

非破壊検査の現状と未来

(一社) 日本非破壊検査協会 広報活動委員会

1. はじめに

非破壊検査とは、“非破壊”という文字が表す通り、物を壊さず検査することであり、機器・構造物に対し、きずの有無、状態、性能等を調べ、これらが異常なく使用されることを保証する検査方法の一つである。

非破壊検査が対象としている分野は、素材製造業、化学プラント、橋梁、鉄道、船舶、自動車、発電（原子力、火力、水力等）電子通信等幅広い分野に適用されている。

非破壊検査の種類には、目視検査や寸法測定を含めることもあるが、ここでは、何らかの物理現象（放射線の透過、超音波の反射、磁気測定、液体の浸透現象、渦電流の変化、赤外線放射等）を利用した方法について述べる。

図1はきずの検出を対象とした検査方法の分類である。

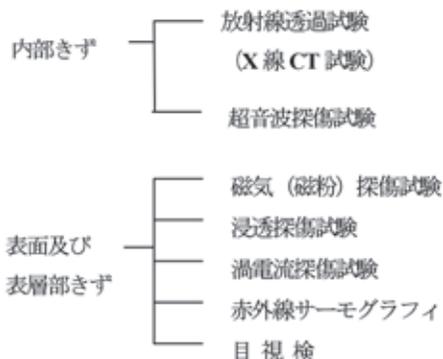


図1 検査方法の分類（きずの検出）

2. 非破壊検査の目的

非破壊検査は前述したように、物を破壊したり変形したりすることなく、物の性状を調べることである。その目的の第一はきずの検出である。それにより、材料、製品の信頼性が向上し、破壊や事故を未然に防ぐ事ができる。また、製品の製造方法の改良や製造コストの低減も図ることができる。

(1) きずの検出

非破壊検査の分野におけるきずとは、素材及び機器・構造物に存在する不連続部を指す言葉である。通常物質の組織の連続性や部品の連続性を中断するもの全般を表す言葉であり、実用性において有害なものとならぬものがある。有害なきずを欠陥と呼んできずと区別している。

(2) 信頼性の向上

一般的な工業製品の信頼性とは、製品が設計通り製作され、規定された使用条件の下で、本来の性能が満足され、破壊や事故が起こらないことを保証することである。

(3) 製造方法の改良及び製造コストの低減

製造工程の途中で検査を行い（中間検査という）、その結果から工程に不備がなかったかを判断し、異常が認められたならばその原因を考察し前の工程にフィードバックする。これにより、製造方法や工程の改善が行われ、工程の不備や無駄をなくすることができる。

3. 機器構造物に発生するきず

非破壊検査で対象とされる主なきずについて下記に示す。

(1) 製造時に発生するきず

- ・銅板のきず：割れ，ラミネーション，二枚割れ，非金属介在物，へげ など
- ・鋳造（鋳鋼）品のきず：割れ，引け巣，砂かみ，非金属介在物，ブローホール など
- ・鍛造（鍛鋼）品のきず：割れ，ざくきず，砂きず，非金属介在物，白点 など
- ・溶接部のきず：割れ，溶込み不良，融合不良，アンダカット，スラグ巻込み など

(2) 保守検査時に検出されるきず

- ・疲労割れ，・応力腐食割れ，・熱応力割れ
- ・クリープ割れ，・キャビテーション など

これらのきずのうち，割れは破壊を防止するために最も重要なきずであり，決して見落とすはならないものである。

4. 非破壊検査の種類

(1) 放射線透過試験の概要

放射線透過試験を一言でいうと，病院で受けるレントゲン検査を思い浮かべると理解しやすい。

放射線は物質に入射すると物質中で散乱，吸収を起こし，一部は透過する。その大きさをフィルム又は検出器で測定することにより，物体の内部構造やきずを調べることができる。

放射線の種類として，X線， γ 線，中性子線等があるが，放射線透過試験では主にX線及び γ 線が用いられている。X線及び γ 線は共に電磁波であるが，その発生原因が異なっている。

X線：波長 数百～0.01 Åの電磁波

発生 電子の制動エネルギー

適用試験体厚さ 30 mm 以下

γ 線：波長 0.1 Å以下の電磁波

発生 原子核の崩壊

適用試験体厚さ 50 mm 以上

図2にX線発生装置の管球の構造を示す。陰極部と陽極部に高電圧（一般に数十kV～数

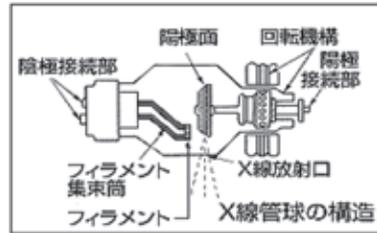


図2 X線管球の構造

百kV) をかけることによりX線が発生する。

放射線の透過において，入射X線の強さを I_0 ，透過X線の強さを I ，吸収係数を μ ，物体の厚さを x とすると，透過X線の強さは次式で表される。 $I = I_0 e^{-\mu x}$

吸収係数 μ は使用する放射線のエネルギーと試験体の材質によって異なる。

エネルギーが高い放射線は透過力が強く硬いX線（硬X線）とっている。逆にエネルギーの低いX線を軟X線とっている。

図3に溶接部を対象としたX線透過試験の撮影配置図を示す。

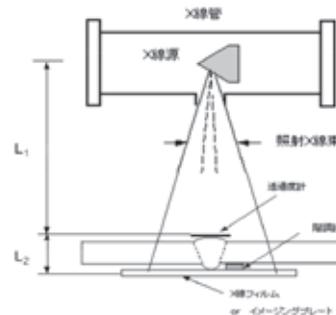


図3 X線透過試験の撮影配置図

きず名称	断面形状	X線透過写真
ブローホール		
溶込み不良		

図4 きずの種類と透過写真

図4はきずの種類とその断面形状及び透過写真である。透過写真において白く映っている部

分はピード部で試験体の厚さが大きいところである。その中で黒く見えるところがきず部である。

放射線透過試験の対象である圧力容器銅板には、100 mm を超える厚さのものもあるが、それらの検査には γ 線 (^{60}Co や ^{192}Ir) が用いられる。

また、一般企業では普及していないが、X線CT装置が大学や研究機関で導入されており、ミクロンオーダのきず検出も可能となっている。

(2) 超音波試験の概要

人の耳に聴こえる音を可聴音といい、その周波数は 20 Hz から 20 kHz である。それ以上の周波数になると人の耳には聴こえなくなり、それを超音波といっている。

超音波は、波の進行方向に指向性（一定の方向に進む性質）があり、その反射や透過を利用して、板の厚さ測定やきずの検出ができる。

波の種類の代表的なものに、縦波、横波及び表面波がある。その模式図を図5に示す。

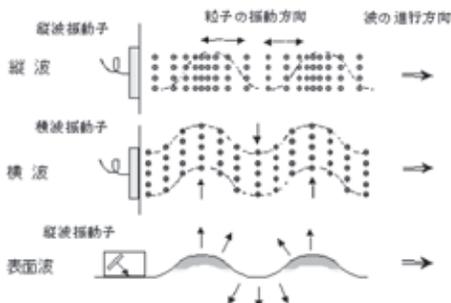
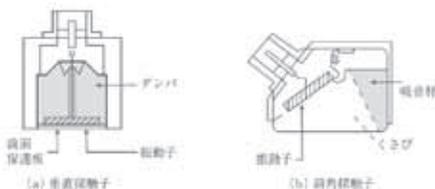


図5 各種波の模式図

探触子には、試験面に垂直に伝搬する垂直探触子と試験体表面に斜めに伝搬する斜角探触子がある。その構造を図6に示す。



a) 垂直探触子 b) 斜角探触子

図6 探触子の構造

超音波は圧電素子を用いた超音波探触子により発生する。圧電素子とは電圧をかけると振動し、また、振動を受けると電圧を発生する物質（チタン酸バリウム塩等）である。

超音波を試験体に伝搬するには、試験体と探触子の間に空気層があると超音波は伝達しにくいので、試験体と探触子の間に液体（水又はグリセリンペースト状のもの）を用いる必要がある。これを接触媒質という。

垂直探触子では試験体中にそのまま縦波が伝搬する。しかし、斜角探触子では振動子から発生された縦波は、探触子を構成するアクリル中をそのまま縦波で伝搬し、試験体との境界面で屈折し、縦波と横波が試験体中に伝搬する。

試験体中を伝搬した超音波はきずがあると、そこから反射する。超音波は試験体の材質によって音速が決まっているので、送信から反射して探触子に戻ってくる時間を測定することによりきずの位置が推定できる。

図7に垂直探傷と探傷画面の模式図、図8に斜角探傷と探傷画面の模式図を示す。

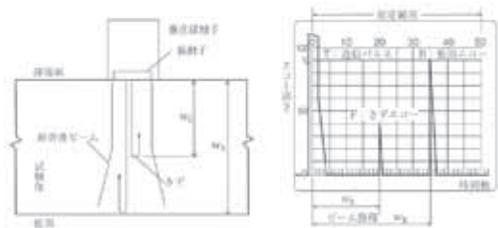


図7 垂直探傷と探傷画面¹⁾

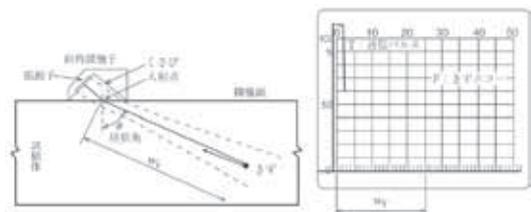


図8 斜角探傷と探傷画面¹⁾

超音波探傷試験では、橋梁等の大型溶接構造物の自動探傷も実施されている。

また、コンピューターの発展に伴い、画像を

二次元で表示できる TOFD 法 (Time of Flight Diffraction) や探傷子の小型化により複数の角度からの探傷によってより精度の高いフェイズドアレイ法が実用化されている。

(3) 磁気 (磁粉) 探傷試験の概要

物質に磁界を与えると強く磁化されるものを強磁性体といい、磁気 (磁粉) 探傷試験の対象となる。代表的なものに、鉄、ニッケル、コバルト及びこれらの合金がある。

図 9 に磁粉探傷試験の原理を示す。図では左から右に磁束が流れており、きず部から空間に磁束が漏洩している。磁束の出入りするところ (磁極) に磁粉 (強磁性体の微粉末) を適用すると、磁極に磁粉が吸着され、きず幅より拡大されたきず磁粉模様形成される。

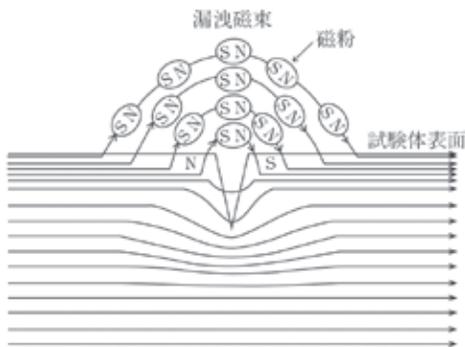


図 9 磁粉探傷試験の原理

試験体に磁束を与えるには磁界が必要である。電流と磁界の関係式 (アンペールの法則) により試験体に必要な磁界を与える電流値が計算できる。

磁界 H と磁束密度 B の関係は次式で表される。

$$B = \mu H \quad \text{ここで } \mu : \text{透磁率}$$

透磁率が大きい材料ほど磁化されやすい。

試験体に磁束を与える方法を磁化方法という。日本産業規格 (JIS Z 2320-1) では、下記に示す 8 つの方法が規定されている。

軸通電法、直角通電法、プロッド法、磁束貫通法、電流貫通法、極間法、コイル法、隣接電流法

これらの磁化方法のうち、最初の 4 つは試験体に直接電流を流す方法であり、あとの 4 つは電流で発生した磁束を試験体に投入する磁化方法である。

磁気 (磁粉) 探傷試験はタンク溶接部、車軸及びクランクシャフト等種々のものに適用されているが、探傷の自動化が遅れている。

(4) 浸透探傷試験の概要

浸透探傷試験の原理は細い管の中を液体が上昇する毛細管現象を利用した方法である。浸透液は有機溶剤を基本とし、それに染料 (染色染料或いは蛍光染料) や界面活性剤などを混ぜた溶液を用い、表面開口きずの検出に適用される。

その手順を次に示す。

- ・前処理: 試験体表面の汚れや油脂類を除去し、かつ、きずの中を清浄にする。
- ・浸透処理: 試験体表面に浸透液を塗布し、きずの中に浸透液を浸透させる。塗布方法には、はけ塗り法、スプレ法、浸漬法等がある。
- ・洗浄 (除去) 処理: きずの中に浸透した浸透液を出来るだけ残し、表面の浸透液を洗浄 (除去) する。
- ・乾燥処理: 洗浄処理による試験体表面の水分や湿式現像剤の水分を乾燥する。
- ・現像処理: 白色の微粉末を適用し、きず中の浸透液を現像剤中に浸み出させ、きずを拡大した模様 (浸透指示模様という) として表す。
- ・観察: 浸透指示模様の有無を調べる。明るい場所で観察する場合と暗い場所で紫外線を照射しながら観察する方法がある。

探傷手順の一例を図 10 に示す。

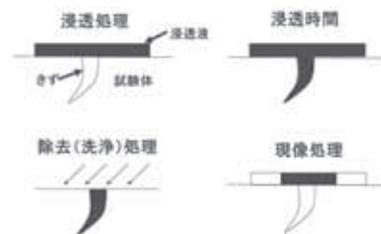


図 10 探傷手順

浸透探傷試験の種類を分類すると

・ 観察方法による分類

染色浸透液：赤い染料を用いた浸透液

蛍光浸透液：蛍光染料を用いた浸透液

・ 洗浄（除去）方法による分類

溶剤除去性探傷試験：溶剤による除去

水洗性探傷試験：水による洗浄

後乳化性探傷試験：乳化剤と水洗浄

・ 現像方法による分類

速乾式現像法：揮発性溶剤と白色微粉末

湿式現像法：水に白色微粉末を懸濁

乾式現像法：乾燥した白色微粉末

無現像法：白色微粉末を用いない方法

上記の組み合わせによる種々の探傷法がある。微細なきずの検出には蛍光浸透液が適している。大型構造物の部分探傷には溶剤除去性浸透探傷試験が適している。表面形状が粗いもの又は小型量産品には水洗性が適している。幅が広く浅いきずの検出には後乳化性浸透探傷試験が適している。これらの探傷方法のうち溶剤除去性染色浸透探傷試験・速乾式現像法が最も携帯性がよい探傷方法で、広い方面で用いられている。

(5) 渦電流探傷試験の概要

電磁気現象を利用した探傷方法であり、コイルに発生した磁気を試験体に導入し、そこに生じた渦電流の変化を検出する。コイルの種類として内挿コイル、貫通コイル、プローブコイルがある。

・ 内挿コイル：熱交換器の内部きず又は外表面きずの検出に適用される。

・ 貫通コイル：棒鋼、銅管等の製造時に製品検査として適用される。

・ 上置コイル：鋼板リベット部等の手動検査に適用される

(6) 赤外線サーモグラフィ試験

試験体から放射される赤外線を赤外線カメラを用いて解析し、きずの検出を行う探傷試験で

ある。測定対象物と非接触に広範な領域を評価できる特徴を有している。

適用対象物としては、熱交換器の内部腐食や建築構造物の外壁の剥離等に適用される。また、機器の振動による発熱を検出する機器診断にも用いられている。

5. 終わりに

非破壊検査は、初めは品質評価として適用されてきたが、検査精度が向上し、また、破壊力学の進展もあり、品質評価の他に寿命評価にも利用されるようになってきている。

さらに、近年ではトンネルや橋梁等の社会インフラの検査も進んでいる。これらには、検査ロボットやドローンの利用も検討されている。今後、さらに新たな検査方法の研究開発が必要と思われる。

最近のトピックスとして、当協会の機関紙“検査と材料評価”の7月号に、「検査・計測方法が未確立の対象における計測技術」の特集として、下記の報告がされている。²⁾

- ・ レーザ超音波可視化技術を利用した構造部材の非破壊検査
- ・ 非接触音響探査法を用いたアルミハニカムパネルのはく離欠陥検出
- ・ 穿孔法によるエンジニアリングプラスチックの残留応力測定
- ・ ロケット燃焼室銅合金のクリープ疲労損傷度評価に関する研究
- ・ 状態監視保全への機械学習の適用

今後これらの検査技術が実用化されると共により新しい検査技術の開発が望まれる。それにより、非破壊検査技術が一層、社会の信頼性、安全性に貢献されることを望むものである。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本非破壊検査協会：非破壊検査技術総論，pp.50 -pp.70
- 2) 一般社団法人日本非破壊検査協会：非破壊検査 Vol 68, pp.296 - 322