

X 線透過法に関する二、三の問題について

一色貞文・仙田富男・三好 滋

1. はしがき

鈎物或は熔接部等には種々の原因による欠陥の存在する場合が多いことは周知の事実である。外部に現れているものは直ぐ発見できるし、それが使用に耐え得るか否かの判別も比較的容易であるが、内部に生ずる気泡その他の欠陥となると簡単にはわかり難い。製品を破壊して内部を調べるのも一方法であるが、これでは折角の製品が駄目になつて、製品のすべてについて検査を行うことなど勿論できない。しかしその製品に万一のことがあつた場合に生ずる危険を除去するためには非破壊検査を行えばよいことになり、超音波或は磁気探傷器による欠陥検査も行われているが、X線透過法は欠陥の状態を正確に把握できる点で最も信頼のおける方法である。

X線透過検査には、蛍光板を用いて観察する方法、フィルムに撮影する方法、或は計数管で測定を行う方法があるが、それぞれ特長を有しており目的に応じて何れかの方法を採用することになるが、欠陥を明確に把握でき

る点でフィルムに撮影する方法が通常行われている。しかしながらX線透過法を充分に利用するためには先ず良好な写真を撮影することが必要であつて、これには被写体に応じて適当なX線装置、X線フィルム、蛍光増感紙或は鉛箔増感紙を選択し、適当な露出条件（X線管球電圧、電流、時間、距離）で撮影し、適当な写真処理を行うことになる。ちなみにわが国の各方面におけるX線写真撮影条件の例を第1表に示す。

X線透過検査を充分に活用し、欠陥検出に対し最適条件を求めべく目下透過度計を欠陥検出程度の基準とし、各種工業用X線フィルムおよび増感度の性能、露出条件、現象条件ならびにX線装置特に管球の焦点の影響等について検討を加えているが、その内 2, 3 の問題について概略を述べる。

2. X線フィルム

現在市販のX線フィルムとして国産のフジ、サクラ、および外国品のコダック、デュボン、イルフォード、ゲ

第 1 表 我国主要会社における試験片の撮影条件の一例

フィルム番号	板厚 mm	電圧 KVP	電流 mA	時間 min, sec	距離 mm	フィルム	増感紙	現像液	温度 °C	時間 min
1	10	80	3	2	620	デュボン 508	極光	フジ指定	20	5
2	"	105	6	30	600	コダック F	KZ-1	フジレンドール	20	5
3	12	120	3	37	440	フジ	ア ク メ	フジ FD-11	20	4~6
4	"	100	"	1 30	600	"	極光	フジレンドール	?	?
5	"	100	"	45	600	"	サ ク ラ	SDX-1	18	5
6	14	130	"	23	440	"	ア ク メ	フジ FD-11	20	4~6
7	"	90	"	2	620	デュボン 508	極光	フジ指定	20	5
8	15.5	130	5	20	600	コダック	極光	サ ク ラ	20	3
9	16	130	3	30	500	フジ	KZ-2	フジサクラ 中間組成	?	?
10	"	121	2	3	600	"	極光 H, S	フジレンドール	20	3
11	"	100	3	2 40	620	デュボン 508	極光	フジ指定	20	5
12	"	121	"	3	600	コダック F	KZ-2	コダック指定	18	5
13	19	135	"	4 30	750	フジ	バターソン H, D	フジ ED-11 に類似	22	5
14	"	140	"	30	500	"	KZ-2	フジサクラ 中間組成	?	?
15	20	145	"	1	?	"	?	?	?	1
16	"	110	"	2	620	デュボン 508	極光	フジ指定	20	5
17	"	120	6	30	600	コダック F	KZ-1	フジレンドール	20	5
18	22	140	3	1 40	445	フジ	ア ク メ	?	?	?
19	"	130	"	3	800	サクラ	Ca ₂ WO ₃ H. S.	サクラ指定	20	4~5

バルト, シュロイスナー, ベルツ等があり, しかも使用目的に適合するように例えばコダックではF, K, A, M, ノースクリーン, ブルーブランド等異つた性能を有する何種類ものフィルムを作っているが, 富士写真フィルム株式会社でも試作を重ね 400, 300, 200, 80 と4種類のフィルムを完成し, これに従来の医療用とあわせて5種類のX線フィルムが使用に供せられる状態になっている。これらのフィルムについて特性曲線を求めて比較した結果を簡単に説明する。

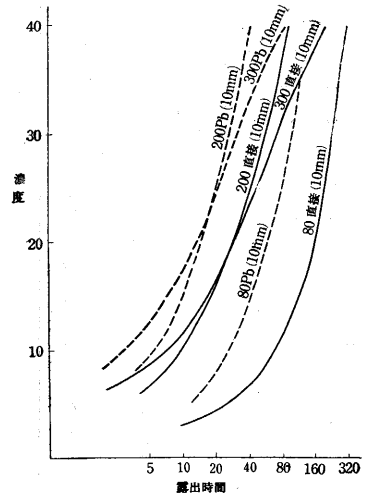
(i) 増感紙を用いない場合

100 KVP (フィルター Fe 5mm), 140 KVP (フィルター Fe 10mm) および 180 KVP (フィルター Fe 15mm) の実験結果からみると各種フィルム間の感度ならびにコントラストの関係は 100~180 KVP 程度では電圧により大きな変化はないので, 感度を主として考える場合にはゲバルト (Structurix Direct), コダック (No Screen, K), フジ (200, 300) がよく, 又コントラストならびに粒状性を考える場合にはフジ80およびコダックAがよい。

(ii) 鉛箔増感紙を用いた場合

鉛箔増感紙の感度に及ぼす影響が鉛箔の厚さに関連することは当然予想されるところであるが, 1/100, 2/100..., 10/100mm の10種類厚さの鉛箔増感紙により実験した結果, フロントの厚さは 100KVP 程度では薄い程よく, 160KVP 程度では 1/100~5/100mm がよい。又バックは 100KVP および 160KVP で 1/100~10/100mm の厚さの影響はない。

以上の結果から 4/100mm の鉛箔増感紙を使用し, フジ工業用X線フィルム (200, 300, 80) について 180 KVP で行つた結果を一例として第1図に示してあるが, 鉛箔増感紙使用の場合 (破線) は使用しない場合



180 KVP に対する特性曲線
5 mA 60cm F-111 20°C 5分 皿現像
富士X線フィルム工業用300直接及Pd-foil 併用
" " " 200 " "
" " " 80 " "
註) Filterとして全て10mmのFeを用いてある
第1図

(実線) に比べ同一濃度を得るために露出時間が $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 程度になる。

(iii) 蛍光増感紙を用いた場合

極光KZ-1増感紙を使用し, 各種X線フィルムに対して 100 KVP (フィルター Fe 15mm), 140 KVP (フィルター Fe 30mm), 180KVP (フィルター Fe

45mm) の実験結果からみて感度の点では, ゲバルト (Structurix Plus S, Curix), コダック F がよく, ベルツ, シュロイスナー, フジ400がこれに続き, 又コントラストの点では, ゲバルト, シュロイスナー, フジ400がよい。

3. 露出条件

同一試料 (板厚 16mm, ビード最大厚さ 22mm) に透過度計 (0.1~1.0mm) をおき, フジX線フィルム (医療用) ならびに極光KZ-III 増感紙を使用して KOC-200型X線装置により, 110KV P および 130KV P のX線の露出条件ならびに現像条件を種々変えて行つた90枚のフィルムについては, 110KV P のX線による方が欠陥判別能力は大であり, 130KV P に比べて透過度計の針金も1本多く認め得る場合が多い。種々の撮影条件で比較した場合低電圧X線による方が欠陥判別能力が大であるが, これについては著者の一人が既に紹介したところである。

4. 現像条件

前述の条件における90枚のフィルムの中心部, 母材の部分ならびにその中間の部分に現れた透過度計の針金の数を測定し, 8本目 (0.3mmの針金) の判別できた回数と現像時間の関係をまとめると第2表となる。表中の判別できた回数は9枚のフィルムの3ヶ所すなわち27回中に0.3mmの針金が認められた回数を示している。

第2表 現像時間と欠陥判別能力

現像時間	判別できた回数	
	110 KVP	130 KVP
3分	5	1
4	7	0
5	9	0
6	10	4
7	9	2

現像時間にかかわらず 110KV P の場合が良好な結果を示しているが, 同一の管球電圧に対しては現像時間6分が最もよく, 現像時間の短かすぎることは望ましくない。

なお以上の結果はフジX線フィルム (医療用) に対し, FD-11 現像液を用いた場合で現像温度は 20°C である。

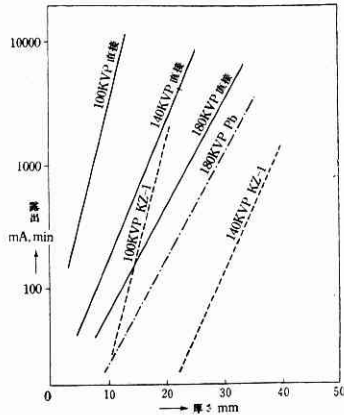
5. 露出表

各種X線フィルムおよび鉛箔或は蛍光増感紙はそれぞれ異つた性能を有しているため, 実際の作業に対して最

1) 一色貞文・生産研究 Vol 3, No 7 P 270~273

も適当した組合せを選ぶ必要がある。しかしこれらを適当に選んだとしても前述のように、露出条件および現象条件によつて欠陥判別能力には相当の差が認められることになるから、これを適当に選ぶことも必要となり、この場合に参考となるものが露出表であつて、その一例を第 2 図に示す。従来の露出表は濃度 0.7 に対するものが多かつたようで

あるが、種々の実験結果から現在では濃度 1.0 ~ 1.5 が望ましい。これは第 1 図の特性曲線のグラディエントからも、濃度 1.0 以上のよいことは明瞭であるが、現在の写真観察装置からは照明の関係で濃度 2.0 以下が見やすいことによるものである。ちなみにザイフェルト社の露出表は 1.0 である。



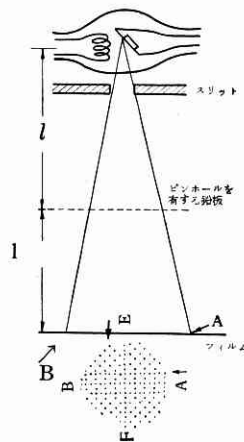
X線装置 東芝 KOC-200
 材質 軟銅
 焦点フィルム間距離 60cm
 フィルム 富士X線フィルム工業用 400
 増感紙 蛍光増感紙 KZ-1 (.....)
 直接(——) Pb (---) KZ-1
 現像液 FD-111
 現像条件 20°C 5分 皿現像
 濃度 1.0

第 2 図

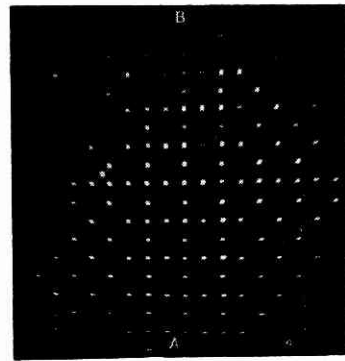
6. X線管球の焦点

X線管球の有効焦点の形状を調べ、その形状の像に及ぼす影響について調べるため 0.34mm の鉛板に 5mm 間隔に 0.3mm φ の小孔をあけたものを第 3 図のように取り付けると第 3 図下

の如きピンホール写真を得る。第 4・5 図は公称 2mm 角及び 5mm 角の角焦点を有する管球のピンホール写真である。又第 6 図は楕円焦点を有する管球のピンホール写真である。以上の焦点を有する管球によつて得られる像の形状を調べるために第 7 図に示す如くボール・ペアリング用 13/16 鋼球を用いて真影と半影とを撮影した結果を第 8 図、第 9 図に示し、24メッシュの篩を第 10 図の如

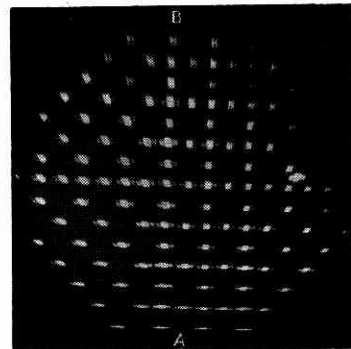


第 3 図



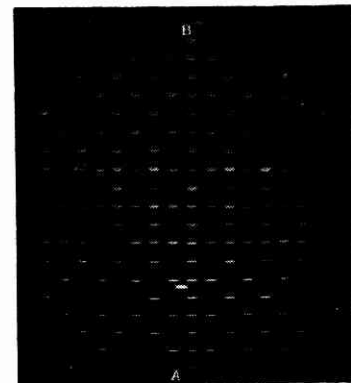
第 4 図

80KV 3mA
 1 min 10sec
 フジフィルム
 FX-38
 l = 20



第 5 図

70KV 6mA
 1 min
 フジフィルム
 FX-28
 l = 15



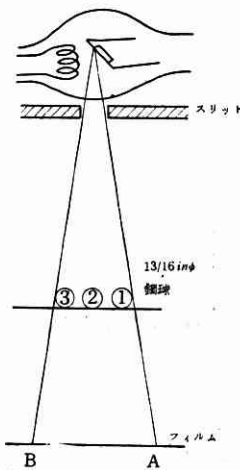
第 6 図

60KV 5mA
 1min 30sec
 フジフィルム
 FX-28
 l = 20

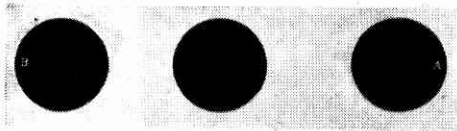
き関係で撮影したものを第 11 図、第 12 図に示す。以上代表的なものについての 2 種の実験結果を示して御参考に供する。

現在 X 線透過写真の欠陥判別能力を示す一方法として透過度計が用いられているが、これは試験片のビード上にのせて同時に撮影を行うもので、種々の形式があり、わが国においては J I S 規格 (原案) で第 13 図 (1) に示すような線状のものが用いられている。これは第 13 図 (2) のようにして使用するのであるが、この際透過度計の置き方によりその出現本数がかかなり異なることは第 11 図および第 12 図より当然考えられることである。すなわち第 3 図の A, B 方向第 11, 12 図の C D 方向 [以下 () 内は第 11, 12 図の符号を示す] に試片をおけば、透過度

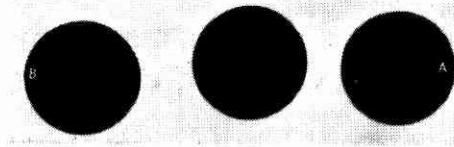
計はEF方向に平行になるからA側(C側)においてはかなり鮮明に出が、B側(D側)においては当然ぼけてC、Dにおける出現本数に相異を示す。これに反しAB(CDと直角方向に試片を置けば、両端に於ける透過度計の出現本数の相異は除去せられるが、透過度計の針金自体がBA(CD)方向と平行しているため前の場合よりも像のぼけが甚しい。結局透過度計の出現本数が減少する。



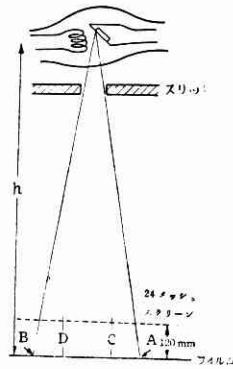
第 7 図



第 8 図 角焦点によるもの

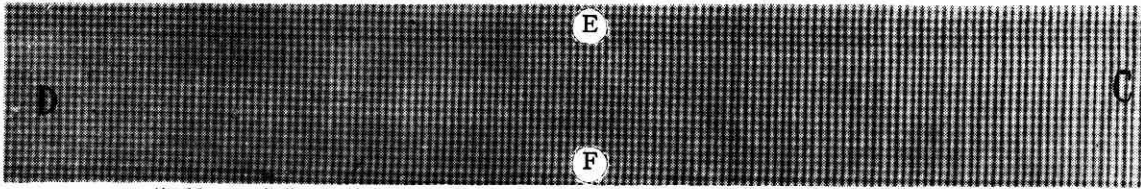


第 9 図 楕円焦点によるもの

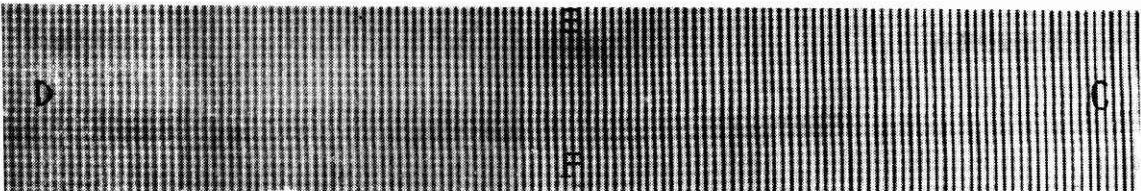


第 10 図

角焦点の時 $h=800\text{mm}$
 楕円焦点の時 $h=600\text{mm}$
 露はフィルム面に平行におく
 第11, 12図は C, D 間の露の写真を示す



第 11 図 角焦点 (第 5 図の焦点) で撮影せるもの。焦点—フィルム間距離 800mm



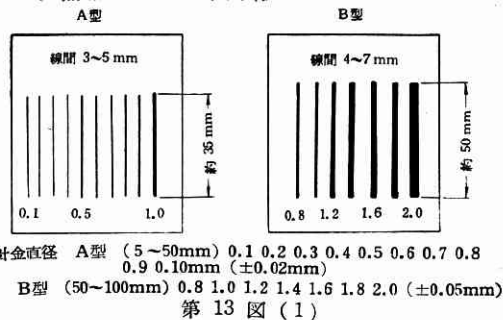
第 12 図 楕円焦点 (第 6 図の焦点) で撮影せるもの。焦点—フィルム間距離 600mm

以上の考察から、その他の透過度計の使用についても考究されるべきであろう。

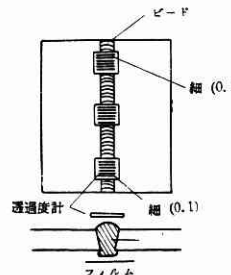
7. 結 び

以上X線透過法に関する 2, 3 の問題について行つた実験結果の一部を簡単に紹介するに止めるが、これらを含めて種々の問題につき更に検討を加える必要があるものと思う。

終りに臨み種々御援助を賜つた東京都立工業奨励館・橋本館長、手塚課長ならびに実験、調査に御協力下さつた富士写真フィルム株式会社、大日本塗料株式会社、東京芝浦電気株式会社、理学電機株式会社、千代田レントゲン株式会社、愛知産業株式会社、三菱日本重工業株式会社横浜造船所、東京鉄骨橋梁製作所、日本精工株式会社の皆様方に深甚の謝意を表する。(1953. 11. 27)



針金直径 A型 (5~50mm) 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0mm ($\pm 0.02\text{mm}$)
 B型 (50~100mm) 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 ($\pm 0.05\text{mm}$)
 第 13 図 (1)



撮影された溶接部の放射線写真においては材厚の2%に当る直径の透過度計の針金が溶接線上において認められなければならない

第 13 図 (2)