

散乱線のコントラストにおよぼす影響について

神尾 昭* 榑 昌英*

Study on the Effect of Scattered Ray on Radiographic Contrast

by

Akira Kannō and Masahide Sakaki

Although an equation showing the effect of scattered ray on the radiographic contrast was already given, it has not been verified in practice.

The present work investigated the equation by adding a direct ray without a subject-contrast as a scattered ray.

The results showed that the contrast was not changed when the film density was increased by adding the scattered ray, while the contrast decreased when the density was kept constant. From these results, the increasing in film density to get the same contrast factor with that in the case of less scattered ray was proposed as a compensation method for the decrease in contrast by the scattered ray.

1. ま え が き

放射線透過検査において散乱線が像質に悪影響をおよぼすことは常に体験するところであり、散乱線の量、線質については放射線検査の立場から多くの研究が行われてきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。散乱線は一般に前方散乱線と後方散乱線に区別されて考えられ、後方散乱線については殆んど完全に遮蔽することができる。前方散乱線は主として被写体中で生ずるものであるのを防ぐのは困難である。また断層撮影においては断層面以外の像のボケが加わり散乱線と同じような効果を与えるが、これを取除くことはできない。透過検査においてはこのような散乱線が与える影響を出来るだけ少なくするようにしなければならない。

散乱線の写真コントラストに与える影響については、被写体による線量差が直接線のみであるとして、 $\Delta D = 0.43 \cdot \gamma \cdot \Delta E / (E + S)$ が与えられている⁶⁾⁷⁾。これはフィルムの特性曲線を示す式 $D = \gamma \log_{10} E + C$ を微分して得られた $\Delta D = 0.43 \cdot \gamma \cdot \Delta E / E$ に $E = E + S$ を代入して得られたものである。ここで γ は特性曲線の

切線の勾配、 E は直接線量、 S は散乱線量を示す。この式では散乱線の増加に伴うコントラストの減少が見かけ上大きすぎることから疑問がもたれていた。これは実際の撮影において散乱線を分離し、各波長の散乱線に感度係数を掛けて合計した値と直接線の比を変えて写真コントラスト ΔD の変化を測定することが困難であることにもよるであろう。

ここで被写体表面におかれた透過計等小さい Δt は被写体内で発生する散乱線量に殆んど影響がないこと、また小さい欠陥がフィルムから或程度はなれば、フィルムから上に到達する散乱線量に殆んど影響がないこと等から、被写体コントラスト Δt を取除いて加えた直接線を、一様に加えられた散乱線として実験を行なった。

散乱線のエネルギーによる黒化度の差は当然考慮しなければならないが、散乱線は直接線のエネルギーに殆んど等しいものから非常に低いものまで分布しており、これ等の効果はフィルムの黒化から結果的に知る以外はむづかしい。そこで散乱線による黒化から、これに相当する直接線量をもって散乱線とした。散乱線量は狭い照射野と広い照射野における濃度差の測定⁸⁾等によって特性曲線から直接線量に換算することがで

* 溶接工作部

きる。

このような考え方より特性曲線から散乱の効果計算し、また実験を行ない結果がよく一致することを確かめた。

2. 特性曲線からみた散乱線の効果

縦軸にフィルム濃度をとり、横軸に放射線量の対数をとったフィルムの特性曲線は、放射線が工業的実用の範囲内ではその形状は殆んど変わらない。図1は15

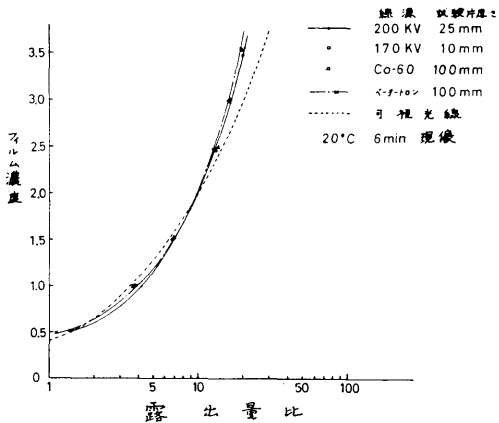


図1 各種線源による特性曲線の比較 (フィルム, さくらRR)

MeV ベータトロン, Co-60 および 170KVP X線によるさくらRRフィルムの特性曲線であって、横軸は濃度 2.0を与える露出量を10とし、露出量比を対数目盛にとったものである。なお比較のために 200KVP X線についての実験値(松山)より計算したもの、および可視光線によるものを示した。表1はベータトロン

表1 各種線源における露出線量と濃度

濃度	170 KVP		Co-60		ベータトロン	
	E_{min}	$\frac{E}{E_{2.0}} \times 10$	E_{min}	$\frac{E}{E_{2.0}} \times 10$	E_{sec}	$\frac{E}{E_{2.0}} \times 10$
0.5	1.4	1.4	5.6	1.4	8	1.1
1.0	4	4	16	3.9	28	3.8
1.5	6.8	6.8	28	6.8	49	6.7
2.0	10	10	40	10	73	10
2.5	13	13	54	13	95	13
3.0	16	16	66	16	114	16
3.5	19	19	76	19	130	18

E_{2.0}: D = 2.0 になる露出時間

撮影条件 1, 170 KVP 3mA 0.3Pb(FB) 試料鋼板10mm FFD:81cm
 2, Co-60 24Ci 0.3Pb(FB) 試料鋼板100mm SFD:1m
 3, ベータトロン 50% イリジウム-192Pb(FB) 試料鋼板100mm FFD:1m
 フィルム RR 20°C 6min 現像

Co-60 および 170KVP X線による実験例である。散乱線についての実験はX線装置によったが、これは他の線源にもあてはまる。

図2は横軸に露出量の対数目盛をとり、縦軸に濃度をとったものである。曲線の切線の勾配 γ は D の値によって変るしかし E の値の変化の少ない範囲においては $D = \gamma E \cdot \log_{10} E + C$ で示される。ここで γE は露光量 E に応ずる γ である。いま E_1 E_2 の間に ΔE

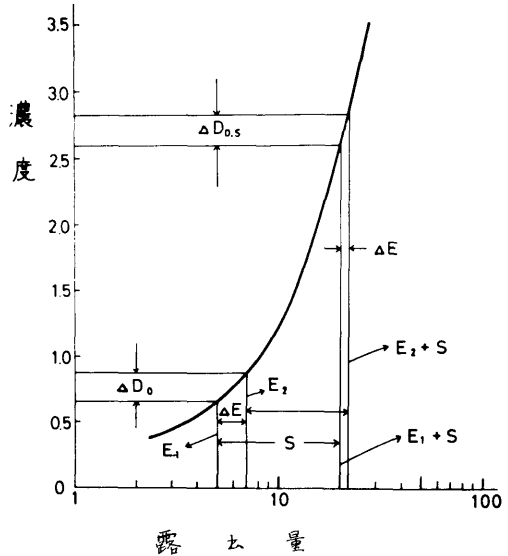


図2 特性曲線からみた散乱線の効果

なる露光量差があり、これに一樣な散乱線 S が加わったとすると、 $\Delta E \ll E_1 + S$ であるから

$$\Delta D \approx 0.43 \cdot \gamma \frac{\Delta E}{E_1 + S}$$

ここで γ_{E+S} は露光量 $E_1 + S$ に対応する点の γ である。 ΔE の露光量差が被写体の厚さの差 Δt によって生じたものとし、被写体の線吸収係数を μ とすると、 $\Delta E \approx -\mu E_2 \Delta t \approx -\mu E_1 \Delta t$ であり、

$$\Delta D = -0.43 \mu \cdot \gamma_{E_1 + S} \cdot \frac{E_1}{E_1 + S} \cdot \Delta t$$

故に特性曲線から $\gamma_{E+S} \cdot E / (E+S)$ を計算し、その値の変化と、 $\mu \cdot \Delta t$ を一定にして撮影した後に散乱線を加えたときの ΔD の変化とを比較すれば、この式が使用出来るか否かを検討することができる。

図3は図1の特性曲線から得た各濃度における平均の γ を示す。 γ の計算は目的とする濃度の ± 0.2 の露出量の対数の差で濃度差 0.4を割ったものであり、濃度 0.5の点については濃度差 ± 0.1 を撰んだ。

表2は $D=0.5, 0.8$ および 1.5 を与える E を直接線

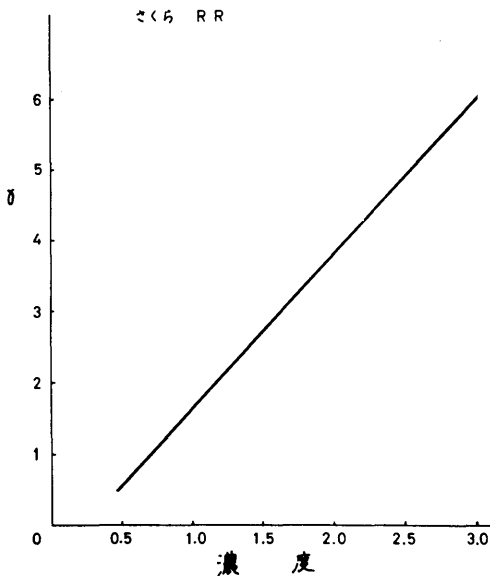


図3 フィルム濃度と γ の関係 (さくら RR)

表2 特性曲線から計算したコントラスト係数 (散乱線を加えた場合)

D	γ	E _{min}	E = 1.4		E = 3		E = 6.8	
			S	K	S	K	S	K
0.5	0.55	1.4	0	0.55				
0.8	1.18	3	1.6	0.55	0	1.18		
1.0	1.60	4	2.6	0.56	1	1.2		
1.5	2.65	6.8	5.4	0.55	3.8	1.17	0	2.65
2.0	3.75	10	8.6	0.53	7	1.12	3.2	2.6
2.5	4.82	13	11.6	0.52	10	1.23	6.2	2.54
3.0	5.90	16	14.6	0.52	13	1.11	9.2	2.52

$$K = \gamma \cdot E / (E + S)$$

撮影条件

170KVP 3mA 0.3Pb(FB)
 試料: 銅板 10mm
 FFD: 81cm
 (RADIOFLEX 300-EG)

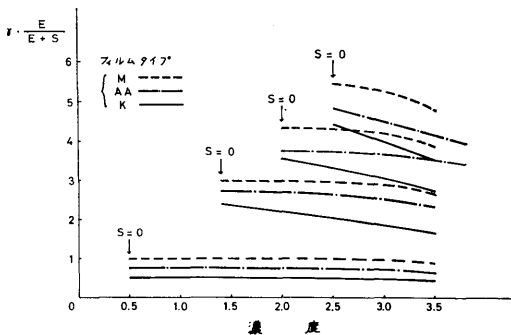


図4 各種フィルムにおける散乱線の効果 (散乱線を加える場合)

として、これにSを加えた場合の各系列について $\gamma \cdot E / (E + S)$ を計算したものである。この値をコントラスト係数Kとすると、Kは散乱線が加わらない場合の直接線の濃度における γ と殆んど等しい値を示した。ここで特性曲線としては170KVP X線によるものを選んだ。

以上のことから直接線で得られたコントラストは、散乱線が加わってさらに濃度が増すときは、RR タイプ・フィルムでは濃度 3.0程度まで殆んどコントラストに変化がないことを示している。

RR タイプ以外については、特性曲線および γ が示されているコダックのフィルムについて計算した例を図4に示した。コダック・タイプM, AA およびKはR, RR およびNに大体対応しているものと思われる。 γ が濃度の増加とがに大きくなるM, AA では散乱線を加えて濃度が上がる場合はKの値が殆んど変っていない。タイプKではややコントラスト係数が下がる。

3. 実験方法および実験結果

3.1 散乱線を加えて濃度が上がる場合

一様な散乱線Sを加えるには図5に示すように、10mm鋼板の上に1mm厚さのステップを重ねてT₀分

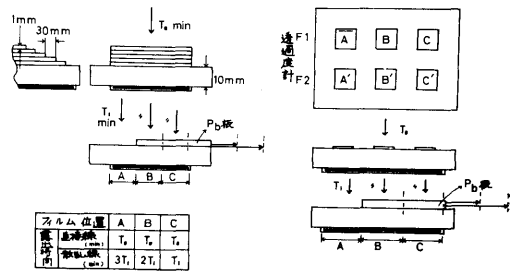


図5 散乱線を加える実験方法 (濃度が上がる場合)

露出する。その後ステップを取除き、次に20mmの鉛板の覆いを順次移動しつつ露出を行なった。識別度の変化をしらべるには、透過度計F₁, F₂を並べて撮影した後、これを取除いて同様に鉛板を移動しつつ露出を行なった。この場合直接線の中に含まれる前方散乱線の大部分は0.3mm鉛増感紙で取除かれるが、残存している散乱線をS₀とすると、コントラスト係数は $\gamma \cdot E / (E + S_0 + S)$ になり、S₀のあるなしにかかわらず実験的にΔDの変化をしらべることができる。すなわちこの実験では $S = n(E + S_0)$ であり、コントラスト係数は次のように示される。

$$\gamma \cdot \frac{E}{E+S_0+S} = \gamma' \cdot \frac{E}{E+S_0} \cdot \frac{E+S_0}{(E+S_0) + n(E+S_0)}$$

$$= \gamma' \cdot \frac{1}{1+n}$$

すなわち直接線の中に \$S_0\$ 散乱線が存在しても、直接線の \$n\$ 倍の散乱線を加える実験方法でコントラストの変化を調べることができる。この場合直接線中に散乱線が含まれているために、\$\gamma\$ が \$\gamma'\$ に下がったと考えればよいことになる。実験は RR フィルムについて行なった。

図 6 は散乱線を加えた場合の濃度変化を示す。A, B, C はともに直接線の露出量が 4 分であり、加えた

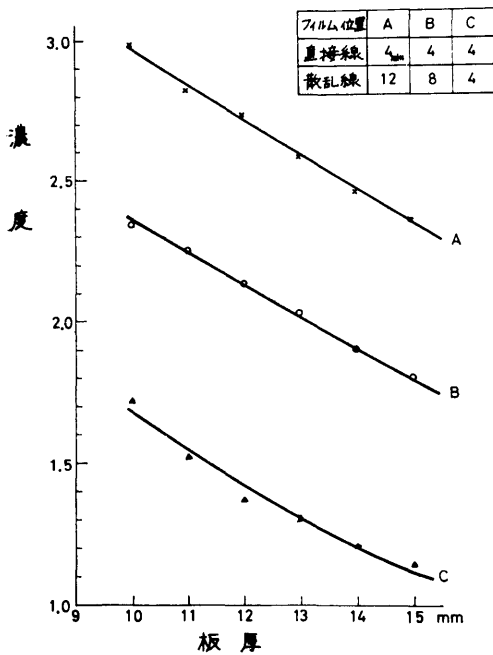


図 6 散乱線を加えた場合の濃度変化

散乱線量は異なってもコントラストは殆んど変わっていない。直接線にも散乱線が含まれているので \$K\$ の値を計算することは出来ないが、\$AD\$ の変化が殆んどない点から、\$K\$ の値もまた変わっていないことが推定される。このことは特性曲線から計算した結果とよく一致している。

図 7 は識別度についての実験結果であり、3 種の露出条件において殆んど識別度に変化はなかった。

(◎は透過度計が切れずに見えるもの、○は切れているが見えるもの、△はわずかに見えるもの、)

3.2 濃度をおさえて散乱線を加える場合

この実験方法を図 8 に示す。10mm 厚さの鋼板に前

位置 φ	A	B	C
0.4			
0.35	◎	◎	
0.3	○	○	◎
0.25	△	△	○
0.2			△
0.15			
0.1			

位置 φ	A	B	C
0.7			
0.6			
0.5			
0.4	◎	◎	◎
0.3	○	○	○
0.2	△	△	△
0.1			

1F, 2F 位置	A	B	C
直接線	4min	4min	4min
散乱線	12min	8min	4min

図 7 散乱線を加えた場合の識別度

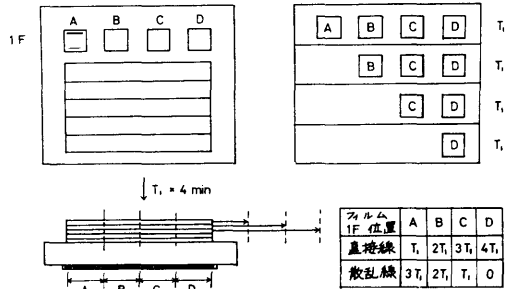


図 8 濃度をおさえて散乱線を加える実験方法

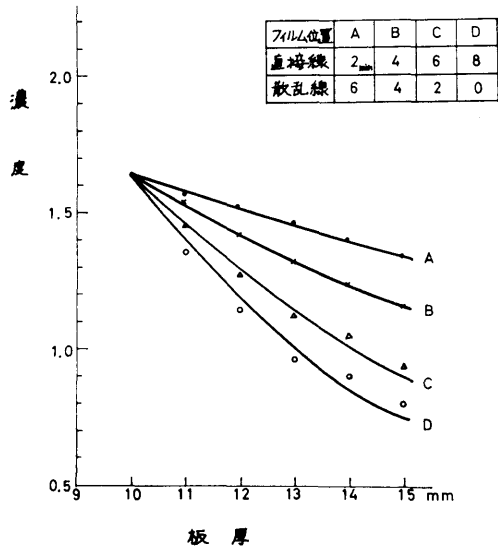


図 9 濃度をおさえて散乱線を加えた場合のコントラスト変化

述のステップをおき、階段の線の方に数回に分けて移動させつつ露出した。また識別度についても同様な

実験を行ない、鋼板の上に並べた F_1, F_2 の透過度計を各露出終了後順次取除く方法をとった。

図9は各撮影条件によるコントラストの変化を示している。濃度1.35より1.40を含み、 $dt=1mm$ のときのコントラスト JD を各撮影条件A,B,C,Dよりとってみると、それぞれ0.05, 0.1, 0.15, 0.2が得られる。この値に $(E+S)/E$ 倍すると、すべて0.2となる。またコントラスト JD は同じ濃度のところでは $E/(E+S)$ 倍に下がることを示している。

識別度の変化については図10に示すようにコントラストの減少とともに見え難くなることを示している。

ϕ 位置	A	B	C	D
0.4	△			
0.35	△			
0.3		⊙		
0.25		△	⊙	⊙
0.2			△	○
0.15				△
0.1				

1F位置	A	B	C	D
直接線	2	4	6	8
散乱線	6	4	2	0

図10 濃度をおさえて散乱線を加えた場合の識別度

4. 散乱線によるコントラスト低下の補償

特性曲線から求めた γ は散乱線が全くない場合であって、散乱線が加わると γ は $E/(E+S)$ 倍した値に

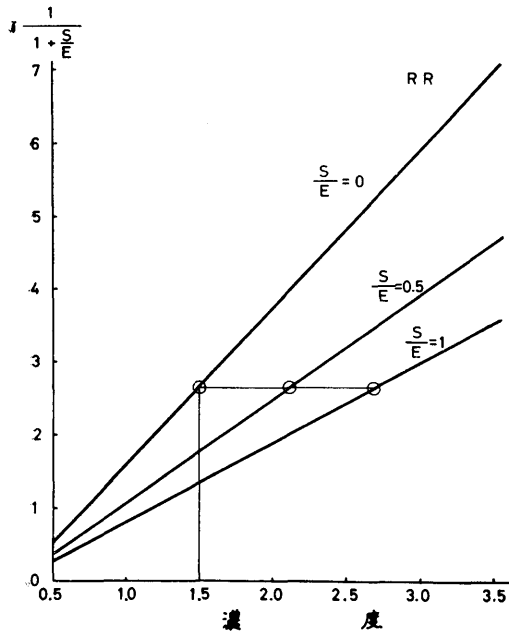


図11 散乱線がある場合の濃度とコントラスト係数の関係

なることが明らかになった。そこで単に濃度と γ の関係を示す図を、 $\gamma \cdot E/(E+S)$ と濃度の関係で表わせば、散乱線がないときに得られたコントラストを得るには濃度をどれだけ上げればよいかを知ることができる。図11はRRタイプについて濃度とコントラスト係数の関係を示す。例えば濃度1.5で散乱線が始んどない状態で得られコントラストは、直接線と散乱線が等量に存在する場合には濃度を約2.7に上げることによって得られる。

5. むすび

散乱線として被写体コントラストのない場合の直接線を使うことによって、従来散乱線がコントラストに与える影響を示す式が実験的にも正しいことを確めた。

散乱線があるにもかかわらず、散乱線がない場合と等しいコントラストを得るためには、コントラスト係数が等しくなるような、それよりも高い濃度をえらばよい。

R, RRタイプ等濃度が飽和し難いフィルムでは濃度を高くして大きいコントラスト係数をとることが出来るので散乱線がある場合は有利である。またこの点から高濃度用シャーカステンを用いることが望ましい。

参考文献

- 1) T. Senda, I. Matsuyama, S. Masuyama; Concerning Geometrical Condition and Scattered X-Ray, Proceeding of the Third International Conference on Nondestructive Testing, Tokyo Japan, (1961) P. 186
- 2) 一色, 片岡, 高, 山沢; 被写体散乱線と欠陥像について, 非破壊検査第12巻3号
- 3) 石井, 神尾; 散乱線の強度分布と線質, 非破壊検査第6巻1号
- 4) 中田; 後方散乱線 γ 線の解析, 非破壊検査第10巻6号
- 5) 石井, 神尾, 榎, 高橋; 大容量コバルト60 γ 線による透過写真検査について, 船舶技術研究所報告第2巻3号
- 6) 例えば Scattered Radiation, A Further Handbook of Industrial Radiology, Edward Arnold LTD. London.
- 7) NONDESTRUCTIVE TESTING HANDBOOK VOL. 1, 19-8