非破壊検査とテレビジョン

東京大学生産技術研究所 高 木 昇

東京都立工業奨励館 仙 田 富 男

最近工業界においては検査の重要性が非常に認識され、ここ数年来非破壊検査が特に注目されるようになった。製品の信頼度を向上させるためには検査が完全に行なわれる必要があるが、従来の抜取検査では十分でない場合が多く、全数検査を行なうようになってきた。このため破壊検査を採用することは不可能であり、非破壊検査法の発展が要望されている。

X線透過検査は非破壊検査法の一つであるが、他の方法に比して欠陥が明確に把握できるため現在最も一般的に利用されている方法である。X線透過検査はX線の透過率が物質の種類、厚さおよび密度によって変化することを利用したもので、透過後のX線の強度変化を調べる

にはX線フィルムに撮影する方法がほとんど全部といってもよい状態であった。この方法は微小な欠陥を検出できることと厚肉物体の検査が容易であることが長所であるが、フィルムの消費を伴いまた現像その他にかなりの時間を要するのが欠点である。このためイメージインテンシファイヤーを利用したX線透視検査が大幅な経費の節減と飛躍的な能率の向上を期待され最近非常に関心が持たれている。

X線透視検査はけい光板を直接観察するため検査員の疲労が多く、有害X線を被曝する危険性も大きい。このためテレビジョンを利用し、遠隔操作によりX線の影響のない任意の場所でテレビ映像により観察する検査方式が考えられたわけである。

最近非破壊検査の急速な普及に伴って、テレビジョンの利用が種々検討されている現状にかんがみこれに関する概略を御紹介したい。

写真 1 溶接部のX線透過写真

写真 2 鋳鉄のX線透過写真

写真 3 鋳造試験片のX線透過写真

筆者紹介

たかぎのぼる
高 木 昇

昭和6年3月 東京帝国大工学部電気工学科卒。
昭和6年4月 理化学研究所嘱託、東京工業大学
助手、日本大学工学部講師、助教授、教授を経て
昭和17年東大工学部教授、次いで現在生産技術研
究所に勤務。日本非破壊検査協会前会長、テレビ
ジョン学会副会長、電気通信学会副会長および編
集長。

せんどうお
仙 田 富 男

昭和20年 東京帝国大学工学部冶金学科卒業。
昭和25年 大学院特別研究生卒業後、東大講師、
生産技術研究所研究員を経て、現在東京都立工業
奨励館加工研究室主任研究員、放射線工学専攻。

"Utilization of Television for Nondestructive Inspection" by Noboru Takagi & Tomio Sendai.

X 線透過写真の撮影

X線透過検査は現在溶接部あるいは鋳物の欠陥検査に広く利用されているがまた金属組織検査あるいは機械、器具などの内部構造検査にも利用されている。X線透過写真の二三の例を写真1～写真4に示す。

X線装置は携帯式、据置式の二つに大別され、各種構造物の溶接部などのように現場で試験しなければならない場合には携帯式を、被検査物を移動できる場合は据置式を使用している。携帯式X線装置は本体の重量が40～100kg程度で、写真5は検査状況を示す。据置式X線装置の一例を写真6に示すが、写真7のように特殊X線管を用いて多数の試料を同時に検査することもできる。厚さ100mmを越える鋼材や鋼鑄物の試験には百万ボルト以上の超高圧X線装置も利用される。写真8はその一例である。

イメージインテンシファイヤーによる透視

物体を透過したX線をけい光板にあてて透過像を肉眼で観察する直接透視は医療方面ではかなり利用されているが、工業関係では検査する物体によるX線の吸収が大きく、十分な検査が困難なためほとんど行なわれていなかった。しかしイメージインテンシファイヤーを利用するとけい光板にうつる像を1000倍位に明るくすることが可能となったため、X線透視検査が暗室内でなくとも行なえるようになり、最近特に注目されるようになった。

写真6 据置式X線装置の一例

写真7 特殊X線管による同時撮影

イメージインテンシファイヤーの構造と原理を第1図に示す。左方から被検査物体を透過したX線はこの真空

写真4 内部構造検査の一例

写真5 携帯式X線装置による球形タンク溶接部の検査

写真8 15 MeV ペータトロンによる検査

第1図 イメージインテンシファイヤーの構造と原理

管のガラス壁を通してけい光板にあたり、これからの光はけい光板に密着した光電陰極板から電子を放出させる。この陰極板と右側の静電レンズの間に約 25 kV の直流電圧を与えて光電子を加速し、観察用けい光板に収斂させると明るいけい光像が得られる。

イメージインテンシファイヤーを利用して鋼管溶接部の連続検査を行なっている一例を写真9に示してあるが、この方法によれば毎分3m位の検査が可能であり、写真撮影による検査に対し数十～数百倍の能率向上が期待できる。肉眼で観察する場合に使用する観察用拡大鏡(ビノキュラー)の代わりに写真10に示すように8mmある

写真9 イメージインテンシファイヤーによる鋼管溶接部の連続透視検査

写真10 イメージインテンシファイヤーと16mmシネカメラによる映画撮影

写真11 移動する铸铁管のX線透視の16mmシネカメラによる記録

いは16mmシネカメラを取付けて検査結果を記録することもできる。写真11は铸铁管についての一例である。

テレビジョンの利用

写真9に示すような透視検査でビノキュラーを用い長時間観察すると、かなり疲労すると同時にX線を被曝する危険もある。写真12のようにビノキュラーの代わりにテレビカメラを取付けてモニターで観察するようにすれ

第2図 実験装置の配置

- ①X線装置 ②X線管焦点 ③鉛絞り ④針金型透過度計 ⑤試料(銅板)
- ⑥X線防護用衛立 ⑦X線防護用鉛ケース ⑧イメージインテンシファイヤー
- ⑨第1けい光板 ⑩観察用けい光板 ⑪レンズ ⑫中間リング ⑬テレビカメラ
- ⑭イメージオルシコン管 ⑮光電面 ⑯映像モニター(カメラ制御器) ⑰同期信号発生器 ⑱テレビカメラ電源 ⑲映像記録用カメラ

写真12 イメージインテンシファイヤーによるX線透視のテレビジョンによる観察

写真13 イメージインテンシファイヤーとテレビジョンによるX線透視の35mmカメラによる記録

(a) 鋳鉄管の内部欠陥 (b) 溶接部の内部欠陥 (c) 暗室時計の内部構造

ば明るいテレビ映像を楽な姿勢で観察できる。また必要に応じ多数の人が同時に観察できるばかりでなく、異なった場所に幾つかのモニタを置くことも可能である。さらに重要なことは遠隔操作によってX線の被曝から検査員を完全に保護できることである。

第2図に示す配置で、モニタの映像を35mmカメラで撮影した二三の例を写真13に示す。写真14は実験を行っている状況である。

透視検査を行なう場合、被検査物を動かして種々の角度から検討する必要があることが多い。これには写真15のようにテレビジョンと組合わせてマニプレータを操作すれば、X線を連続的に照射しながら安全に検査を行ない得るため非常に能率的な作業が可能となる。

各種X線検査方式における欠陥検出能力

イメージインテンシファイヤーを使用した各種検査方式とフィルムに直接撮影を行なう方式とによる鋼板の厚さと欠陥検出能力との関係を

写真14 写真13の写真を撮影している状況

第3図に示す。実験条件は第1表に示すとおりであるが、参考までに各方式におけるX線管電圧を第2表に示した。なお欠陥検出能力は次式により求めた。

$$\text{欠陥検出能力} = \frac{\text{認められる最小針金の直径 (mm)}}{\text{試料の板厚 (mm)}} \times 100 (\%)$$

上式における最小針金とは第4図に示すような JIS Z 2341 (金属材料の放射線透過試験方法) に規定する透過度計を鋼板のX線源側におき同時に透過した場合に認められる針金のうち最も直径の小さい針金を指す。

む す び

第3図の結果は低照度用イメージオルシコンを用い、装置は放送用に使われているものをそのまま利用して実験したものであるが、欠陥検出能力がビノキュラーで直接透視を行なった場合よりむしろよいことは注目すべきである。これによって検査の精度を落すことなく、テレビジョンの長所を活かすことが可能となった。

すなわち、従来のX線透過試験でフィルム撮影によれ

第3図 各種X線検査方式における鋼板の厚さと欠陥検出能力

写真15 マニプレータとテレビジョンの組合わせによるX線透視検査

第4図 透過度計の一例

は上ると同時に、もしも欠陥部の記録が必要となる際にはその部分のみフィルム撮影を行なえばよいから経済的である。さらに最近検査者の放射線障害が問題となっているので、テレビジョンを応用すればこの心配がなくなり、しかも検査の精度が現状においても秀れているので、将来の発展が期待できる。

テレビジョン技術を非破壊検査に十分に活用するためには、さらに一歩進んでそれ専用のものを開発すべきで、例えばイメージオルシコンのコントラストをさらに上げて欠陥の検出感度を向上し、画面の信号対雑音比を改善して欠陥判定に誤りないようにする。イメージオルシ

コンを使用すると装置の価格がX線装置に比し割高になるので、あるいはX線用のビデオコンが開発されればさらに応用範囲が広がるのでこの方面の発展が望まれている。

【参考文献】

- 1) G. Lang and R. O. Schumacher; Image Intensifier Fluoroscopes with kV and MV X-Ray Equipment, 第3回国際非破壊試験会議に発表 (1960)
- 2) 岡, 篠崎, 木寺, 滋賀, 小川, 澤津, 西堀, 小野, 前島, 岡本; X-Ray Cinematography and X-Ray Television using an Image Intensifier, 第3回国際非破壊試験会議に発表 (1960)
- 3) W. Lueckerath, K. Fink and R. Flossmann; A Nondestructive Method to Detect Pipes and Cavities in Hot Steel Blooms During the Rolling-Process by Means of Betatron, X-Ray-Image-Intensifier and Television-Setup, Non-destructive Testing Vol.18, No.1, p.27 (1960)
- 4) 手塚, 仙田, 松山, 山下, 二宮; イメージインテンシファイヤーによるX線透視検査へのテレビジョンの応用について, 非破壊検査 Vol.8, No.2, p.69 (1959)
- 5) A. F. Wegener; An X-Ray Image Intensifier of the Closed Circuit Television Type, Nondestructive Testing Vol.16, No.1, p.16 (1958)
- 6) H. Berger and A. L. Pace; Field Performance of a Television X-Ray System, Nondestructive Testing Vol.15, No.1, p.26 (1957)
- 7) D. Polansky and E. L. Criscuolo; Characteristics of a Closed-Link Television X-Ray Inspection System, Non-destructive Testing Vol.14, No.3, p.19 (1956)

(昭和35年8月5日受付)

第1表 各種検査方式における実験条件

検査方式	イメージインテンシファイヤーによる透視		直接撮影	
	テレビ系	ビノキュラー間接撮影	高感度ノースクリン	微粒高解像力
X線装置	ミューラー社 MG-150型 (最高 150kV, 3mA) X線管実効焦点 0.4 mm		ミューラー社マクロタンクH型 (最高 260 kVp, 5mA) X線管実効焦点 2.3mm	
距離(cm)	30	30	50	60
拡大率	×2		×1.02~×1.07	
使用フィルム	—	—	さくらXレイフィルム間接用 35mm	工業用 タイプN タイプR
露出条件	—	—	40秒	鉛箔増感紙使用 4mA 1分

第2表 各種検査方式における鋼板の厚さとX線管電圧

検査方式 鋼板 (mm)	イメージインテンシファイヤーによる透視		直接撮影	
	テレビ系	ビノキュラー間接撮影	高感度ノースクリン	微粒高解像力
	kV	kV	kVp	kVp
4.5	80	74	62	80
7.5	100	—	—	125
10	115	106	85	—
14.5	140	128	103	114
17	150	—	—	175
20	150※	145	119	130
24.5	150※	150※	131	215
27	150※	—	—	—
30	150※	150※	147	150
34.5	—	—	186	260
40	—	—	205	—
	—	—	225	—

註 ※印は他と比較して輝度(またはフィルム濃度)が不足なもの

(26 頁より続く)

このとき読み取り周波数は600, 即ち $k_1=3$, $k_2=5$ であった。ゆえに 6Mc のバンドは 400 kc に圧縮された。

むすび

ハーバーレーダーとテレビ方式の結合は、TV 受信器の低価格性にかんがみて、高価なレーダーによる沿岸ならびに出入港の際の便益の大衆化に大いに役立つのみならず、船用レーダーより非常に安価な受信機でそれ以上のサービスが期待できる。ハーバーレーダーサービスに必要な VHF チャンネルの不足をも緩和するであろう。特に周波数帯域の圧縮による解像力の減退がさして問題とならない点は特筆すべきことである。

【参考文献】

1. ハーバーレーダーに関する実験結果について, 森田実(海上保安庁) 大阪における電気通信学会航空電子専門分科会のシンポジウム予稿 (1960年2月)
2. Radar System Engineering, Radiation Laboratory Series.
3. 気象用レーダーおよびレーダーリレー装置, 竹谷武男他(東京芝浦電気株式会社), 東芝レビュー第11巻第1号1931年1月
4. Port of Harbour Radar Surveillance Plant, 第5回国際航路標識会議(5th International Technical Conference on Light Houses and Other Aids to Navigation) 資料より(会議国オランダ 1955)
5. Television Transmission of Radar Images, Limitation of the Frequency Range of Radar Signal by utilizing the Line Storage Tube with Circular Deflection of the Cathode Ray, Dr. K. Dinter 第6回国際航路標識会議資料より(会議国アメリカ 1960)

(昭和35年8月18日受付)