

放射線透過試験による非破壊検査

非破壊検査の中でも、放射線透過試験（radiographic testing, RT）は広く利用される重要な手法の一つである。放射線透過試験は、物体の内部構造を見るためにX線やガンマ線などの放射線を用いて非破壊的に検査する技術である。この試験法は多くの産業分野で品質管理や欠陥検出に用いられており、試験対象の材料の厚みや密度などを評価する際に特に有効となっている。

よく目にするであろう身近なところでは、航空機に搭乗する際の手荷物検査がある。コンベアに乗せた手荷物が大きな箱を通過すると、検査官のモニタ上に自分の手荷物の中身が映し出されているのを見た人も多いであろう。

もう少し、どのように使われているのかを見てみよう。

放射線透過試験は鉄道車両や航空機の部品の欠陥検出、ガスパイプラインの溶接部分の評価、自動車や船舶のエンジン部品の内部検査、原子力発電所の設備点検、建築物や橋梁の構造物の品質評価、製造業での製品検査などに用いられている。具体的な例としては、航空機のエンジン部品の内部構造の検査をあげることができる。航空機エンジンは、内部の構造に欠陥がなく信頼性があることが求められる。しかし、エンジンは高温や高圧の環境で稼働するため経時による変化の可能性がある。放射線透過試験によってエンジン部品の内部に潜むクラックや欠損、変質部分を検出し、早期に問題を発見することができる。このことにより、事前の修理や交換を行うことができ、部品としての信頼性を維持することができる。

また、建築物の耐震性や構造物の品質評価にも放射線透過試験が役立つ。特に鉄筋コンクリート構造物では、内部の鉄筋の配置や密度が重要である。放射線透過試験によって、コンクリートの中に埋め込まれた鉄筋の配置を見ることができる。不適切な鉄筋配置や腐食した鉄筋が見つければ、建物の耐久性を損なう可能性を排除することができる。

さらに、放射線透過試験は遺物や芸術作品の調査にも応用される。歴史的な遺物や芸術作品は独特な価値を持つが、内部の損傷や修復の有無を知ることは難しい場合がある。放射線透過試験によって、遺物の内部構造や修復箇所を非侵襲的に調査し、本物の価値を評価する手段として活用されている。

放射線透過試験では、光源となるX線源、またはガンマ線源とその線源によって透過された放射線を可視化する受光部から構成されている。放射線透過試験は試験体を放射線が透過し、試験体の内部構造に応じた放射線吸収を受けたいわゆる影絵を見るのである。試験体の密度の高い部分では、放射線が多く吸収されるため透過放射線量は減少し、密度の低いところでは透過放射線量はあまり減少しないのである。この辺りの原理は、普段健康診断等で行われる胸部レントゲン撮影でお馴染みであろう。

それでは、まず線源から見ていくことにしよう。X線は、1895年にレントゲンによって発見されたとされているがX線の発生方法は現在に至るまで電子を金属ターゲットに衝突させそのエネルギーの一部をX線として取り出しているものが多い。X線は発生のための投入エネルギーのおよそ99%前後が熱になり、残りの1%程度がX線のエネルギーになるという、なんとも効率の悪いものなのである。X線発生のためにX線管に印加する電圧のことを、管電圧というが、電圧が高くなるとその透過力は増す。つまり、より厚みのあるものの透視撮影を行うことができる。この管電圧の範囲であるが、試験体対象により低いところから、高いところまで色々と使われる。それぞれ用途により電圧はオーバーラップするところはあるが下記に例を挙げる。

100 kV 前後：食品異物混入検査、樹脂部品構造検査、電子部品基板検査

200 kV 前後：アルミニウム構造検査、薄板鋼材溶接検査

300 kV 前後：厚板鋼材溶接検査、プラント設備検査

450 kV 前後：大型鋳物検査

参考までに、病院で行われる人に対するレントゲン検査では120 kV以下である。X線発生装置の電源は、これだけの高電圧を発生させなければならず結構頑張っているのである。ここで付け加えておかねばならないが、非破壊検査で用いられているX線源はその使用用途に応じて2種類ある。ポータブル型と据え置き型である。言葉の通り、前者はX線管電源と発生装置が一体となっており、持ち運びが可能であるため屋外での使用に適している。ポータブル型では、だいたい管電圧が300 kVぐらいまでである。後者は、X線電源部をX線発生部から独立させ、比較的大きめの段ボール箱のような電源部とし、さらなる高電圧発生を可能にしている。多くは、450 kVまでであるが、2024年現在では600 kVというものも市販されている。

放射線透過試験には、X線の他にガンマ線も用いられる。多くは、コバルト60、イリジウム192、イッテルビウム169のようなガンマ線源が用いられる。これらの放射性線源はガンマ線発生ON/OFFのようなスイッチはなく、常に四方八方にガンマ線を放射する。そこでどうやって制御して使うかであるが、放射線の遮蔽箱の中にしまってしまうのである。そして、そこに窓をつけガンマ線を照射したい時に窓を開けるような装置を作るのである。コバルト60の線源はエネルギーが1.33 MeVと高いため遮蔽箱を含めた総重量は約300 kg近くになることがある。場合によっては、これを自動車に積んで工場のプラントの配管検査等の試験現場に向かうこともあり、作業者の負担は大きい。

さて、では放射線の透視像はどうやって見るのだろうか？伝統的なものとしてはX線フィルムである。X線フィルムとは、ポリエチレンテレフタレート等のベース層に写真乳剤を塗布し、写真乳剤に含まれるハロゲン化銀が放射線により銀として析出し黒化することにより画像として見ることでできる便利なものである。放射線の強く当たったところは、より黒く、放射線が弱いところは黒化度が薄くなるという白黒写真が得られる。現在はデジカメが主流となっているが、一昔前まではカラーネガフィルムが一般的に風景写真等の撮影に使われていた。このフィルムにも乳剤がベース層に塗布されていたが、X線フィルムと本質的に違う点が1か所ある。カラーネガのフィルムは、ベース層に対して乳剤が片面塗布であることに対して、X線フィルムは両面に乳剤が塗布されているのである。透過作用がある放射線なので乳剤も透過し写真作用を行わせる相互作用はしにくい。このため、両面に乳剤を塗布することにより、2倍の濃さにしようというなかなか考えられたアイデアなのである。非破壊検査は、検査を行った日時での記録となるが将来においてその時点での検査記録を参照することもあり、ある期間のフィルムでの保存が求められる場合がある。銀塩写真というのは、画像の保管という点においては、経時において大変に安定した品質を保つことのできる素晴らしいデバイスである。しかし、保管の条件が高温多湿のような環境であると、撮影したフィルム同士が固着するなどのトラブルを起こすこともあり、フィルムの長期保管に対してはととても気を使わねばならない。

X線フィルムの現物を保管するのは、場所もとるし、環境にも気を使わねばならない。そこで誰でも思いつのがスキャナーで、X線フィルムを読み込んでデジタル化しPCに画像データとして保存しようとする。実際、このようなことは行われている。しかし、である。X線フィルムの濃度というのは、完全透過を1の光量とすると、その1/10000の透過光量の信号もきちんと捉えなければならない。これだけの光量差のあるものを正しく濃度として記録するのは並大抵の努力では行えない。

家庭にあるインクジェットプリンターに付属するスキャナーでは、正しく濃度の差を読み取れないのである。X線フィルム専用のスキャナーを購入しようとする、気軽に買える家庭用インクジェットプリンターの1000倍ぐらいの金額を積みねばならないのである。

デジタル検出技術についてはどうであろうか？イメージングプレート、フラットパネルディテクタ等のデジタル検出技術が実用化されており、実際の検査現場でも利用されている。イメージングプレートというのは、輝尽性蛍光体という、放射線エネルギーが照射されるとそのエネルギーをプレート内に蓄積し、2次励起光として赤い光をプレートに照射すると、放射線透過像強度に比例した青い蛍光を発するという便利な蛍光体シートである。このプレートの読み込みには専用のスキャナーが必要になる。また、フラットパネルディテクタでは、ディテクタ表面にシンチレータを装備することにより、X線を光に変換し画像化を行っている。デジタル化が進んでいるかと問われれば、意外にもX線フィルムがまだ幅を利かせているのである。一つの理由にJIS（日本産業規格）がある。ここでは、非破壊検査の検査手順等が規定されている。例えば、JIS Z 3104、鋼溶接継手の放射線透過試験方法（1995）では検出技術としてX線フィルムを採用している。唯一、JIS Z 3110、溶接継手の放射線透過試験—デジタル検出器によるX線およびγ線撮影技術（2017）においてデジタル検査について触れている。したがって、「JISの検査規格に基づいて、」というような検査仕様が出た場合には、公式にはX線フィルムを使うようになってしまう。とはいえ、JISの検査手順に縛られない自主検査の工程などでは、デジタル検出器がどんどん使われ、画像処理技術の向上に伴い、より精度の高い検査技術を提供しているのである。

〔財〕日本溶接技術センター 山根 誉久