

社会の安全・安心を守る非破壊検査技術

横野 泰和*

企業レポート

Non-destructive Inspection Technology for Contributing
Safety and Security of Social Life

Key Words : NDI, Radiographic Testing, Quality Control, Maintenance

1. はじめに

非破壊検査は、各種材料、製品、構造物などの製作時の品質保証及び保守メンテナンス時の劣化診断において非常に重要な役割を担っている。製造時の検査においては、1960年代の高度経済成長期から、重厚長大産業の代表である鉄鋼業界を始めとして、造船、発電プラント、石油・石化プラントなど重工業分野での品質管理の要求に応えるべく、放射線透過試験などの手法が多く、構造物に対して適用されその役割を果たしてきた。1980年代に、鉄の時代からコンピュータなどの情報産業の時代へと移り変わると同時に、多くの構造物に対してはメンテナンスを中心とした検査が要求されるようになり、超音波探傷試験などを用いた保守検査が重要となってきた。一方、各種非破壊検査手法においては、ここ数年のデジタル化、信号処理など周辺技術の急速な発展に伴い、自動化、高精度化、高能率化を目的とした最新技術が開発され、非破壊検査技術は非常に多様化しつつある。しかしながら、非破壊検査の信頼性は、使用装置の性能や技術者の技量に依存する部分が多く残されていることも事実である。

当社は、1957年に社会の安全・安心を守るパイオニア企業として創設された非破壊検査株式会社の直系の関連会社として、1965年に非破壊検査に関連する機器装置や材料の販売を主業務として創設さ

れた。それ以来、多くの各種非破壊検査技術及びそれらに関わる検査装置や材料の提供を行ってきたが、最近では、さらに業務範囲を拡大して材料成分の分析装置やセキュリティ関連の装置の取扱いも行っている。ここでは、非破壊検査技術の現状の概略と当社が取り扱っている検査装置の一端を紹介する。

2. 非破壊検査の利用範囲

非破壊検査の対象となる材料は千差万別であるが、これまでは工業材料として最も多く使用されている鉄鋼材料が大半を占めてきた。最近では、鉄鋼材料以外の金属はもちろんのこと、非金属材料であるセラミックス、FRPなどの複合材料、コンクリートなども検査の対象となってきている。非破壊検査の対象となる構造物の種類も多種多様で、原子力及び火力発電、石油精製、石油化学などの大型プラント、高層ビル、高速道路、橋梁、などの土木建築構造物、船舶、航空機、車輜、自動車などの輸送機器、電気、ガス、水道などのインフラストラクチャなど社会資本といわれるあらゆるものに対して非破壊検査が適用されてきている。さらに、半導体、LSIなどの電子部品の検査、BGA (Ball Grid Array) や CSP (Chip Scale Package) などのマイクロ接合の評価などにも非破壊検査が適用され、コンピュータや携帯電話に代表される電子機器の品質評価にも大いに寄与している。

3. 非破壊検査方法の種類と特徴

(1) 放射線などの電磁波の利用

1895年、レントゲンは、光を通さない不透明な物体に対しても放射線が透過する能力があることを発見した。これが、目では見えない品物の中身を非破壊的に見ることの始まりであり、いち早く医療の分野で取り入れられた。発見された当時その正体が



*Yoshikazu YOKONO

1951年4月生
大阪大学工学部溶接工学科卒 (1975年)
現在、ポニー工業株式会社 代表取締役
社長 工学博士 非破壊検査
TEL : 06-6262-2451
FAX : 06-6261-2009
E-mail : y.yokono@ponyindustry.co.jp

不明なためX線と呼ばれたが、その後、光や電波と同じ電磁波であることが明らかになった。また、キュリー夫妻によりある特定物質（放射性同位元素）からも放射線（線）が発生することが発見され、同様に医療及び非破壊検査に利用されるようになった。

図1に電磁波の種類とその周波数及び波長の関係を示す。人間が目で見ることのできるいわゆる可視光線は波長がおおよそ360～830ナノメートルの範囲であり、電磁波の内ほんの一部である。X線や線の波長は、光の百万分の一以下であることから、物体を透過するだけでなく非常に細かい部分まで分解して画像表示できる利点があり、工業分野の非破壊検査の歴史の中でもこの放射線を用いて透視する方法が最も古く用いられており、現在もなお中心的な役割を果たしている。その他の電磁波として、被検体の表面温度を評価できる赤外線、地中やコンクリートなどを伝搬する性質がある電波（レーダー）などが非破壊検査の分野に用いられている。最近では光波と電波の中間領域すなわち遠赤外線からマイクロ波の範囲に当たり、非金属や無極性物質を透過する性質を有するテラヘルツ波（ミリ波）をセキュリティの分野で応用する検討が進められている。

(2) 超音波などの音波の利用

音は空気中を粒子の振動として伝わるが、固体中にも弾性波として伝搬し、特に1秒間の振動数が2

万回以上の高い音である超音波は、細いビームとなって直進する性質をもち、障害物などの境界面に当たるとやまびこのように反射する。こうもりは、自ら発信させた超音波が木や壁などから反射するのを感じ取って、自由に暗闇の中を飛びまわっているが、このような原理が非破壊検査の手法の一つとして用いられている。図2に音波の波長と周波数の関係を示すが、電磁波と違って伝搬速度が遅く、媒質によって音速が異なる性質をもつ。金属材料などの検査では、周波数が高すぎると超音波が減衰し伝搬しにくくなり、低過ぎると指向性が悪くなり測定精度が低下する。通常、数MHzの周波数の超音波が用いられ、その波長はおおよそ数mm程度であり、放射線のような細かな分解能は期待できない。また、一般には、超音波を送受信する探触子を対象物の表面に当てて反射法で内部を調べるアクティブな方法が使用されるが、構造物の異常部で発生する音をセンサ受信して評価を行うパッシブな方法もある。

(3) その他の物理現象の利用

試験対象物が電気を通す材料すなわち導電体であれば、電流を流すことによりその材料の電気抵抗などの電気的な性質の変化を調べる方法、特に交流電流を流したコイルを試験体に近づけて、その表面で渦電流を発生させ、その変化から異常部を評価する方法が非破壊検査に適用されている。また試験対象物が磁石に吸着される材料すなわち強磁性体であれ

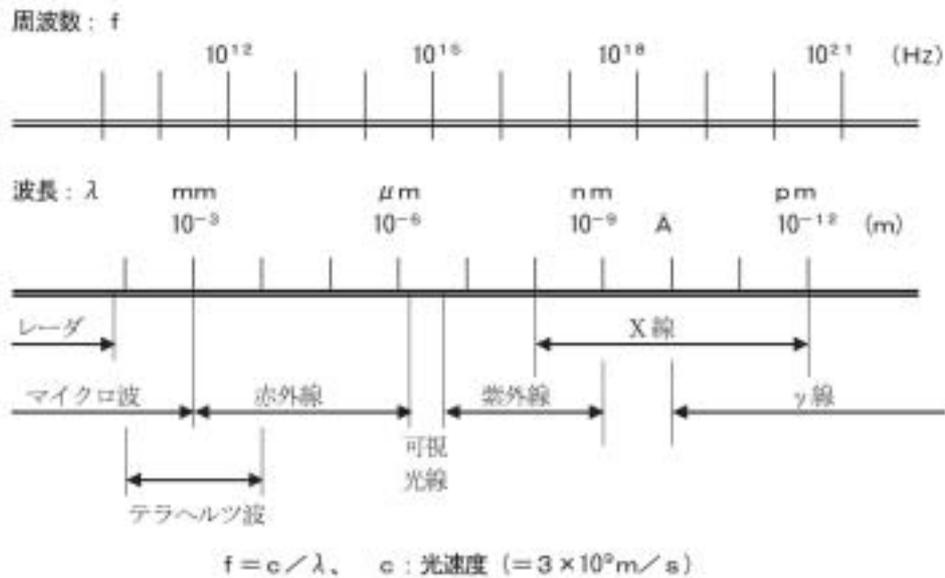


図1 電磁波の種類と周波数及び波長

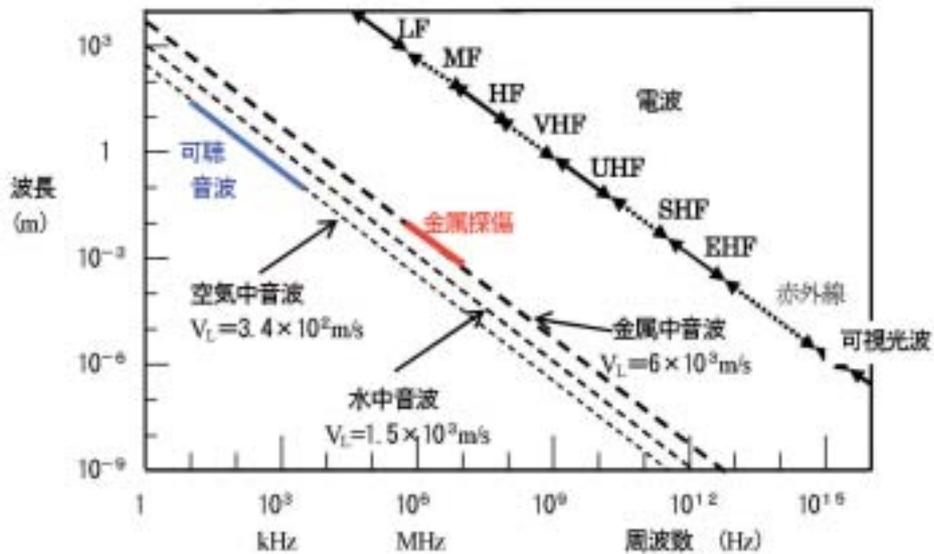


図2 音波の周波数と波長の関係と電磁波との比較

ば、品物を磁化させたときの磁場の変化の様子や不連続部からの磁場の漏洩を利用する非破壊検査方法が用いられる。

この他に液体が割れなどに浸透する現象、きずなどの異常部から気体が漏れ出す現象などを利用する方法が、非破壊検査の手法として分類される。

(4) 非破壊検査方法の分類

工業分野においては、上記の原理を応用した非破壊検査方法として、内部きずを対象とする放射線透過試験 (RT) 及び超音波探傷試験 (UT)、表面きずを対象とする磁粉探傷試験 (MT) 及び浸透探傷試験 (PT) が主として用いられている。これらの特徴を、まとめて表1に示す。また、この他に、渦電流探傷試験 (ET)、ひずみ測定 (SM)、漏れ試験

表1 非破壊検査の種類と特徴

方法	利点	適用限界
放射線透過試験 (RT)	材質や結晶構造の影響を受けにくい。体積欠陥の検出に適し、表層部のきずの検出も可。きずの種類の推定が可能で記録性がよい。	試験体の両面に接近できる必要がある。面状欠陥では照射方向と欠陥面と平行でないとな検出困難となる。比較的費用が高い。現像時間が必要。放射線の取扱い管理が必要。
超音波探傷試験 (UT)	面状欠陥の検出に適する。片面からの探傷が可能。きずの厚さ方向の情報が得られる。試験結果の即答性がよい。厚い材料の探傷も可能。	表面状態の影響を受け易い。接触媒質が必要。薄い材料の探傷には不適。きずの種類判別が困難。検査技術者の熟練が必要。
磁粉探傷試験 (MT)	比較的経済的。操作が容易。装置がポータブルである。表面下のきずの検出も可能。	強磁性体のみ適用可。試験前後の洗浄が必要。コーティングされたものは適用不可。電源が必要。
浸透探傷試験 (PT)	携帯性がよい。経済的。試験結果の評価が容易。照明以外の電源が不要。欠陥の形状や方向性の影響がない。	コーティング、スケールなどの表面状態では適用不可。試験前後の洗浄が必要。浸透後の過洗浄や洗浄不足に注意。

(LT)、アコースティック・エミッション(AE)、赤外線サーモグラフィ試験(TT)などがある。これらの方法の原理、特徴などの詳細については各種の専門書を参考にして頂きたい¹³⁾。

非破壊検査を実施するに当たっては、該当するJIS等の規格や規準に従うのが基本であるが、これらは一般的な対象物に対する必要最小限の要求事項を規定したものであり、特定の材料や構造物に対してはさらに詳細な内容を規定に盛り込む必要がある。まず検査を発注する側(検査対象物の所有者)から検査対象物や検査目的を明示した検査仕様書(Specification)が提出され、検査を受注し実施する側(検査会社)が検査目的を達成するための検査方法を具体化した検査手順(NDT Procedure)を提案する。これらに基づいて実際の検査作業を実施する技術者に対して検査指示書(NDT Instruction)が作成される。このとき、発注者から提出された検査対象物及び検査目的を十分に反映し、かつ過剰品質でなく経済性を考慮したリーズナブルな検査手順や検査指示書が適用されることが重要である。技術文書の規定項目として重要な使用装置と実施に際しての留意事項の概略を表2に示す。全ての検査方法に共通して、検査方法、検査装置及び検査技術者の技量が検査結果の信頼性に大きく影響する。

当社は表2に示す非破壊検査に関連する装置や材料の全てを扱ってきたが、特に創設当初から放射線透過試験に用いられるガンマ線照射装置の開発製作

に注力し、RI線源交換も含めたサービス全般を引き続き実施している。イリジウムをRI線源として用いる装置の例を図3に示す。また、放射線透過試験ではフィルムの観察が非常に重要であり、これに用いる図4に示す工業用フィルム観察器(シャウカステン)の製作も行っている。



図3 ガンマ線照射装置



図4 工業用フィルム観察器

表2 非破壊検査の適用に際して留意すべき項目

方法	試験装置及び材料	主な留意すべき項目
放射線透過試験 (RT)	線源の種類(X線発生装置、ガンマ線照射装置)、感光材料(フィルム、増感紙)、フィルム観察器、透過度計	エネルギー(電圧、GBq)、撮影配置、必要条件(透過度計、濃度、階調計)きずの像の分類
超音波探傷試験 (UT)	超音波探傷器、超音波厚さ計、垂直探触子、斜角探触子、接触媒質、標準試験片、対比試験片	周波数、振動子寸法、屈折角、探傷感度、検出レベル、感度補正(表面状況、減衰係数)、試験結果の分類
磁粉探傷試験 (MT)	磁化装置(極間式磁化器、プロッド磁化装置)、磁粉(蛍光、非蛍光)、紫外線照射装置、標準試験片	磁化方向、探傷有効範囲(探傷ピッチ)、磁粉模様の観察方法、磁粉模様の分類、脱磁
浸透探傷試験 (PT)	浸透液(蛍光、染色)、洗浄液、現像剤、乳化剤、紫外線照射装置、対比試験片	前処理の方法、浸透時間、余剰浸透液の除去方法(洗浄方法)、現像方法、観察方法、指示模様及びきずの分類

4. 最新技術の応用

(1) マイクロフォーカスX線による拡大撮影

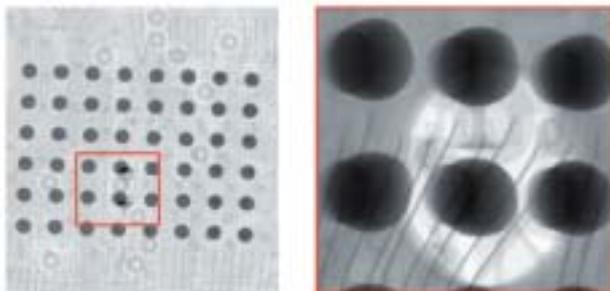
最近、IT産業の発展により、デジタルカメラ、パーソナルコンピュータや携帯電話の機能がますます高度化し、非破壊検査技術もこれらの周辺技術の進展に伴い大きく変わろうとしている。

放射線透過試験の分野では、フィルムの代わりに放射線の強度を記憶させることのできる媒体（イメージングプレート、フラットパネル、ラインセンサーなど）を用いて、デジタル画像をコンピュータ処理することによって鮮明な画像を得られるようになった。また、医療分野では一般化されている、CT（断層撮影）法や三次元画像表示なども、小型部品などの検査に適用されつつある。

デジタル画像では、検出器のピクセルの大きさ以下の分解能が得られないことが問題点であったが、図5に示すような微小焦点（マイクロフォーカス）X線検査装置を用いて、対象物を線源（X線の焦点）に近づけて検出器を離れた位置に配置する拡大撮影を用いることによりこの問題点を解消して微細な欠陥の検出が可能となる。この手法を、実装回路基板



図5 マイクロフォーカスX線装置の外観



(a) 実装回路基板 (b) BGA部の拡大画像

図6 実装回路基板のマイクロ接合部の拡大撮影画像の例

のBGA（Ball Grid Array）接合部に適用した画像の例を図6に示す⁴⁾。図6(b)は拡大画像を斜めから観察したもので、接合部の状況が明瞭に確認できる。

(2) 後方散乱X線のセキュリティ分野への応用

デジタル化してコンピュータを応用した画像処理等が行われるようになったとはいえ、放射線透過試験において最終的に超えられない問題点は透過法であること、すなわち超音波探傷試験のような片面からの検査ができないことである。この問題点を解消するため、試験体にX線を照射して、コンプトン散乱（反射）する放射線を検出する方法が従来から検討されてきたが、この方法で透過写真と同様な画像を得るためには、検出した散乱X線の方向を特定することが困難であった。最近米国で開発され既に実用化された後方散乱X線装置の概要を図7に示す。図中の左側から細く絞ったX線ビームを右側にある試験体に対して扇形状にスキャンして照射させ、それぞれのビーム位置で散乱したX線を中央のBの位置にある検出器で散乱方向を特定して検出する。この結果、照射した断面に対して散乱X線の強度分布から線状の画像データが得られ、この装置全体又は試験体を直交方向に動かすことにより、二次元的な平面画像を構築することができる。この装置の場合は、図の左端のAの位置に透過した放射線を検出する機能も備えており、透過写真画像が同時に得られる。

この後方散乱X線のもう一つの特長は、樹脂などの原子番号の小さい物質に特異的に反応するため、爆発物、プラスチック、麻薬など従来の透過法では検出できなかった物体を高いコントラストで画像化できることである。最近、刃物や拳銃などの金属部を樹脂に置き換えて製造することにより、従来のX線検査から逃れようとする犯罪が見られるが、このような場合に非常に有効な方法である。図8に透過X線及び散乱X線を用いてスーツケースの内部検査を実施した例を示す。透過型X線では見つからなかった、拳銃、プラスチック爆弾及び麻薬が後方散乱X線を用いて白く強調された画像として現れている。この方法は主にテロ対策などのセキュリティ分野で注目され、現在米国の政府や軍事機関、あるいは空港での荷物検査などに用いられている。

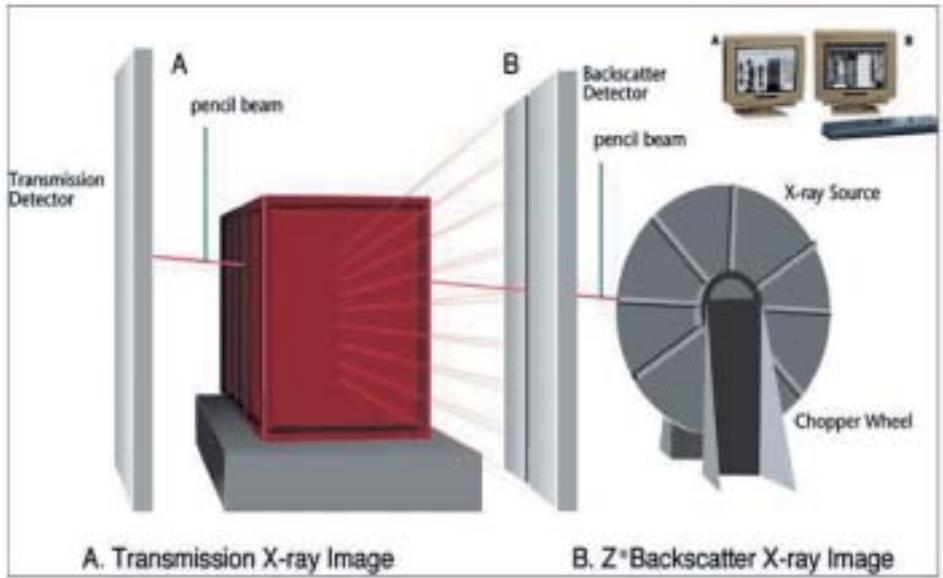
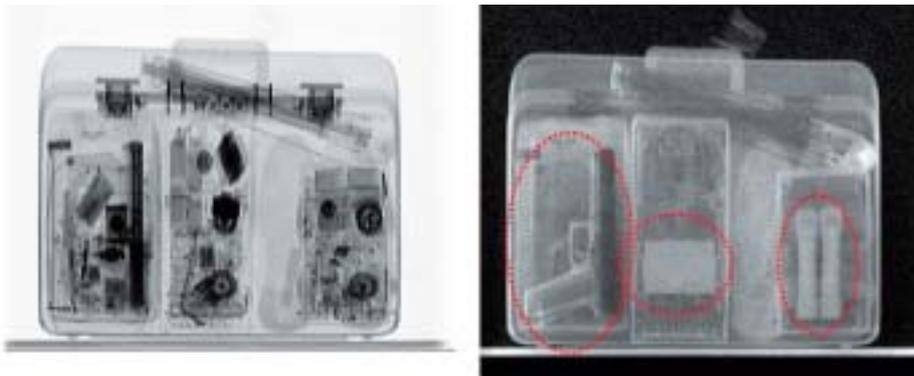


図7 後方散乱X線装置の概要



(a) 透過X線による画像

(b) 後方散乱X線による画像

図8 スーツケースの内部のX線検査結果の事例

5. おわりに

非破壊検査は、我々を取り巻く多くの社会資本に対して適用され、安全・安心な生活を守るために寄与してきたが、多くの分野で自動化、ロボット化が進められているように、その技術はここ数年さらに目覚しく発展してきている。しかしながら、国内で認定されている非破壊検査技術者資格が70,000を超える実情が示すように、検査結果の信頼性が技術者の技量や経験に大きく依存しているのも事実である。一方、検査に携わる第一線技術者は団塊の世代と称される年代の人が中心であり、熟練技術者の高齢化という大きな問題点を抱えているのが実情である。

この問題を解決するために、これからの社会を支える若年層に対して非破壊検査の重要性を認識して

もらうと同時に、検査の自動化、画像化により検査結果ができるだけ技術者の技量に依存しないようにすることが今後の検討課題である。最近のIT技術の著しい進展によって、検査結果を画像化する技術は大きく改善されてきたが、得られた画像から最終的に評価判定するのはやはり非破壊検査技術者であり、まだまだ熟練した技術者の技量や経験を必要としている。これからは、このような技術の伝承による若手技術者の育成と同時に、画像化した結果を客観的に評価・判定する技術の開発が望まれる。

参考文献

- 1) 大岡紀一他：非破壊検査技術総論、(社)日本非破壊検査協会(2004)
- 2) (社)日本非破壊検査協会編：非破壊検査便覧、

- 日刊工業新聞社 (1992)
- 3) 横野泰和：非破壊検査の種類と特徴 (実用講座)、
溶接学会誌 59(6)、pp.18-21(1990)
- 4) 森川雅裕：デジタルX線装置、検査技術、11(4)、
pp65-70(2006)

