフィルムに対する影響も考える必要があるのでここに Fig. 6 に示す関係位置で実験を行なった。

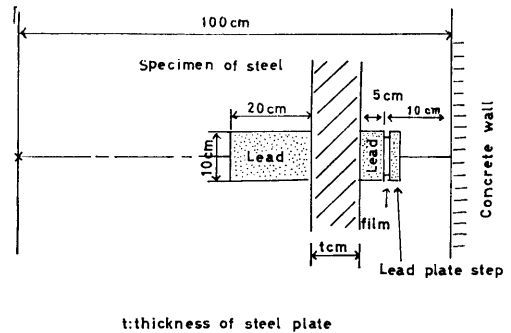


Fig. 6. Measuring method of scattered ray when specimen works as filter and scattering substance of incident ray.

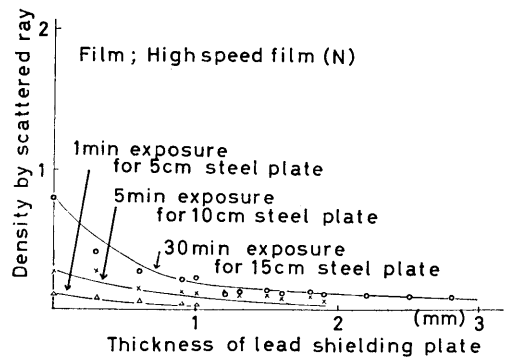


Fig. 7. Effect of shielding of lead plate to scattered ray from concrete wall when specimen works as filter and scattering substance of incident ray.

結果は Fig. 7 のごとくなる。ただし散乱体とフィルムの距離は 10 cm の一定にした。縦軸の濃度は散乱線によるフィルムのカブリ濃度で、ベース濃度は差し引いた値であり、横軸は鉛遮蔽板の厚さを示している。Fig. 7 から鉄板厚 15 cm 以下の撮影では 3 mm の鉛遮蔽板が必要であるが、鉄板厚 10 cm 以下の撮影では 1 mm の鉛遮蔽板が必要であるが、鉄板厚 5 cm 以下の撮影では鉛遮蔽板は必要ない。

3.2 前方散乱線

前方散乱線は透過線ともなって必然的に現われるものであり、後方散乱線に比べるとエネルギーも高く除去方法もかなり困難である。しかし散乱線は透過線と異った方向に散乱され、又エネルギーもその方向によって異っているため被写体の照射面積を鉛などで絞って小さくすることにより散乱線はかなり低減され

る。 ^{60}Co γ 線の場合には透過線と異った方向の散乱線がフィルムに対してどの程度の影響をおよぼすか、又被写体の照射面積を小さくすることが散乱線の低減にどの程度役立つかを調べた。後方散乱線を防ぐため後方壁面とフィルムの距離は 5 m 以上とり、鉛遮蔽板は約 4 mm を、フィルムはノンスクリーン型高感度フィルムを使用した。

3.2.1 鉄板の厚さによる前方散乱線の強度分布

関係位置は Fig. 8 に示す。被写体である鉄板の線

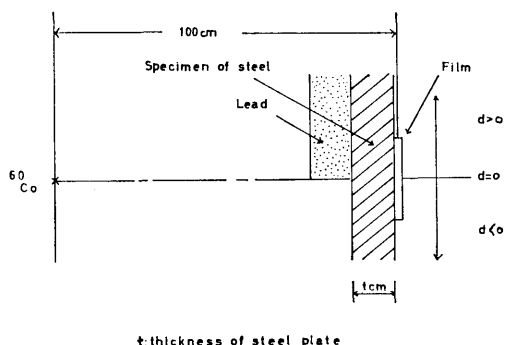


Fig. 8. Measuring method of scattered ray from specimen.

源側に、一方には直接線を遮蔽するための鉛を置き、他方には鉛を置かなかった。鉛の厚さは露出時間に比して充分に厚いので鉛を透過してフィルムが黒化することはない。

結果は Fig. 9 のごとくなる。縦軸において D/D_{-5} は鉄板が鉛でおおわれてない側で鉛の境界 (Fig. 9 において $d=0$ の位置) より 5 cm の位置のフィルム濃度と他の点でのフィルム濃度との比を表わしている。横軸は鉛の境界よりの位置を示して $d=0$ が鉛の境界であり、鉄板が鉛でおおわれている側を正荷号とし、そうでない側を負荷号とした。前方散乱線はフィルム前面の鉛箔増感紙の厚さの違いにより除去され方が異なるものと考えて鉛箔の厚さが 0.03 mm と 0.3 mm を使い分けた実験も行なったが Fig. 9 からほとんど差がなかった。この程度の鉛箔増感紙ではもし差があったとしてもそれほど大きなものではないと考えられる。鉄板の厚さが増加すれば透過線と異った方向におよぼす前方散乱線は明らかに大きくなり、鉄板の厚さが 14 cm 位だと鉛遮蔽を行なっている部分に境界から約 7 cm もはいるこんでいる。したがって前方散乱線を低減させるため鉛で遮蔽する絞りの効果が大いことを示している。

Mark	Lead screen thickness	
	front (mm)	back (mm)
×	no	0.3
○	0.03	0.3
△	0.3	0.3

D_{-5} : Density at $d = -5$

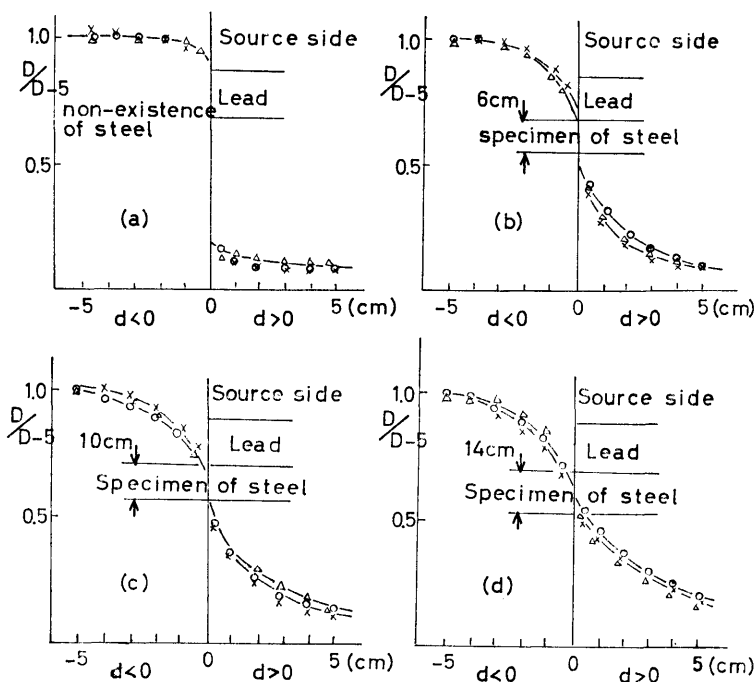
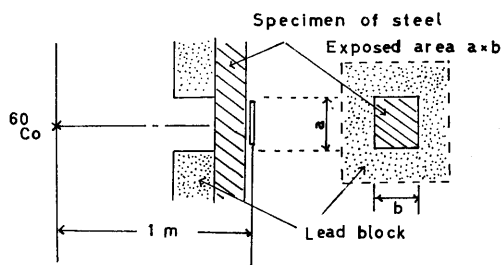


Fig. 9. Effect of scattered ray from specimen.



a (mm)	5	10	25	50	100	200	500
b (mm)	10	10	25	50	100	200	500

Fig. 10. Measuring method of scattered ray from specimens which have different exposed area.

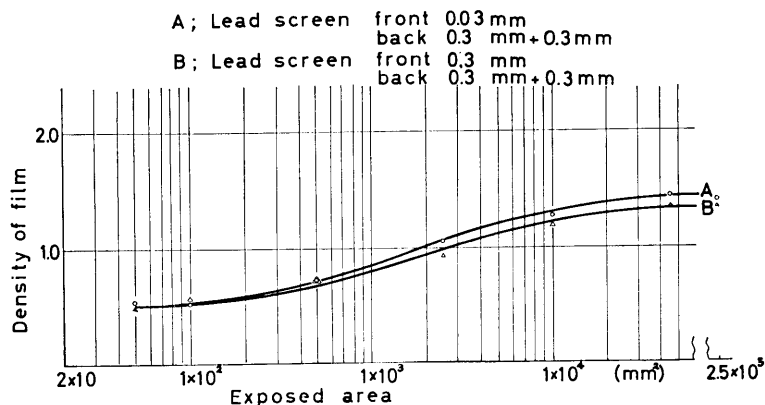


Fig. 11. Relation between film density and the increase of exposed area.

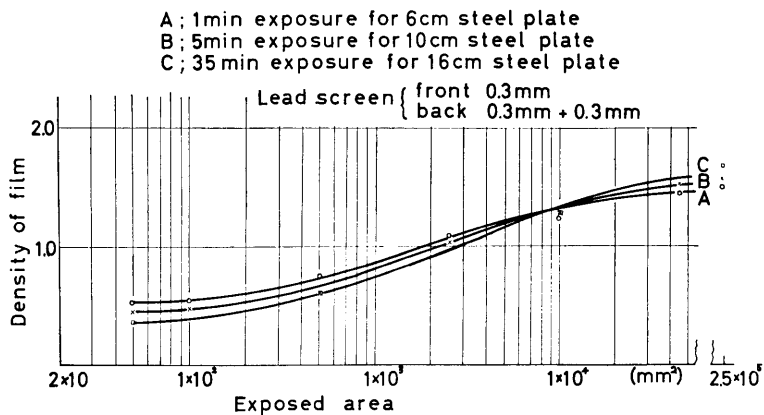


Fig. 12. Relation between film density and the increase of exposed area for different thickness of steel plates.

3.2.2 照射面積の変化がフィルムの黒化度におよぼす散乱線の影響

上述の実験結果からも透過線と異った方向の前方散乱線はフィルムの黒化度におよぼす効果が大きいので鉛で被写体を遮蔽し照射面積を適当に変化させれば前方散乱線はかなり低減させることができると考えられるので、Fig. 10 に示す実験を行なった。

結果は Fig. 11, Fig. 12 のごとくなる。なお濃度測定箇所はフィルム上で窓枠の中心であり、フィルムのベース濃度は差し引いた。Fig. 11 はフィルム後面の鉛箔増感紙(厚さ 0.3 mm のものを二枚重ねた)と鉄板の厚さ (6 cm) を一定にして、前面の鉛箔増感紙の厚さが 0.03 mm と 0.3 mm の二種類の場合に照射面積の変化に対してフィルム濃度がどのように変化したかを表わしている。露出時間は鉛箔増感紙の種類に

よらず5分とした。Fig. 12 はフィルムの前面と後面の鉛箔増感紙を一定にし、照射面積と鉄板の厚さの変化により、散乱線がフィルムの濃度にどのような影響を与えるかを示している。Fig. 11 より前面鉛箔増感紙の厚さが 0.03 mm と 0.3 mm に対して、 ^{60}Co γ 線の直接線の増感作用はほとんど同じであるが直接線より低いエネルギー部の散乱線の除去について 0.3 mm の鉛箔の方が少しよい。Fig. 12 より照射面積と鉄板の厚さが増加すれば散乱線は非常に多くなっていて、一般に広照射野の厚板の撮影ではかなりの前方散乱線を含めて撮影していることになる。又照射面積の変化に対して散乱線の影響による濃度変化が大きいのは照射面積が約 5 cm \times 5 cm 近傍である。

4. 透過度計識別度および人工欠陥の検出度

4.1 透過度計識別表

透過写真検査を行なう際にフィルムに現われた撮影像の良否は透過度計の識別度によって決定される。

^{60}Co γ 線による JIS 透過度計識別度と被写体(鉄板)の厚さとの関係をフィルムと増減紙について調べた。

透過度計, カセット, 線源等の関係位置は Fig. 13 に示した。フィルムと後方壁面との間を 5 m 以上離しフィルムの後面には 4 mm の鉛板を置き後方散乱線を遮蔽し, 照射面積は $15\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ にして前方散乱線の影響は一定にした。濃度範囲が 2.0 ± 0.2 におさまるようにフィルムの種類別に露出時間を定めた。

結果は Fig. 14, Fig. 15 のごとくなる。縦軸に示す識別度は次式より求めたものである。

$$\text{識別度} = \frac{(\text{識別できる針金の最小の直径})}{(\text{被写体の厚さ})} \times 100(\%)$$

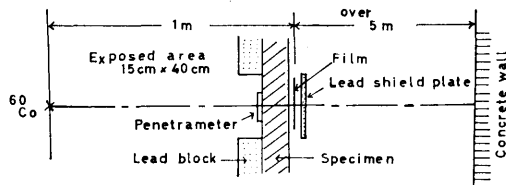


Fig. 13. Measuring method of penetrometer sensitivity at the restricted exposed area.

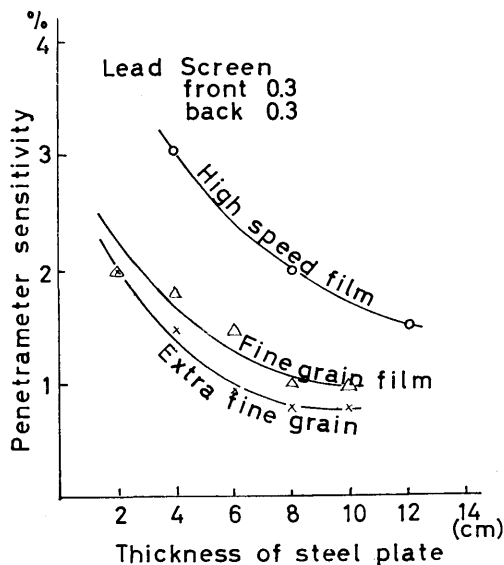


Fig. 14. Difference of penetrometer sensitivity by film types using lead screen.

被写体(鉄板)の厚さについては露出時間の関係で極微粒子型(サクラ R), 微粒子型フィルム(サクラ RR)の場合, 10 cm まで, スクリーン型(サクラ S), ノンスクリーン型高感度フィルム(サクラ N)の場合, 14 cm までにした。Fig. 14, Fig. 15 によれば鉛箔増感紙を使用したときには極微粒子型フィルムの識別度は被写体の厚さが約 7 cm をこすと 1% 以下になり, 10 cm で 0.8% 位になる。微粒子型フィルムは 8 cm で 1% 位の識別度になっている。蛍光鉛箔増感紙は極微粒子型フィルムでも, 微粒子型フィルムでも識別度は変わらず被写体の厚さが 10 cm で 1% 位になっている。識別度をよくするための条件は増感紙よりフィルムの選び方にあるようで粒状性の細かいフィルムほど識別度はよくなっている。これらの結果は作業時間等の関係で識別度のみをよくすることに重点を置くべきではなく必要に応じてフィルムと増感紙を露出表と合せて使い分けなければならない。

4.2 透過度計の識別度と前方散乱線の影響

欠陥の検出度を低下させる散乱線の中で後方散乱線は鉛板でフィルムの後方を遮蔽したりフィルムと後方散乱体との距離を大きくとったりして割合簡単に除去

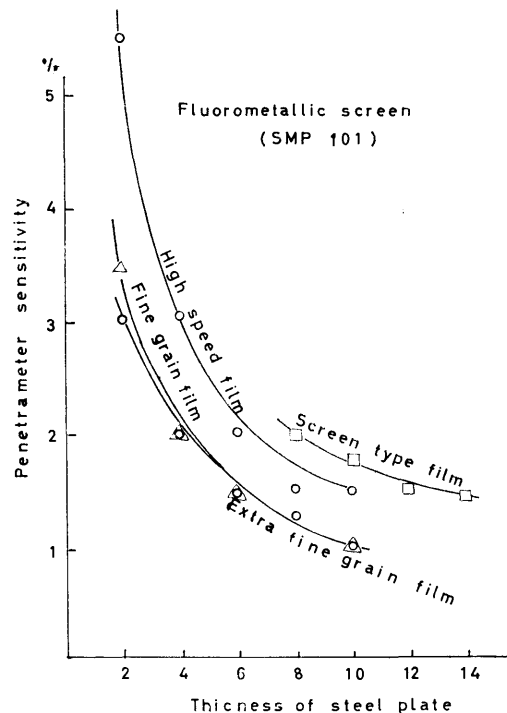
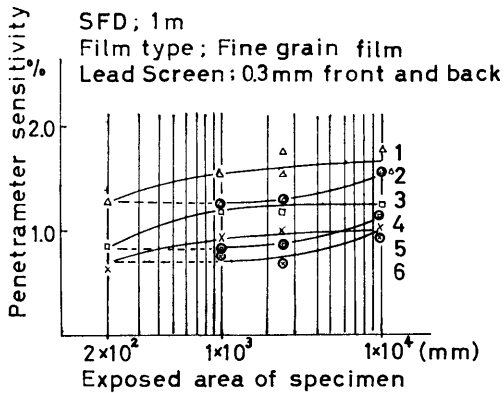


Fig. 15. Difference of penetrometer sensitivity by film types using fluoro-metallic screen.

できるが、前方散乱線は透過検査の際必然的に現われるものであり散乱線の線量は非常に多い。前方散乱線の低減方法は照射面積を小さくしたり、フィルムと被写体の距離をとることであるが、このような方法での低減方法が必ずしも欠陥の検出度により結果を与えるとは言い得ない。フィルムと被写体の距離を大きくすることは欠陥を拡大することによるボケを生ずるからである。したがって前方散乱線を少なくすることにより検出度がよくなる条件とボケにより欠陥の検出度が悪くなる条件とが重なっているため、これらに関して針金型透過計の識別度により前方散乱線が欠陥の検出度におよぼす影響を調べた。線源、フィルム、被写体等の関係位置は Fig. 10 と同じでありフィルムは壁から 5 m 以上の距離をおいた。

結果は Fig. 16 のごとくなる。フィルムは微粒子型フィルムを使用し増感紙は鉛箔 0.3 mm を両面に使用した。針金型の透過度計は被写体の線源側の表面に置き、被写体とフィルムを密着させた場合と 10 cm 離



Mark of curve	Thickness of specimen	Specimen and film distance
1	40 (mm)	0 (mm)
2	40	100
3	60	0
4	60	100
5	80	0
6	80	100

Fig. 16. Relation between penetrator sensitivity and exposed area of specimen.

The image of image quality indicator is defined using a 10 mm window mask.

した場合との二通りにした。この識別度はすべて針金の長さが 1 cm になるようにして測定し、照射面積が変化しても針金の長さによる識別度の難易は変化しないようにした。フィルムの濃度は被写体とフィルムが密着している時の各照射面積に対する濃度が 2.0~3.0 になるように決めたので被写体とフィルムの距離を 10 cm 離れたときの濃度は散乱線が少ないため密着した場合と比べるとかなり濃度のうすいものも出た。Fig. 16 から照射面積を大きくすれば散乱線は増加するが照射面積が $1 \times 10^4 \text{ mm}^2$ よりも大きくなると識別度にはほとんど変化がない。フィルムを被写体から 10 cm 離れた場合には照射面積が $2.5 \times 10^3 \text{ mm}^2$ より小さいところで識別度はほとんど変化がない。 $1 \times 10^4 \text{ mm}^2$ 以上ではフィルムと被写体を密着させた場合とほとんど同じになっている。したがってよりよい識別度を得なくてはならない場合には最も効率のよい撮影方法として照射面積を $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 位にしてフィルムと被写体の距離を 10 cm 位離しておくことよい。

4.3 人工円柱型欠陥の検出度

透過検査においての欠陥の検出度は欠陥の形状によって大きく異なるので、鉄板の厚さを変え板に垂直に円柱状にあけた穴の検出度について調べた。Table 1 はこの欠陥（人工円柱型欠陥）の直径とその欠陥の存在する鉄板の厚さとの関係を表わしている。

結果は Table 2 に示した。欠陥の位置がフィルム側の結果は Fig. 17 のごとくなる。Fig. 17 で縦軸の検出度は次式より算出した。

$$\text{検出度} = \frac{\text{（検出する人工円柱型欠陥の円柱の最小の高さ）}}{\text{（被写体の厚さ）}} \times 100(\%)$$

Fig. 17 より円柱の高さが高ければ高いほど（すなわち縦軸の検出度の値が大きければ大きいほど）その円柱の直径は小さいものまで見えるが、ある一定の直径以下になる円柱の高さを高くしてもほとんど検出できなくなる。この理由は欠陥の直径を小さくすればフィルムの粒子の状態や γ 線の入射角度などの相異により理論上の濃度差が大きくても、これを検出できないからである。したがって、これより小さな直径の円柱型欠陥を検出するためには入射角度に注意することはもちろんであるがフィルムの種類を変えることも必要である。円柱の高さが低くなれば円柱の直径が大きくなければ検出できない。円柱の直径が非常に大きい場合にはその検出度は階段状（ステップ）の検出度と一致する。したがって円柱の直径が大きいとき検出度は

Table 1 Artificial hole type defects arrangements in specimens.

Thickness	Diameter of defect									
	0.3 (mm)	0.5	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	
3.2 (mm)	—	—	—	○	○	○	○	○	○	
2.3	—	—	○	○	○	○	○	○		
1.0	○	○	○	○	○	○				
0.8	○	○	○	○	○	○				
0.5	○	○	○	○	○	○				
0.35	○	○	○	○	○	○				
0.23	○	○	○	○	○	○				

The marks mean existence of defects arrangements in specimens.

Table 2

Plate thickness	Position of defect	Depth of defect (mm)				
		3.2	2.3	1.0	0.8	
48 (mm)	Source side	number of visible defect	6	6	2	1
		visible minimum diameter of defect (mm)	1.0	0.8	2.0	3.0
	Film side	number of visible defect	6	6	2	1
		visible minimum diameter of defect (mm)	1.0	0.8	2.0	3.0
78	Source side	number of visible defect	6	4		
		visible minimum diameter of defect (mm)	1.0	2.0		
	Film side	number of visible defect	6	5	1 or ②	1
		visible minimum diameter of defect (mm)	1.0	1.0	3.0 or 2.0	3.0
98	Source side	number of visible defect	6	4 or ⑤	0 or ①	
		visible minimum diameter of defect (mm)	1.0	2.0 1.0	3.0	
	Film side	number of visible defect	6	5		
		visible minimum diameter of defect (mm)	1.0	1.0		

JIS透過度計の識別度よりよい結果になる。なお欠陥が線源側にある場合はグラフが複雑になるので、書き入れなかったが Table 2 の結果から線源側の方がフ

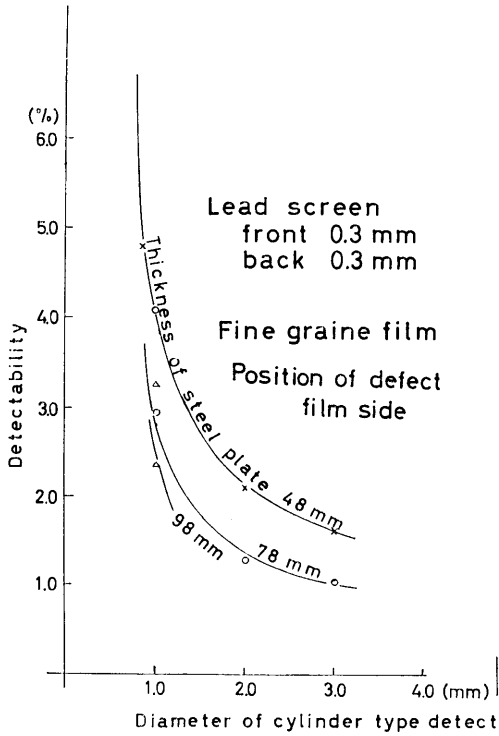


Fig. 17. Detectability of artificial cylinder type defect.

ィルム側より検出度は少し悪い。

4.4 人工割れ欠陥の検出度

放射線検査の中で一番検出しにくいのは割れ(キレツ)の欠陥であって放射線の入射する方向と割れの方角とによる影響が非常に大きい。この実験では常に放射線の入射方向と人工割れの方角とをほぼ一致させた。人工割れ欠陥の形状および大きさの略図は Fig. 18 に示す。撮影時の人工割れ欠陥板の組合せは Fig. 19 のようにして欠陥板がなるべく被写体の厚さ方向で種々の位置にくるようにした。フィルムと線源との距離は 1m であり、フィルムは被写体に密着させたものと線源と被写体の位置はそのままにしてフィルムを被写体から 10 cm 離れたものとの二通りにした。関係位

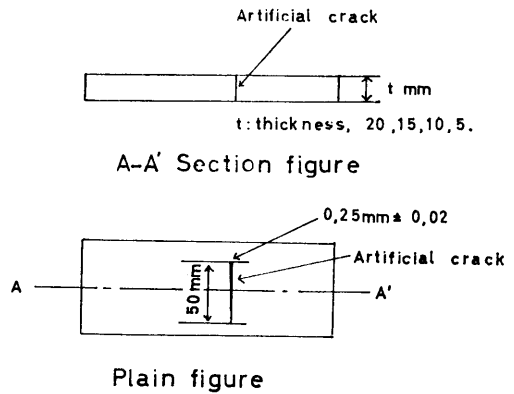
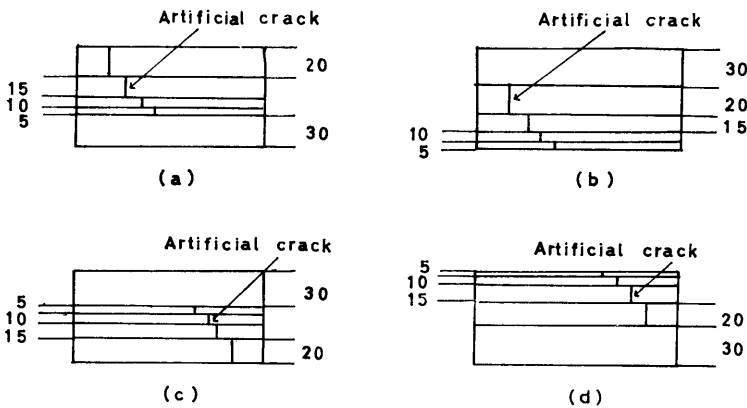


Fig. 18. Artificial crack.

Source side



Film side

Fig. 19. Combination of defect specimens.

置は照射面積が 8 cm×25 cm で他は Fig. 10 と同じである。結果は Fig. 20, Fig. 21 に示す。フィルムは微粒子型フィルム(サクラRR)である。Fig. 20 は SFD が 1 m の結果を欠陥の位置によりフィルム側、線源側 および 中央と大体の位置でまとめた。Fig. 21 は欠陥の組合せが Fig. 19 にある (c) と (d) を使用し、

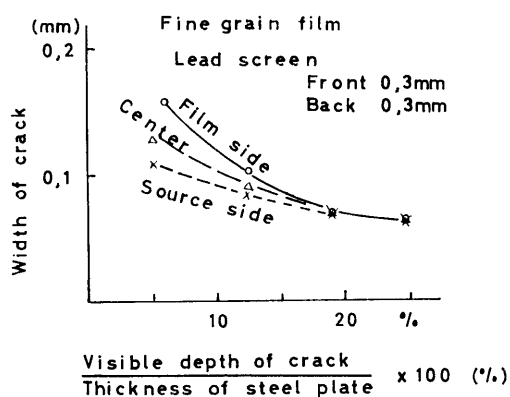


Fig. 20. Relation between crack width and visible depth. Crack is changed to film side, center and source side of specimen.

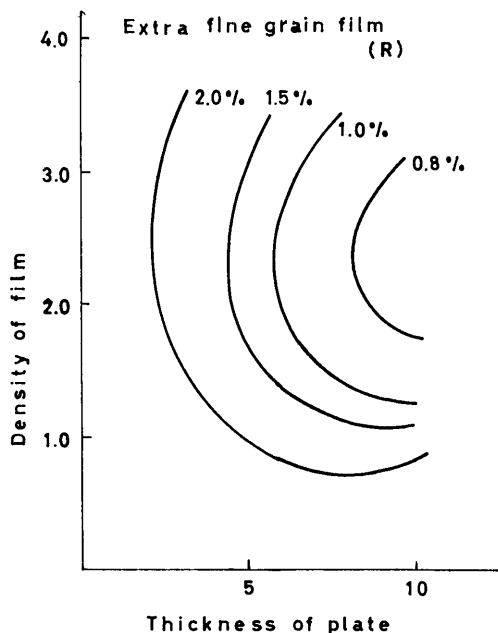


Fig. 22. Effect of film density and steel plate thickness on penetrometer sensitivity.

フィルムと被写体を密着させた場合と 10 cm 離れた場合の割れの検出度の変化である。露出時間はフィルムと被写体とが密着している際に濃度が 2.0 ± 0.2 になるように選んだのでフィルムと被写体とを 10 cm 離れたフィルム濃度は前方散乱線が少なくうすくなった。Fig. 20 より欠陥の位置がフィルム側にある方が

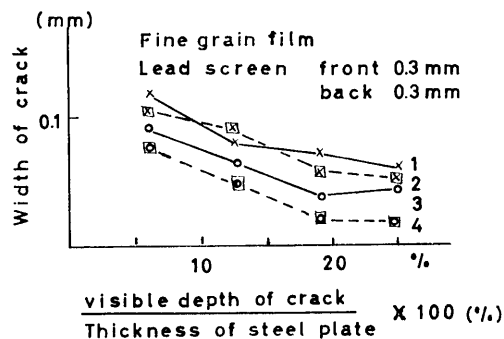


Fig. 21. 1 Specimen (c) of Fig. 19
2 Specimen (d) of Fig. 19
3 Specimen (c) of Fig. 19
Specimen and film distance is 10 cm
4 Specimen (d) of Fig. 19
Specimen and film distance is 10 cm

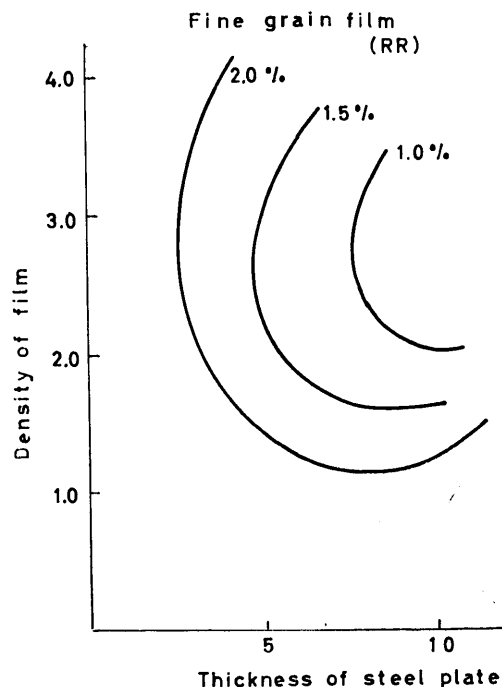
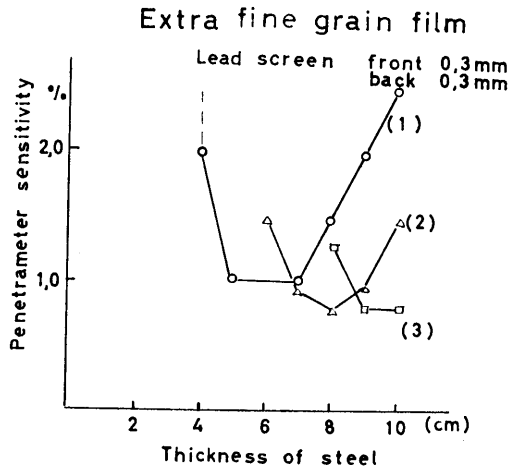


Fig. 23. Effect of film density and steel plate thickness on penetrometer sensitivity.

線源側にあるよりも検出度は悪く、他の欠陥の検出度とは異り割れ特有の検出度を示した。線源とフィルムの距離が 1 m 程度であればフィルムと被写体の距離を 10 cm 位離して欠陥を拡大し散乱線を除去した方が検出度はよくなる。

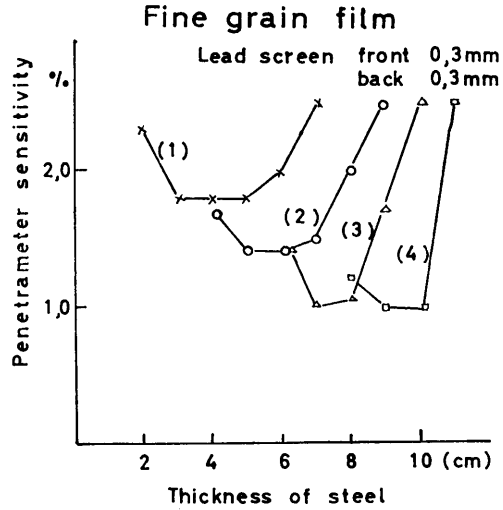


Each curves shows a film density of 2.0 at the steel thickness of 6 cm, 8 cm and 10 cm for the curves of (1) (2) and (3)

Fig. 24. Penetrameter sensitivity of different thickness parts of a steel specimen by one exposure.

4.5 厚さに変動がある場合の識別度

被写体の厚さと濃度とによる識別度の関係は Fig. 22, Fig. 23 に示す。Fig. 22 および Fig. 23 は極微粒子型フィルム (サクラR) および微粒子型フィルム (サクラRR) の鉄板厚と濃度による識別度の関係を



Each curves shows a film density of 2.0 at the steel thickness of 4 cm, 6 cm, 8 cm and 10 cm for the curves of (1) (2) (3) and (4)

Fig. 25. Penetrameter sensitivity of different thickness parts of a steel specimen by one exposure.

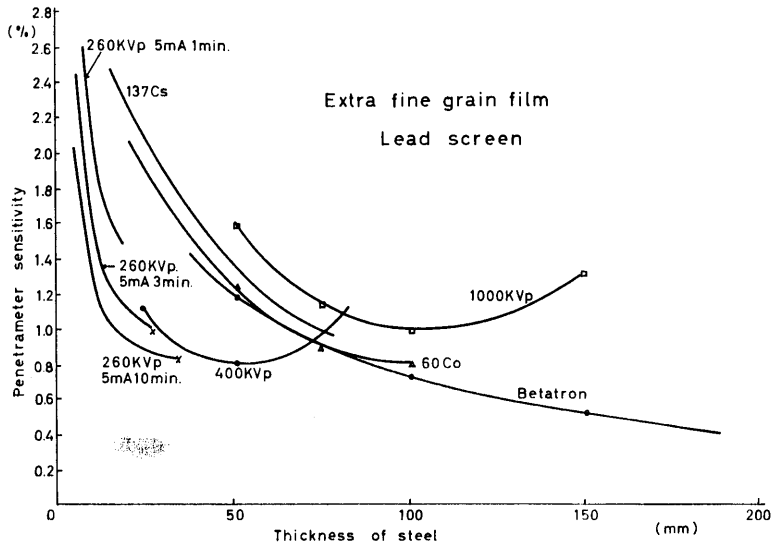


Fig. 26. Penetrameter sensitivities of radiographic equipments.

示したもので、この識別度の関係はシャーカステン
の明るさによりかなり異なるがこの結果は高濃度用（自
作）シャーカステンを使用したものである。ここに使
用したフィルムではフィルムの γ から考えて濃度が
3.5 位で同じ鉄板厚の識別度が悪くなることはない筈
であるが、当シャーカステンは高濃度用ではあるが濃
度が 3.5 をこすと透過光量がかなり少ないので透過度
計は識別しにくくなってくる。この Fig. 22, Fig. 23
から色々の厚さを持つ一個の被写体の一回の撮影では
それぞれの濃度が各々の被写体の厚さに応じた濃度
になるのでよい識別度を得ようとするれば各厚さに対して
何回かの撮影を必要とする。

例えば極微粒子型フィルムでは被写体の厚さ 6 cm,
8 cm, 10 cm を撮影して各板厚に対する濃度が 2.0 に
なるようにした場合の識別度の変化は Fig. 24 のごと
く、微粒子型フィルムでは被写体の厚さ 4 cm, 6 cm,
8 cm, 10 cm を撮影して各板厚に対する濃度が 2.0 に
なるようにした識別度は Fig. 25 のごとくなる。厚さ
の変化が 4 cm から 10 cm までであり 2% 以下の識別
度を得るためには、一般に極微粒子型、微粒子型フ
ィルムでは三回位の撮影を必要とする。

5. その他の放射線透過検査装置との比較

大容量 50 C ^{60}Co の本装置が目的とする透過検査に
適するかどうかは経済的に技術的に他の装置と比較検
討を行ない決定するのが普通である。

Fig. 26 は増感紙として鉛箔を用いたとき、260KVP
400 KVP, 1,000 KVP の工業用 X 線装置、 ^{60}Co およ
び ^{137}Cs を用いた γ 線照射装置および 15 MeV 工業
用ベータトロンについて透過度計識別度と鉄板の厚さ
との関係を示したものである。透過度計識別度は放射
線透過写真の良否を客観的に定めるものであり、この
識別度が低いほどその装置を使用した写真がよいこと
を示している。Fig. 26 を参考とし装置別に大容量
50 C ^{60}Co の装置と総括的な比較を行なうこととす
る。

i ^{137}Cs γ 線照射装置と 1,000 KVP 工業用 X 線 装置との比較

識別度のみから考えれば ^{60}Co の装置が一番よくな
っているが、 ^{137}Cs の装置とはほとんど大差がない。
 ^{137}Cs の装置のグラフは単放射ではなく 4π 放射の結果
である。 ^{137}Cs のエネルギー (0.6 MeV) は ^{60}Co (平
均 1.25 MeV) より小さいので放射線を遮蔽するため
の鉛容器は軽く移動に便利であるが厚板には透過力が

小さく、作業上かなり困難な場合がある。キューリー
数を上げて露出時間を短縮しようとするれば焦点が大き
くなり識別度が悪くなるので 10 C 以上にすることは
識別度の関係で困難である。 ^{60}Co の装置はちょうど
 ^{137}Cs の装置と反対の性能であり、約 5 cm を越す厚
板に対しては有利である。1,000 KVP の装置は ^{60}Co
の装置に比べて短時間で撮影可能であるが、かなりの
重量があるので建設現場から建設現場等への移動性が
ほとんどなく識別度も悪い。

ii 15 MeV 工業用ベータトロンとの比較

ベータトロンは ^{60}Co の装置の識別度より少し良
く、撮影に要する時間も非常に短く鉄板 30 cm 位ま
でも高識別度で撮影可能である。しかし建設現場から
建設現場等への移動はほとんどできなく、このような
場所での検査には不利である。装置の価格は ^{60}Co の
約 20 倍にもなっている。これに比べると ^{60}Co 50 C の
重量は 300 kg 位でありさほど移動性は困難でなく、
特殊な電源を必要としないし、 2π 放射による多点同
時撮影も可能である。

iii 400 KVP および 260 KVP 工業用 X 線装置と の比較

鉄板厚が約 7 cm 以上の場合には ^{60}Co の装置は
400 KVP の装置より識別度はかなりよくなっている。
この理由は 400 KVP の装置の一次線と二次線（散乱
線）との比率が鉄板厚を増せば多くなるためだと思わ
れる。鉄板厚が約 7 cm 以下の場合には 400 KVP の
装置の方が識別度はよく装置の価格、重量とも ^{60}Co
の装置とさほど変りがないが ^{60}Co の装置は電源を必
要としないし、透過力が大きいので铸件などの板厚に
変化のある撮影にも適しているなどの利点も有してい
る。なお ^{60}Co の装置でも鉄板厚が 2 cm 以上であ
れば 2% 以下の識別度の撮影が可能である。

260 KVP の装置は鉄板厚のうすいところで識別度
は非常によいが厚さが約 3 cm 以上では露出時間が長
く実用的でない。

以上の全装置についての結果を総合して大容量 50 C
 ^{60}Co の装置の最も有利な鉄板厚の範囲は約 8 cm から
10 cm 位までである。

6. 結 論

(1) 透過写真検査においてとくに注意すべきことは
散乱線によるカブリである。この散乱線を低減させる
ためには場所が許すならば、できるだけフィルムとフ
ィルム後方の散乱体との距離を大きくとり、必要に
応

じて鉛の遮蔽板により遮蔽すべきである。鉛遮蔽板の厚さは被写体の厚さが 10 cm 以下ならば、撮影状況および散乱体の種類によらず 3 mm もあれば充分である。被写体の厚さが 15 cm 以下ならばフィルムと散乱体との距離を 50 cm 以上離してあれば 3 mm で充分である。散乱線を低減させるもう一つの方法は透過検査装置を単放射にして直接線の照射野を小さくすることである。今回の実験結果は 30° の立体角をもつ単放射の結果である。しかし全放射の撮影によって一度に多数の被写体を撮影できることが ^{60}Co γ 線などの放射性同位元素による透過検査の利点であるので、このような検査には 4π 放射はさけ 2π 放射で撮影することが望ましい。 2π 放射の撮影を行なう場合には 3 mm 以上の鉛遮蔽板で側面から来る散乱線を除かなければならない。

(2) 前方散乱線が識別度に与える影響は Fig. 16 よりも明らかなとおり非常に大きいので、必要とする部分以外はできるだけ鉛で遮蔽することが望ましい。特に重要な検査においては疑い部分があるときには、照射野を小さくしぼり再度撮影をして欠陥の状態を確かめるべきである。この際の撮影条件は照射面積が 5 cm \times 5 cm 位でフィルムと被写体の距離を 10 cm 位にするとよい。

(3) JIS透過計の識別度をよくするための撮影条件は欠陥の検出度をよくする条件と一致しているようであるが、割れ(キレツ)の検出度は少し特異な状態を示している。この場合でも散乱線を取り除けば割れの検出度はよくなるが、たとえば特異なこととして割れ

の方向と放射線の入射方向により検出度が大きく異ったり、線源側に欠陥がある方がフィルム側にあるよりも検出度がよい。しかし欠陥の位置の影響より欠陥に対する放射線の入射角度の影響がいちじるしい。したがって溶接部の割れに重点をおいた検査では散乱線に注意することはもちろんであるが放射線の入射角度にも充分注意すべきである。

(4) 大容量50キュリー ^{60}Co γ 線による透過検査で各種線源との比較からもっとも有用な鉄厚の範囲は 8 cm から 10 cm 位までである。したがって特に原子炉などのように検査を厳重に行なわなければならないところでの溶接部および铸件などの検査にかなり有用である。ただし 2% 以下の識別度を得ることを目的とした場合にはフィルムと増感紙を使い分けることにより露出時間が 30 分以内で鉄厚範囲は約 2 cm から 15 cm までも使用可能である。

7. あとがき

本研究は「原子炉構造用鋼溶接部検査技術に関する試験研究」の一部として協力した実験結果である。

参 考 文 献

- (1) 石井, 神尾 散乱線の強度分布と線質, 運輸技術研究所報告, 第7巻, 第3, 4, 5号
- (2) 中田, 布施, 竹内 後方散乱ガンマ線のエネルギー分布の解析, 運輸技術研究所報告, 第11巻, 第12号
- (3) 中田 後方散乱 γ 線の解析, 非破壊検査, 第10巻 第6号