非 破 壞 検 査

UDC 620.179.15:539.122.06

論文・報告

第20巻 第4号

放射線透過試験における像質値と欠陥検出度*

神尾 昭* 榊 昌英* 勝又 健一*

Relation between the Image Quality of Radiograph and the Defect Detectability

By

Akira KANNŌ, Masahide SAKAKI, Kenichi KATSUMATA Ship Research Institute

The wire type image quality indicator was correlated with the sizes of defects of simple forms, such as slit, straight natural crack and spherical defects, at the discernible limit.

In the case where the radiation is almost parallel to the slit direction, a simple relation was obtained experimentally between the wire diameter and the slit cross section parallel to the radiation direction. This relation was also applied to the straight natural crack taking the depth as a half of it. These relations are considered to be applicable for a range of wire diameters approximately 0.2 mm to 1.0 mm.

For the case of angled radiation, the discernibility of straight natural crack decreased remarkably with the increase of radiation angle to the crack, while the discernibility of slit did not so much decrease as that of straight natural cracks.

The spherical defect can be discerned at the same rate as 1T hole, if it has a diameter of 1. 3 T.

1. はじめに

放射線透過試験で使用する透過度計は,模擬的欠陥と もいえるものであり,小さい像質値(ここでは識別限界 にある線形透過度計の直径,あるいは円孔形透過度計の 板厚,または透過度計識別度をさす)が得られる透過写 真は,小さい欠陥まで検出することが期待できる。しか し欠陥の多様性から像質値と欠陥検出度の関係について は,十分な研究が行なわれていない。

従来は、むしろ厚さの差のみをとり上げて、像質値と 欠陥検出度を比較する誤りを避けるために、両者の間に 関係がないことが強調されてきた。いっぽう規格等で定 められた像質で、割れ等の欠陥がどこまで検出できるも のか明らかにすることが要望されている。

ここでは欠陥の中で形状が簡単なもの,例えばスリッ ト割れ,屈折の少ない自然割れ,気泡等と線形透過度計 の識別限界における関係を求めたものである。

割れについては、放射線と平行の場合にのみ線形との

関係を理論的に求めて、すでに報告した¹⁾。この場合は 角度があるときの説明が困難であったこと、線形から推 定した自然割れの寸法がやや小さ目に出たこと、簡単に 両者の比較ができない不便があることから、今回は簡単 な実験式を求めて両者の比較を行なったものである。

ここで得られた関係は視覚をもとにしているので,J IS線形透過度計で1本程度の誤差が含まれる。割れに ついていえば,(1.25)³ すなわち約2倍の大きさから½ の大きさまでの範囲に,割れの推定値がばらつくことが 考えられる。

2. 識別限界における線形透過度計とスリット割れの対応

2-1 実験方法および結果

第1図に示すように、深さ幅の異なったスリット、および線形透過度計を同時にならべて撮影した。使用した線源は 60 Coおよび 180kVpX線である。焦点・フィルム間距離は 60 Coでは 200cm、X線では 100cm である。これは X線装置の焦点寸法約 2.5mm×2.5mm, 60 Coの線源寸法 4 mm ϕ ×4 mmに対応する。

^{*} 昭和45年10月2日受理

^{**} 船舶技術研究所





Slit No t	6 m m .	2.5 mm	1.0 mm		
1	0.95	0.92	0.9 2		
2	0.42	0.4	0.37		
3	0.18	0.13	0. 1		
4	0.08	0.06	0.07		

第1図 スリット割れ試験片 (2重露出法による)







放射線透過試験における像質値と欠陥検出度

普通の撮影法では、このようなスリットは明瞭な像を 作るので、識別限界における実験を行なうことはできな いが、ここでは2重露出法で散乱線を加え、像のコント ラストを下げて実験を行なった。各低コントラストの段 階で、同時に識別限界にある線とスリットの対応を求め た。とくに、指定しないかぎり、濃度は2.0を基準とし た。この結果を第2図、第3図に示した。これらの実験 値は、ほぼ次の式で示される。

$PW = k\phi^3$(1)

$k \doteqdot 1$

ここでPはスリットの深さ、Wはスリット幅、 ϕ はス リットと同じ識別限界にある線の直径である。この実験 において線源が 60 Coの場合は、線形透過度計1.0mmま でほぼ式(1)の関係があてはまるが、180kVp X線では、 像質計 0.8mm 以上で対応するスリットは、実験値より ズレが大きい。しかし 180kVp X線を使用するとき、線 形透過度計の直径 0.8mm が問題になることは一般に考 えられない。したがって、式(1)は十分適用できるものと 考えられる。

次に2重露出法によらず,スリットの幅を変えて同じ 識別限界にあるスリットと線の対応を求めた。実験結果 は,すでに報告した¹⁾。第4図は,その実験方法を示し た。ここでは,その実験値と式(1)によって,線径が一致 していることを確めた。これを第1表,第2表に示す。



第4図 線形とスリット割れの対応を求める試 験方法(2重露出せず)

第1表 スリット割れに対応する線形透過度計の 直径(線源 Ir フィルムRR) P=5mm

Slit Width	Mark	of Visi	bility	Dia. of Wire	4- (DW) 1/3
mm	D = 2.0	1.5	1.0	(experiment)	$\phi = (\mathbf{F}\mathbf{W})^{\prime \circ}$
0.04	0	0	0		
0.02	0	0	0	$\left\{ \begin{array}{c} 0.7 \\ 0.6 \end{array} \right.$	
	0	0	\otimes	0.5	$\phi = 0.37$
0.01	0	\otimes	\otimes	0.4	(W=0,01)
	\otimes	\otimes	×	0.3	
	×	×	×	0.2	

-92-

第20巻 第4号

非破壞検查

第2表 スリット割れに対応する線形透過度計の 直径(線源 Ir フィルム N, S) P=5mm

Slit	M	lark	of	Visi	bilit	У	Dia. of Wire			
Width	F	ilm :	N	F	ilm	s	mm	$\phi = (PW)\frac{1}{3}$		
mm	2.0	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0	(experiment)			
					1		(1.0			
0.04	0	0	0	0	0	0	{ 0.9			
			İ.				L 0.8			
0.02	0	0	\otimes	0	0	0	0.7			
	0	\otimes	×	0	\square	\otimes	0.6			
	\otimes	×	×	\otimes	\otimes	\otimes	0.5	$\phi = 0.42$		
ļ	×	×	×	×	×	×	0.4	(W=0.015)		
0.01	×	×	×	×	×	×				

(◎:明瞭に見える,○:像に切れる部分がある,①:像に切れる部分 が多い,⊗:わずかに識別できる,×:識別されない)。

2-2 実験式の適用範囲

さきに述べたように、この実験式は使用放射線のエネ ルギー(線質)が検出される線形透過度計の大きさに対 して、適当な範囲にある場合に適用される。すなわち低 い管電圧のX線で大きな線径を対象にし、したがって大 きなスリットを対象にするときは適用できない。この理 由としては不鮮鋭度が小さいとき、小さい幅のスリット の像のコントラストが、PWに比例する量として考えら れるからであろう。また¢の値は、0.2mmより1.0mm が、大体の適用範囲と考えられる。

実用の放射線エネルギー使用範囲として奨められる値 は、日本溶接協会原子力委員会NDT小委員会が行なっ た実験結果²⁾より、透過度計識別度が1%以下に対応す る範囲を選ぶと、次のようになる。

260kVp	$20 \text{mm} \sim 50 \text{mm}$
400kVp	$30 \mathrm{mm} \sim 75 \mathrm{mm}$
⁶⁰ Co	65mm~140mm
15MeVベータトロン	65mm以上



第5図 スリット検出度より求めた線形透過度 計識別度と板厚の関係

第3表 識別されたスリット割れより推定され た線形透過度計識別度

Discer	nible Sli	t (Exp	eriment	al)	Calculated Sensitiv	Wire ity
Thick. of Steel Plate (mm)	Radia- tion Source	Film	Width of Slit W(mm)	Depth of Slit P(mm)	$\phi = (\mathbf{PW})^{\frac{1}{3}}$ (mm)	%
25.4	250kV	AA	0.025	0.55	0.24	1
25.4	250kV	AA	0.1	0.25	0.29	1.15
25.4	250kV	AA	0.2	0.2	0.27	1.1
25.4	250kV	М	0.075	0.18	0.24	0.95
25.4	520kV	М	0.2	0.125	0.29	1.15
28	160kV	F.G.	0.02	1	0.27	0.97
28	Ir ¹⁹²	F.G.	0.02	5	0.46	1.64
28	Co ⁶⁰	F.G.	0.05	3	0.53	1.9
33	220kV	F.G.	0,0062	2.5	0, 25	0.76
45.8	(r ¹⁹²	F.G.	0.05	3	0.53	1.15
51	1MeV	F.G.	0.0125	5 2.5	0.31	0.61
56	260kV	F.G.	0.02	5	0.46	0.82
56	Co ⁶⁰	F.G.	0.1	3	0.67	1.2
56	Ir ¹⁹²	F.G.	0.02	7	0.52	0.93
64	31MeV	F.G.	0.05	3	0, 53	0, 83
66	Ir ¹⁹²	F.G.	0.1	3	0.67	1
76	300kV		0.025	6.25	0.54	0.7
76	400kV		0,025	6.25	0.54	0.7
76	1MeV		0,025	5	0.5	0.6
76	2MeV		0.025	3	0.42	0.5
76	2MeV	M	0.075	1.25	0.45	0.5
76	2MeV	AA	0.075	i 1.9	0.52	C.6
76	2MeV	AA	0.25	1.0	0.63	0.8
76	2MeV	AA	0.5	0.5	0,63	0.8
76	5MeV	7	0.02	5 5	0,5	0.6
76	Co ⁶⁰	-	0.02	5 6.25	0.54	0.7
89	400kV	7	0.02	5 6.25	0.54	0.6
102	400kV	7	0.02	5 12.5	0.68	0.6
102	400k V	7	0.02	5 25.4	0.86	0.8
102	400k	7	0.02	5 10	0.63	0.0
102	1MeV	V	0.02	5 5	0.5	0.
102	18Me	V	0.02	5 5	0.5	0.

2-3 他の実験値における式(1)の適用

IIW第5委員会では、線源として160kVpより31MeV までのX線、 60 Co、 192 Ir等の γ 線など15種類を使用し、 フィルムとしては主として微粒子形、板厚範囲としては 25.4mmから250mmの鋼材において検出された最小の スリットの寸法を表にしている³³。

この実験結果を利用して式(1)により,逆にその透過写 真の像質値(φ)を求めたのが第3表である。この透過度 計識別度と,先に述べたNDT小委員会が求めた実験結 果との比較を第5図に示した。このスリットからの逆算 値と実験値は,ほぼ一致している。特に板厚70mm以下 では,よい一致を示した。しかし板厚の大きい部分につ いては,一致していないところもあり,例えば 400kVp では換算値と実験値が板厚の大きい部分で離れている が,これは実験値が十分でないことも考えられる。

識別限界における線形透過度計と自然割れの対応

ここでは自然割れの深さを½にとり,さきに得られた スリット割れにおける実験式を自然割れにも適用した。 これはスリット割れに対して,自然割れは断面が三角形 に近い形状をしていると考えられること,あるいは内面 に凹凸があり,実質的に長さを½程度にすることによ り,スリット割れに近似できるものと考えた。したがっ て,深さP開口部の幅あるいは最大の幅をWとする自然 割れは,次の式で線形像質計のと関係づけられる。

3-1 実験方法および実験結果

使用した試験片は,厚さ20mmの鋼板溶接部に窓枠拘 束形硫化水素脆化試験により,種々の大きさの腐食横割 れを作ったものである。試試片としては溶接余盛りのあ るもの(No.1 試験片),溶接余盛りを切削したもの (No.2 試験片)を用いた。

試験片は溶接部の中心で縦方向に切断し,再度突き合わせて透過試験を行なった。切断面は研磨し,顕微鏡によって割れ開口部の幅,割れの長さを測定した。

試験片 No.1による実験結果は理論式と比較して,すでに報告した¹⁾。ここでは同じ像質値で,式(2)により自





然割れの推定値を求め、実験結果との比較を行なった。 この例を第6図、第7図に示す。第6図における点線は 理論式によるものである。式(2)による推定値は、実験値 とよい一致を示した。

3-2 自然割れにおける深さと幅の関係

割れの深さと幅の関係は一様ではないが、使用した割



-94-





れ試験片および十字継手部に生じた割れを顕微鏡で観察 して、その深さと幅について図示したのが第8図であ る。幅としてはほぼ最大部をとり、細い屈折は無視して 深さを測った。第8図によれば、割れ深さ(P)は割れ 幅(W)の100倍より1,000倍のものがほとんどであり、 平均して200倍のものがもっとも多いといえる。

式(2)によって識別限界にある線形透過度計の線径から 検出できると推定される割れ深さは,第9図に示され る。ここで割れ方向と放射線方向は平行の場合である。

3-3 他の自然割れ実験値における式(2)の適用

自然割れの深さ,幅と放射線による検出度の関係を取り扱った研究は他にほとんどみられないが,1例としてG.L. Becker⁴⁾の実験を上げることができる。この実験は拘束によって作った溶接部の割れを切り出して,深さの異なった4段のステップを作った。これには,次のような割れが含まれている。

幅	深さ
0.0762mm	1.59mm
0.0762mm	3.18mm
0.089 mm	4.76mm
0.127 mm	6.35mm

割れの長さは95mmである。上記の割れをステップ状 において、厚さが均一になるように板を追加し、AST M2T形円孔と比較している。5種類の線源を用いた実



第10図 G.L. Becker の使用した自然割れの形状⁵⁾

第4表	自然割れ検出度と円孔(2T)検出	度
Discernible	e Natural Crack and Corresponding H	Iole

	Discer (Same	nible H Condit	Calculated Hole from Crack			
Radia- tion Source	Thick. (mm)	T(2T Hole)	Depth of Crack (P)	Width of Crack (W)	Wire from Crack $d=3\sqrt{(PW)/2}$	T(2T) from d
250kV	50.8	0.38	0.82	0.076	0.31	0.43
275	47.6	0.44	0.82	"	"	0.43
300	46	0.44	0.82	"	"	0.43
Ir-192	23.8	0.44	0.82	"	"	0.43
Co-60	14.3	0.51	0.82	"	"	0.43

験では,深さ1.59mmの割れのみが識別限界で2 T形円 孔と比較されている。この実験においてG.L. Becker は 得られた実験結果から,割れの深さと2 T円孔板の厚さ を比較して,割れと像質計の間に何ら関係がないと結論 した。ここで自然割れの形状は,第10図に示されるもの である。

Becker の実験値を整理した結果を第4表に示す。ま ず自然割れが深さ1.59mmの約5までほぼ放射線方向に 平行であると考えられるので,割れの深さを0.82mmと する。割れの幅0.076mmと深さから,式(2)によって線 形透過度計の直径を求めると0.31mmとなる。すでに報 告された線形と円孔形の透過度計の相関関係²⁾より,2 T円孔透過度計の板厚を求めると0.43mmが得られる。 この値は,Becker が得た2T円孔板の厚さとよい一致 を示す。この表で同じ割れに対し,実験値では像質値が やや変化している。すなわち,かえって割れよりも透過 度計が敏感である結果が出ているようである。以上の結 果より,割れが放射線と平行な場合は,像質値とよい相 関関係があるといえよう。

4. 放射線方向と角度をもつ割れの検出度

4-1 自然割れおよびスリット割れについての実験

自然割れ試験片 No.2(硫化水素割れ,余盛り削除) を使用して,各割れが放射線方向と角度をなすように試 験片を水平方向に移動して撮影し,識別限界にある割れ 角度と割れ寸法,および線形透過度計の関係を求めた。



第11図 自然割れ試験片断面図 (No.2, 余盛りなし)

第11図は使用した試験片(No. 2)の断面図である。 また割れの1例を写1真に示した。各割れの深さ,幅および各種撮影条件で撮影した場合の割れの検出状況を第



写真1 自然割れの1例

第5表	自然割れ	(No. 2)	の寸法と各種線源によ	る割れ検出度
-----	------	---------	------------	--------

Cr	ack No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Crack Size	Depth (mm)	10.2	17.5	2.5	2.3	12.6	13.4	9.3	2	9.2	11.4	19.2	10.5
	Width (mm)	0.033	0.027	0.012	0.020	0.012	0.024	0.009	0.006	0.010	0.005	0.030	0.024
	230kVp-RR	0	0	* ×	×	0	0	0	×	Δ		0	
	230kVp—N	0	0	×	×		0	Δ	×	Δ	×	0	Δ
Crack	Angle for Xray	5° 53′	4° 35′	3° 21′	2° 40′	1° 54′	0°	1° 48′	2° 40′	3° 20′	4° 40'	6° 7'	7° 50′
Visibility	Ir—RR		0	×	×	Δ	0	· 🛆	×	Δ	×	0	\triangle
(Angle of No. 6 is)	Ir—N			×	×	×		×	×	×	×	0	\triangle
\zero	Angle for Ir	4 °	3° 10′	2° 20′	1° 50′	1° 20′	0°	1° 15′	1° 50′	2° 20′	3° 10′	4° 20′	5° 30'
	Co-RR	×	0	×	×	×	Δ	×	×	×	×	Ô	Δ
	Angle for Co	2° 5′	1° 40′	1° 15′	55′	1°	0°	1°	55′	1° 15′	1° 40′	2° 5′	2° 45′

第6表 放射線に対する割れ角度と割れ検出度 (230kVp, RR, FFD 106cm) Crack Visibility for each Angle (No.2 Sample)

Crack No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	0	0		×	0	0	00	×		×∆	0	
		4°	3°10′	2°20′	2°	1°15′	0°	1°20′	2°35′	2°20′	3° 5′	4°	5°10′
	2	0	0	\triangle	×	0	0	OΔ	×	0	×	0	Δ×
		3°50′	1°50′	1°	40′	0°	1°15′	2°25′	2°50′	3°30′	4°20′	5°20′	6°20′
	3	0	0	∆×	$\triangle \times$	0	0	OΔ	×	OΔ	×	0	Δ
		2°20′	1°10′	20′	0°	40′	1°50′	3°10′	3°30′	4°10′	5°	6°	7 °
	4	0	0	OΔ	×	0	0	Δ	×	Δ	×	0	× △
		40′	15′	1°10′	1°15′	2° 5′	3°20′	4°30′	4°50′	3°40′	6°20′	7°20′	8°20′
Sample Position	5	×△	0	×	×	0	ОΔ	Δ	×	×Д	×	0	×Δ
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		1°30′	2°25′	3°15′	3°30′	4°10′	5°20′	6°30′	6°50′	7°40′	8°20′	9°20′	10° 3 0′
	6	×	0	×	×	0	Δ	×Δ	×	×△	×	OΔ	
		3°40′	4°30′	5°25′	5°40′	6°20′	7°30′	8°40′	9°	9°50′	10°30′	11°30′	_
	7		0	×	×		×Д	×	-	-	-	_	
		5°50′	6°40′	7°30′	7°50′	8°20′	9°40′	10°50′	-	-	-	_	-
	8		-		_		OΔ	0	×	0	Δ×	0	0
			_	-	—	7°40′	6°30′	5°20′	4°50′	4°20′	3°25′	2°25′	1°20'
	9	Δ	0	×	×	0	0	0	×	0		0	0
	3	7 °	6°20′	5°20′	5°10′	4°30'	3°15′	2°	1°40′	1°	0°	50′	<u>2</u> °

-96-

第20卷 第4号

5 表に示した。ここでX線撮影における焦点・フィルム 間距離は 75cm である。

第6表は線源230kVp,フィルムRR,焦点・フィルム ム間距離106cmの撮影条件で,試料No.2を水平に移動 して撮影した実験結果を示す。試験片のおかれた位置に よって,各割れの放射線に対する角度が異なる。

ここで放射線と割れが角度をなすとき、識別限界にお ける割れと線の直径の関係を次の式で表わすことにす る。

ここで $\theta = 0^\circ$ のとき,自然割れでは $k_\theta = 2$,スリット 割れでは $k_\theta = 1$ となる。自然割れについて,第6表の実 験結果を式(3)により整理したのが第7表である。この中 で角度は小さいが, k_θ の値の大きいものがあるが,割れ が傾斜していることが認められた。また割れの寸法が切 断部で適当であるか否かにも,問題があると考えられ た。

試験片 No.1(硫化水素割れ,余盛りあり) について, 同様に角度と割れの寸法との関係を示したものが,第12 図である。

スリット割れについては,写真2に示す試験片の中央 にあるスリットに所定の金属箔を挿入して割れ幅を作 り,回転して放射線方向と角度をとったものを試験板に

第7表 放射線に対する割れ角度と k_{θ} (Crack Angle to Radiation and k_{θ} (No. 2 Sample)

Crack No.	Angle	Mark	ϕ^3	PW	kθ	Note
1	1°30′ 7°	$\times \bigtriangleup$	$(0.25)^3$ = 0.0156	0.336	20	crack is not vertical
3	1° 2°20′		//	0.03	2	
	20'	$\bigtriangleup \times$			i	
4	0°	∆×	//	0.046	2.95	
5	7°40′ 8°20′		"	0.151	10	
6	7°30′ 9°40′	$ \bigtriangleup \\ \times \bigtriangleup$	"	0.322	20.6	
7	6°30′ 4°30′ 8°40′	$ \begin{vmatrix} \Delta \\ \Delta \\ \times \Delta \end{vmatrix} $	"	0.084	5.4	
9	5°40′ 7°40′ 9°50′	$\begin{vmatrix} \triangle \\ \times \triangle \\ \times \triangle \end{vmatrix}$	"	0.092	5.9	
10	3°25′ 3° 5′	∆×	"	0.057	3.7	
12	7° 8°20′	$ \begin{vmatrix} \triangle \\ \times \triangle \end{vmatrix} $	"	0.252	16.2	

挿入した。スリットの深さは5mm,長さは30mmで, これを取付ける板厚は20mmである。また焦点・フィル ム間距離は106cmとした。この実験結果を第8表に整理 した。

ここで自然割れについては第7表の結果および第12図



第12図 放射線に対する割れ角度と割れ検出度 (Sample No.1)



写真2 スリット割れ試験片

第8表 放射線に対するスリット割れ角度と検出度の関係

Slit	Type of Film	Angle	Correspond Wire (ϕ)	(PW/ϕ^3)
		0	0.5	1.0
	RR	5	0.5	1.0
		10	0.4	2.0
P=5mm		15	0.4	2.0
			0.3	4.6
W = 0.025mm	N	0	0.6	0.6
		5	0.4	2.0
		10	0.4	2.0
		15	0.3	4.6

-97-





第13図 自然割れおよびスリット割れにおける 放射線との角度 $\theta \ge k_{\theta}$ の関係

より計算した値を、スリット割れについては、第8表の 実験結果を縦軸に k_{θ} 、横軸に角度 θ をとったのが第13図 である。試験片 No.1 および No.2 の結果はよく一致し た。点線および実線は、それぞれ自然割れおよびスリッ ト割れに対する平均の値を示す。スリットの k_{θ} の値は自 然割れより著しく低い。細長い自然割れが放射線方向に 10°傾いた場合は0°の約10倍の k_{θ} になり、すなわち PW が10倍大きい割れでなければ識別できないことになる。 いっぽうスリット割れは、15°傾いても0°の場合の約4 倍にしかならない。

自然割れの角度 $\theta(\deg) \ge k_{\theta}$ の関係は、次のように表わされる。

 $k_{\theta} = 0.002\theta^4 + 0.2\theta + 2....(4)$

すでに示したように大部分の自然割れにおける P/W の比は100以上であり、200前後のものが最も多いが、特 別な過程でスリット割れに近いものが現われた場合は、 第13図のスリット割れにおけるねで、あるいは中間にお けるねで取り扱うことになるであろう。

4-2 スリット割れについて IIW の値との比較

すでに述べた IIW-Doc. V-288-65/OE は,スリット 割れの識別限界における深さ,幅を推定する式を出して いる。この式では dD_{\min} の値の採用に問題があるが, 実験値と合うように dD_{\min} をとった場合には,この式 を用いて推定するスリットの値に大きな誤りはないもの と考えられる。この報告に示されたスリット割れの計算 値において,15°における PW を0°における PW で除

第9表 IIW-Doc. V-288-65/OE スリット割れ検 出度と角度の関係(計算値)における k_θ (θ=15°)の計算

Plate	Depth	Source of Rad	Visible Slit Width		
Thickness	of Slit		0	15	$R_{\theta}(\sigma = 15^{\circ})$
		400kV	0.032	0.14	4.5
	6. 25mm	Co-60	0.038	0.12	6.2
100mm		15MeV	0.02	0.064	3.2
		1,000kV	0.023	0.1	4.3
		5MeV	0.02	0.086	4.3
		200kV	≑ 0		
25.4mm	2.5mm	Ir 192	0.007	0.003	4.7
		Co-60	0.002	0.061	.3.1

して得られたなを各線源について求めたものを,第9表 に示した。その値はほぼ4に近い値であり,先に述べた スリット割れで得られた実験結果とよく一致する。

4-3 自然割れについて線源,フィルムタイプが異 なった場合の検討

式(4)の関係は線源が 230~240kVp X線, フィルムR Rを使用したときの実験結果である。この結果が他の線 源,フィルムタイプを用いたとき適用されるか否かを検 討した。第5表に示す実験結果から230kVp-N, Ir-RR, Ir-N, Co-RR の組合わせをとり,各割れの見えやすさ を k_{θ} を用いて実際の割れ深さを補正した位置に示した。 すなわち線形透過度計の直径 ϕ は,角度に関係なく θ =



による割れ深さの補正







査

検

割れ深さの補正

れらの結果から式(4)は、ほぼ各撮影条件にも適用される といえよう。

5. 像質値と球状欠陥の検出度

球状欠陥は溶接部においては、プローホールとして現 われるもっとも代表的な欠陥である。実験方法として は、球状欠陥としてボールペアリング(SUJ1相当) を使用した。Crの組成0.9~1.2%であるが、放射線的 には一般構造用鋼とほとんど等価であるといえる。ボー ルペアリングを各々の間隔を十分にとって、ボール紙に 各直径のもの3個ずつを固定し、これと線形および円孔 形透過度計を同時に撮影した。線の長さは40mmおよび 20mmである。各コントラストの段階で識別限界にある 線、円孔および球を比較するために、2重露出法で像の コントラストを下げた。実験結果を第10表に示した。線 源の種類、フィルムタイプによって対応する値に変動は なく、実験結果は両対数グラフで、ほとんど直線上にの った。これを第18図に示した。

実験結果が示すように,1T形円孔の深さTと球の直 径Dとの関係は次のようになる。

D = 1.3T(4)

球状欠陥の円筒形に対する形状係数をFとして,識別 限界における像の面積とコントラストの関係より次の式 が求められる。

 $\sqrt{\pi(D/2)^2F} \cdot D \cdot F = \sqrt{\pi(T/2)^2} \cdot T$

190

第10表 識別限界における球状欠陥と線形およ び円孔形(2T)の対応

Equivalent Sphere, Hole and Wire in Low Contrast

Reduction	Sphere	Hole		Wire		
Contrast	$\phi(\text{mm})$	Thick. Dia.	T of 2T Hole	Dia. Lei	ngth	Note
1	0.5	0.4×0.4	0,28	0.15	20	
				0.15	40	RR,
0.2	1.0	1.5×0.4	0.55	0.4	20	180kVp
	1	1.0×0.6		0.4	40	
		0.8×0.7				
		0.4×1.5				
0.1	1.5	1.5×1.2	0.9	0.7	20	
		1.5×1.0		0.7	40	
		1.0×1.2				
		0.8×1.2				
0.05	2.0	1.8×2	1.16	1.0	20	
		1.5×1.5		0.9	20	
	1.5	1.0×2.2		0.9	40	
	0.5(X)	1.0×0.4	0.4	0.3	20	RR,
	1.0(O)			0.3	40	230kVp
	1.0	1.0×0.6	0.53	0.4	20	
1		1.5×0.4			40	N, 2301/2 V n
		1.5×0.3				200K v p
	2.0	1.5×2.0	1.2	1.0	40	N 60Co



び円孔形(2T,1T)の対応

 $D = F^{-\frac{3}{4}}T$ (5)

式(4)、(5)より F=0.7 を得る。すなわち球状欠陥にお ける円筒形に対する 形状係数は,0.7 が適当であると考 えられる。また白く現われる欠陥と黒く現われる欠陥で は,識別限界で同じ寸法のものは,ほとんど差がなかっ たが,黒く現われる方が,やや識別しやすかった。

6. 像質値と形状不定の欠陥の検出度

単純な形状の像の識別限界における対応について,こ れまで取り扱ってきたが,溶接部におけるスラグ捲込み 等の欠陥は,一般には形が一定しない。ここでは種々の 形状の主としてスラグ捲込みを有する溶接部の放射線透 過試験を行ない,その後試験片の切削試験を行なって, 同じ識別限界にある像質計との関係を求めた。ここでは 欠陥の形を円形に近いものと,線形に近いものとに分 け,それぞれ円孔形透過度計,線形透過度計との関係を 求めた。すでに報告した両者の関係³⁹によれば,円孔形 欠陥と線形透過度計の関係を求めることもできる。

試験片は鋼板50mmで人為的にスラグ捲込み,割れを 作った。割れについては,溶接部の中心に深さ2mm以 下,幅0.025mm以下の割れが多く発生したが,これら の割れは像質値から推定しても,本実験では検出されな いものであった。

撮影条件は線源: 60Co, 4 mm $\phi \times 4$ mm, フィルム: さくらRR, SFD: 1m, 鉛箔増感紙: 0.3 mmPb F.B である。撮影に 60Co を使用したのは識別限界にある欠 陥が比較的に大きなもので,切削試験で検出が容易であ ることを期待したものである。像質計としては JIS・ 2F, 3F 線形透過度計, ASTM円孔形透過度計および IIW 円孔形像質計を同時において撮影した。

切削試験は表面より0.5mm ずつ行ない, 欠陥に近い ところでは0.2mm ずつ行なった。各段階で肉眼,磁粉 および浸透探傷試験を行ない, これらの記録より欠陥の 寸法を求めた。第19図は透過写真で識別限界にある欠陥



第19図 識別限界における形状不定の欠陥
(鋼板 50mm, ⁶⁰Co, RR)

第20巻 第4号

第11表 識別限界にある円みをおびた欠陥と円 孔形像質計

Defect No.	Area. mm²	Mean Depth mm	$t \times \sqrt{A}$			
			Defect	ASTM Hole	IIW Hole	
A-1	4	1.3	2,6	1.6	1.0	
A2	1.5	0.7	0.9	"	"	
(A-2)'	1.75	1.0	1.3	"	"	
A-3	2.25	1.0	1.5		"	
A-4	2	0.8	1.12	"	"	
A-5	3.5	0.7	1.26	"	"	

Wire : 0.8mm

Image Quality $\begin{cases} ASTM: 0.63mm(4T) \\ I IW : 1.0mm(Hole) \end{cases}$

第12表	識別限界あ	る細長い欠陥	と線形透過度計
201 L 1X	$max n y m x y m \alpha y$		

Defect No.	Mean Width (W)	Mean Depth (P)	$P\sqrt{\overline{W}}$		
			Defect	Wire	
B-1	0.8	1	0.9	0.72	
B-2	1	1	1	"	
B-3	0.4	1	0.63	"	

の実態で,(a)平面図,(b)側面図,(c)は(a)に直角な方向の 欠陥の投影図である。A-1よりA-5は,スラグ捲込み の中で円孔形に近似できるものと考えた。B-1よりB-3 は、細長いスラグ捲込みで線に近似された。

第11表は、円孔形欠陥および透過度計の比較をしたも のである。 $t\sqrt{A}$ の値の中で、tは欠陥深さあるいは透過 度計の厚さで、Aは放射線方向に直角な欠陥あるいは円 孔形透過度計の面積である。ここで透過写真の識別度 は、線形透過度計で1.6%、ASTM形透過度計で1.8%、 IIW円孔形透過度計で2.5%であった。 $t\sqrt{A}$ の値はほ ぼ一致したが、A-1欠陥のみ、やや大き過ぎる値を示し た。これは、深さ面積のとり方に問題があるものと思わ れる。またASTM透過度計とIIW像質計の間に差が あるのは、円孔の寸法が連続的でないのが主な原因であ ろう。円孔欠陥において、透過度計より欠陥寸法の推定 が行なえるといえよう。

細長い欠陥は、 $P\sqrt{W}$ として線形透過度計と比較した ものを第12表に示す。ここでWは欠陥の幅、Pは深さで ある。ここで線のP、Wは直径 ϕ で与えられる。 $P\sqrt{W}$ の値で、線状欠陥と線形透過度計はほぼ一致した。

7. 結 言

放射線透過写真の像質から検出できる欠陥の程度を推 定するために,像質値と各種欠陥検出度の関係を求める 実験を幾何学的ボケの小さい範囲で行ない,次の結果を 得た。

- (1) 識別限界において線形透過度計とスリット割れ,お よび自然割れの関係は簡単な実験式 PW= $k_{\theta}\phi^{3}$ で表 わされた。ここでP:スリット割れまたは自然割れの 深さ,W:スリット割れの幅または自然割れの最大幅 である。 $\theta=0$ のとき $k_{\theta}=1$ (スリット割れ), $k_{\theta}=2$ (自然割れ)である。 ϕ の値としては0.2より1.0が適 用される。
- (2) 放射線方向と割れ角度があるとき、細長い自然割れ は、スリット割れに比較して著しく識別し難くなり、 10°の傾きで0°の約10倍の PW の値が必要であった。 いっぽう、スリット割れでは、15°の傾きで0°の約4 倍のPWが必要であった。
- (3) 球状欠陥は、1 T形円孔の約1.3 倍の直径で識別限界が等価になった。
- (4) 識別限界にある形状不定の欠陥は円みをおびたもの,細長い線状のものに分類し、円孔形および線形透過度計と対応させることができた。

なお,本研究にあたりご指導いただいた東京工業大学 石井勇五郎教授に感謝いたします。

参考文献

- 石井, 榊, 神尾: 透過写真検査における透過度計識 別度と割れ検出度, 非破壊検査, 16, 6, (1967), pp 235~242
- 2) 神尾,線形および円孔形透過度計識別度の相関関係 について,非破壊検査,18,5,(1969), pp 197~202
- 日本溶接協会原子力研究委員会NDT小委員会,原 子炉構造用鋼溶接部検査技術に関する試験研究,昭和 39年
- 4) IIW-Doc. V-288-65/OE, The Detectability of Fine Cracks for Information
- 5) G. L. Becker, Factors Governing Radiographic Crack Detectability in Steel Welds, Presented to the American Society for Nondestructive Testing, 1969 National Fall Conference, October 14, 1969

191