

非破壊検査（概論）

非破壊検査（non-destructive testing, NDT）は、物体や材料の欠陥や異常を検出するために使用される技術の総称である。英語表記である NDT という略語も広く使われている。この技術は、非常に広範囲な産業分野で利用されており、その測定原理も多岐に渡るため、分析手法としては特異な側面を持っている。主な目的は、非破壊検査という漢字の意味合いから推測できる通り、試料を傷つけることなく、安全性や品質の保証、装置の故障予防を行うための情報を得ることにある。

具体的には、鉄橋やビルなどで鉄筋の適切な配置の検査、航空機の主翼やエンジンに潜む欠陥や疲労亀裂の検出、自動車のエアバックなどの生命にかかわる部品の安全性検査、日々運行される鉄道車両の動輪に疲労亀裂の有無の検査、石油やガスパイプラインなどの溶接部分の検査、食品に異物混入がないかの検査、電子基板に実装された電子部品のハンダ付けが適切に行われているかの検査、歴史的な遺物、芸術作品に対する構造、内容検査である。また、人に対する超音波診断、胸部 X 線撮影なども厳密には、DNA や細胞の損傷等はあるかもしれないが、大きな意味で非破壊検査ではあるが、このような言葉は一般的には使われない、そもそも病院に行くと、「それでは非破壊検査しましょう」と医者に言われたらこれはとても怖い。

これほど多岐に渡る非破壊検査を一括して理解する際に、どのような切り口で見たらわかりやすいのだろうか？ キーワードとなるのは、「検査方向の深さ」である。つまり、表面だけを見ればいいのか、表面からある程度の深さ方向までを見えればいいのか、完全に内部を透過した状態を見なければいけないのかということである。先に具体的な例を掲げたが、検査対象が多岐に渡るため、これを体系的に見ようというのは困難を感じてしまう。しかし、この「検査の深さ」という視点から見ると意外にも非破壊検査という技術が体系的に見えてくるのである。

非破壊検査で何をどう見るのかをもう少し具体的に見てみよう。人がこの世に生み出す「物」に割れ、ひずみ、穴、異物混入、不均一な部分等の欠陥があるかを見る。これは、この欠陥からその「物」の構造が壊れる、または、機能が失われることを事前に防ぐためである。航空機エンジンはブレードという羽が高温、高速で回転しているが、このブレードに欠陥が運用疲労によって発生すると、いつかのタイミングで破壊し、結局はエンジ

ン崩壊につながってしまう。このため、ブレードの内部をしっかりと見なくてはならない。石油・ガスパイプラインは溶接でパイプを繋ぎながら建設していく。ここでちゃんと溶接がなされているかを確認するわけではあるが、溶接部内部を含めて全部分を検査することに越したことはない。しかし、これには時間と検査コストがかかる。すると、表面だけの検査という選択肢もある。いかんせん、国と国を結ぶ長大なパイプラインもあり、検査によって知る情報と産業的に検査で発生するコストの採算があうレベルをきちんと考慮しなければならないのである。溶接部の破断は表面からわかることも多く、内部検査ではなく表面検査で行うのも産業的には「あり」なのである。非破壊検査では、問題が発生した場合の深刻度、検査コストを総合的に考慮し、測定手法が決められるのである。

非破壊検査における手法について、日本産業規格である JIS Z2305 非破壊試験技術者の資格及び認証（2013）では次の通り 10 個の手法が分類されている。試験方法については試験方法を英語で表した時の 2 文字が略語として規定されている。「検査の深さ」について、試験目的、材質によっては前後するが大まかに深い順に並べると以下ようになる。

- 放射線透過試験 RT
- 超音波探傷試験 UT
- アコースティックエミッション試験 AE
- 磁気探傷試験 MT
- 赤外線サーモグラフィ試験 TT
- 渦電流探傷試験 ET
- 浸透探傷試験 PT
- 外観試験 VT
- リーク試験 LT
- ひずみ試験 ST

それぞれの検査方法について詳しく見てみよう。

放射線透過試験（radiographic testing）：

放射線透過試験は、試験体に X 線またはガンマ線を照射し、透過する際に生じる画像を観察して欠陥を検出する手法である。放射線は物体を貫通する性質を持っているため、試験体の内部まで検査が可能。特に金属部品や厚い構造物の内部の欠陥検出に広く利用されている。

超音波探傷試験（ultrasonic testing）：

超音波探傷試験は、物体に高周波の超音波を当て、反

射信号を検出して欠陥を検出する手法である。超音波は物体内部に進入し、欠陥や界面の反射によって信号が生じるが、一般的に放射線透過試験ほど深い部分まで検査することは難しい。超音波は試験体の表面近くの欠陥検出に主に利用される。

アコースティックエミッション試験 (acoustic emission testing) :

アコースティックエミッション試験は、物体の内部で発生する微小な音や音響信号を検出し、材料や構造物の欠陥や変形を評価する手法である。試験体内での変形、クラック拡大、疲労などの現象により微小な音が発生する。この音をセンサーで検知して解析することで、試験体の内部状態を評価する。アコースティックエミッションは物体の内部からの発生であるため、一定の深さ方向までの検査は可能であるが、超音波探傷試験ほど広範囲には行えない。

磁気探傷試験 (magnetic particle testing) :

磁気探傷試験は、磁場を試験体に印加して、試験体内部の欠陥や表面の割れを検出する手法である。このため磁性体材料の試験に用いられる。磁気粉を塗布した試験体の表面近くで磁場を形成し、欠陥によって磁場が変化することで、それを可視化し欠陥を検出する。磁気探傷試験は主に表面や近傍の欠陥検出に適しているが、試験体の深い部分まで検査することには限界がある。

赤外線サーモグラフィー試験 (infrared thermography testing) :

赤外線サーモグラフィー試験は、試験体の表面から放射される赤外線を利用して、試験体の内部の異常を検出する手法である。試験体の内部で異常がある場合、表面からの熱の伝導によって温度の異常が発生する。赤外線カメラを使用して試験体の表面の温度分布を観察し、異常箇所を特定する。赤外線は物体の表面から放射されるため、試験体のある程度までの内部までの検査が可能である。この試験は、試験体に対して非接触で行えるという利点がある。

渦電流探傷試験 (eddy current testing) :

渦電流探傷試験は、導電性の物体の表面近くの欠陥を検出する手法である。試験体に交流電流を流し、それによって生じる渦電流の変化を観測することで欠陥を検出する。渦電流は電流の流れによって試験体内部にも影響を及ぼすため、一定の深さ方向までの検査が可能。渦電流探傷試験は主に薄い導電性材料の表面欠陥の検出に向いている。

浸透探傷試験 (penetrant testing) :

浸透探傷試験は、非可視の表面欠陥を検出するための手法である。試験体の表面に浸透液を塗布し、一定時間欠陥に浸透させた後、余分な浸透液を取り除き、染色剤を塗布することにより可視化を行い欠陥を検出する。浸透探傷試験は表面近くの欠陥検出に優れており、試験体の内部の検査することは難しい。主に目視で見えにくい表面欠陥を検出するために使用される。

外観試験 (visual testing) :

外観試験は、目視によって試験体の表面の異常や欠陥を検出する手法である。試験体の外観を直接観察し、割れ、ひずみ、変形、サビなどの異常を見つける。しかし、外観試験は表面にしかアクセスできず、試験体の内部の状態はわからない。

リーク試験 (leak testing) :

リーク試験は、物体や容器などの密閉性を確認するために行われる非破壊検査手法である。主な目的は、気体または液体が不正な箇所から漏れ出していないかを検出することである。リーク試験は、例えば圧力容器、配管、タンク、バルブ、ヒートエクスチェンジャー、冷却装置などの密閉性を確認する際に頻繁に使用される。

ひずみ試験 (strain testing) :

ひずみ試験は、物体や材料の変形を測定し、応力やひずみなどの機械的な特性を評価するための非破壊検査手法である。ひずみ試験は材料の強さ、剛性、耐久性などを評価する際に重要な役割を果たす。

これらを測定原理という視点から眺めてみると、本当に多岐に渡る原理に基づいて、一つの非破壊検査という分析手法が確立されているのがわかる。放射線による透過強度の変化、音の反射による位置の決定、試験体から発生する音の解析、印加磁場の変化、熱分布変化、電流変化、毛細管現象の応用、圧力変化、ひずみ変化である。一つの分析分野で、ありとあらゆる測定原理を使って測定技術が構成されているという点ではとても面白い分野である。

[財]日本溶接技術センター 山根 誉久]