

## 第5章 残存厚さ・減厚（残肉）管理

黒木 裕志郎\*

### 21. 超音波厚さ計 / Ultrasonic Thickness Gage の利用

鋼製の道路橋の錆・腐食対策が記載された防食便覧には、板厚計測法の項目で測定機器として「超音波厚み計」が示されており、これにより腐食量を管理する方法が具体的に記載されている。また、JIS Z 2355「非破壊試験—超音波厚さ測定」では、「残存厚さ」とは、「元厚から減厚値（腐食、壊食又は摩耗による減少厚さ）を差し引いた値」と定義されている。その具体的な測定方法として、超音波厚さ測定が用いられる。

なお、膜厚ではなく板厚＝素地の厚みを超音波の原理により測定する測定器を文献により「超音波厚さ計」あるいは「超音波厚み計」と呼んでいる。本稿ではJISの表記に従って「超音波厚さ計」の名称を用いることにする。

### 22. 侵食と腐食

減厚あるいは減肉を生じさせる主な要因としては、侵食（侵蝕）と腐食がある。侵食（侵蝕）/Erosionとは、保護のための膜や基材が物理的に繰り返される摩擦ですり減ることで、原因としては、キャビテーション、液体や固体粒子の衝突あるいは接触によるものなどが代表的なものとなる。

腐食 / Corrosion とは、基材に生じる化学的な作用や変化によって、その特性が損なわれたり、摩耗したりすることで、金属の場合の腐食は、多くの場合酸化プロセスによって引き起こされる。

腐食の影響を受ける産業は数多くあるが、中でも海洋環境は最も過酷な腐食環境の1つである。腐食速度は、海水、湿度、風、温度、空気中の汚染物質、生物など、さまざまな要素に影響される。また、水や汚染物質の粒子による摩耗、高速液体中の乱流による衝突、気泡による圧力波によるキャビテーションなど、海洋環境での腐食は多岐にわたり存在する。腐食は基材そのものに影響を与えるだけでなく、保護膜を損傷し、基材の腐食の可能性を高めることもある。船舶、パイプライン、海洋構造物、海水淡水化プラントなどは、さまざまなレベルの海洋侵食や腐食にさらされている。

写真-43は、船舶用のプロペラを検査しているところである。

### 23. 具体的な測定原理

測定原理としては、測定対象物を通過する超音波の伝搬時間を計測し、その対象物の音速値から、次式のように厚さを求めるものである。

対象物の厚さ(m) = (対象物の音速値(m/s) × 測定対象物を通過する超音波の伝搬時間(s)) / 測定対象物を通過した回数 : n

また、超音波膜厚計と同様に、測定箇所には

\*くろき ゆうしろう コーテック(株)  
カスタマーサポート部



写真-43 超音波厚さ計による測定の様子

カプラントを塗布し、超音波が空气中に拡散されてしまうことを防止する必要がある。

実際の超音波厚さ(写真-44参照)を例に、基本となるシングルエコーによる測定の様子を見てみたい。

超音波厚さ計は測定する材料に超音波パルスを送信する。このパルスは、第44図のように材料(ここでは鋼材/Steel)の中を反対側(背面壁)に向かって伝わる。空気(背面)や他の材料などの界面にぶつかると、パルスはプローブに反射して戻ってくる。パルスが材料中を伝搬するのに必要な時間を超音波厚さ計で測定し、ここでの所要時間は往復に要する時間なので、



写真-44 超音波厚さ計

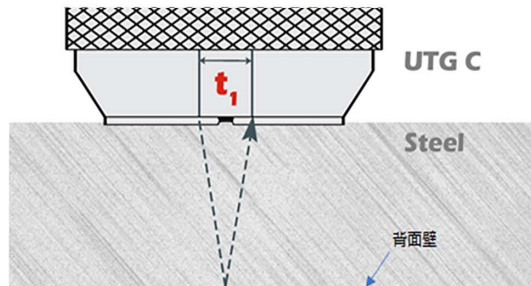
それを2で割って厚みに換算する。

しかし、もし鋼材/Steel表面に塗膜/Coatingがあると、塗膜中の超音波の伝搬速度は遅くなるため、第44図の $t_1$ は、第45図の $t_2$ に変化する。実際の鋼材の厚みより測定値は大きくなる。塗膜が厚みを持つ場合には、この差に留意する必要がある。

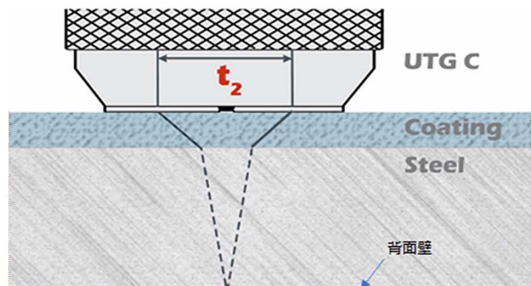
表面に塗膜があっても正しく鋼材の厚みを測定するための方法として、第46図のようにマルチエコーと呼ばれる方式がある。

第47図にて、連続するエコーの各エコーについて順を追って見ながら説明をしたい。マルチエコーでは、少なくとも3つの連続した厚みを決定する。マルチエコーでは、エコー間の時間だけを測定することになるので、鋼材がコーティングされているかどうかに関係なく、第46図のように全てのエコー間の時間は同じになる。マルチエコーモードでは、厚さ計は $t_1 + t_2 + t_3$ を測定し、それをシングルエコーのように2で割って、さらに3回分である3で割る。それに材料の音速値を元に厚さを決定する。したがって、この測定器による厚みの計算結果は、鋼材の厚みのみを正確に測定したものになり、塗膜の厚みは無視されたものとなる。

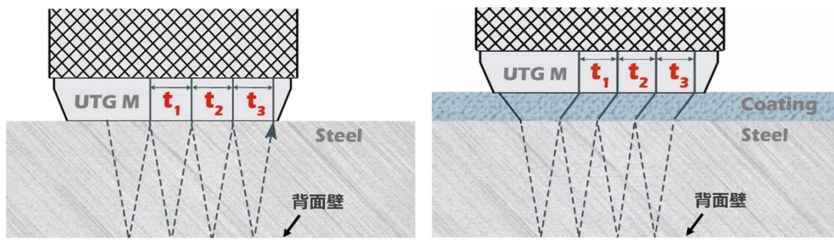
ただし、連続する複数回のエコーとエコーの



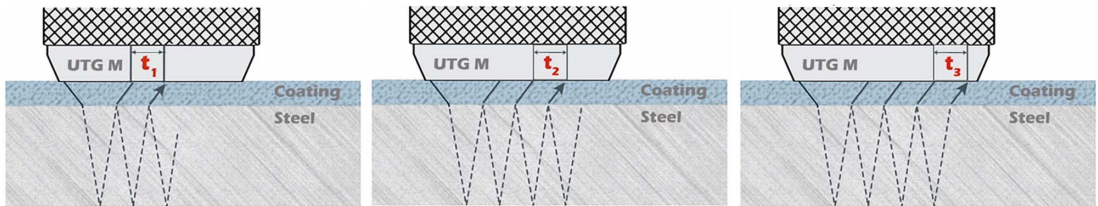
第44図 シングルエコーによる板厚の測定



第45図 鋼材表面に塗膜がある場合



第 46 図  
マルチエコーの測定原理



第 47 図 連続する 3 回のエコーの様子

間の時間を測定するため、間隔が乱れると正しい測定が難しくなる。背面壁の凸凹や激しい錆あるいは曲面による影響を受けやすい。

## 24. 測定方式と特徴

測定方法など特性により適する測定条件が変わることが、超音波膜厚計を適用するにあたりとても重要なことになる。このため、ここで紹介している超音波厚さ計に用意されているプローブを例に、測定方式ごとの特徴を具体的に確認しておきたいと思う。

### (1) UTG-C プローブ

写真－45 に先端の形状を示す。この最も一般的なシングルエコープローブは、5MHz の超音波でデュアルエレメントを使用している。フォーカス「V パス」、V パス補正を搭載しており、一般に鋼素材などに重度の腐食や孔食があっても対応できる。鉄鋼、プラスチックなどの材料の肉厚を測定する。このシングルエコープローブは、第 45 図で見たように、鋼材表面に塗膜がある場合、直接的に影響を受けるため、



写真－45 シングルエコープローブの例

正確な測定精度を得るためには、多くのケースで測定ポイントに存在する塗膜を除去する必要がある。測定可能な板厚はごく一般的な鋼材で 1～125mm で、理論上の精度は±0.03mm (30 μm) である。

また、ここで紹介している超音波厚さ計は、接触するプローブ先端温度が 150℃ 以下におさまるようにしていれば、高温の対象製品でも測定することができるので、稼働中でも測定できるケースが多い。ただし、測定環境(周囲)温度は 60℃ 以下である。ちなみに本体は IP65 の防塵防水性能を持つ。

### (2) UTG-M プローブ

写真－46 のマルチエコーのモデルは 5MHz のシングルエレメントを使用しており、第 46 図や第 47 図に示すように鋼材などの表面に塗膜があってもその影響を無視して金属の厚みのみを測定する。ただし、測定する金属は、塗膜のあるなしにかかわらず、比較的平滑なものまたは腐食の程度は軽いものに限定される。精度と信頼性を得るために、3 回以上の連続した



写真－46 マルチエコープローブの例

エコーによる平均値で評価している。

なお、シングルエコーとマルチエコーの切り替えが可能で、測定可能な板厚はごく一般的な鋼材でシングルエコー時は1～125mm、マルチエコー時は1～60mmとなる。

### (3) UTG-CLF

先端形状はUTG-Cプローブと同様である。JISには、「超音波が減衰しやすい材料の試験体を測定する場合には、安定したエコーが得られるように、より低い周波数の探触子又は広帯域探触子を用いる」と記載されている。写真-47のような鋳鉄・ダクタイル鋳鉄、鋳アルミニウム、鋳亜鉛などの減衰性材料の厚みを測定する場合には、2.25MHzの超音波でデュアルエレメントの本プローブが推奨される。本プローブのメーカーでは、独自のアルゴリズムにより、鋳造材に見られる粒状ノイズ(反射)と背面壁の反射を識別している。測定可能な板厚は2～125mmで、理論上の測定精度は±0.03mm(30μm)である。

なお、鋳鉄の肉厚をモニターすることは、一貫した品質の確保、製造材料のコスト管理、早期破損の可能性の低減において重要な要素となっている。パイプ、電気・油圧のための管や継手、自動車部品、電動工具、調理器具の製造に広く使用されている鋳鉄は、機械で成型するよりも鋳造に適した複雑な形状の製品によく使われる材料である。鋳鉄は鉄に比べて融点が低く、振動減衰性、耐摩耗性、圧縮強度に優れ、金型材料との反応性が低いため経済的である。また、鋳鉄は冷却速度や組成を変えることで簡単に物性を変化させることができる。鋳鉄はその組成により、ねずみ鋳鉄、白鋳鉄、可鍛鋳鉄、



写真-47 減衰性材料をより低い周波数の超音波により測定する様子

ダクタイル鋳鉄などに分類され、それぞれ外観や性能に違いがある。鋳鉄の場合は、5MHzのトランスデューサを使用する一般的な超音波厚さ計では測定が困難な場合がある。

### (4) UTG-P プローブ

写真-48の、15MHzの超音波でシングルエレメントを採用している本プローブは、Delay Lineという技術も相まって高精度の測定を可能にしている。プラスチックや金属などの薄い材料の厚さを正確に測定するのに適する。材料や厚みに応じて、シングルエコーとマルチエコーを切り替えて使用する。測定対象は、一般的な鋼材で0.2～12.0mm、プラスチックで0.125～4.500mmとなり、理論上の測定精度は±0.01mm(10μm)と高精度になっている。

また、たとえばASTM E797に準拠したプラスチックボトルの肉厚検査において、UTG-Pは経済的で簡便に厚さを測定する方法となっている。

## 25. よくある質問

これまで見てきたように超音波厚さ計は、プローブの測定方法により、クセが大きく変わる。このことが、現場での実際の適用において困



写真-48 高精度モデル

第1表 プリセットされている音速値とUTG-Cにおける測定可能厚み

材料 メニューで選択できるもの	音速 m/s	測定可能最小厚 mm
鉄	4,547	1.02
ステンレス SUS303	5,664	1.02
1018 鋼	5,918	1.02
AL 2024 アルミ	6,375	1.27
プレキシガラス (アクリル樹脂)	2,692	1.02
PVC	2,388	0.89
ポリスチレン	2,057	0.89

惑を生むことがあるようである。このため、ここで筆者に寄せられた質問をもとに説明をしたい。

**質問 1：プラスチックやゴムなどの非金属材料の厚みを、超音波厚さ計で測定することはできるか？**

素地上の塗膜としてのプラスチックの厚み＝膜厚を測定することはできないが、単体として存在するプラスチックシートやプラスチック管などの厚みを測定することはできる。本超音波



第 48 図 A スキャンによる素材中の穴の表示のされ方

注 本例では単位：インチであるが mm に切り替えることも可。



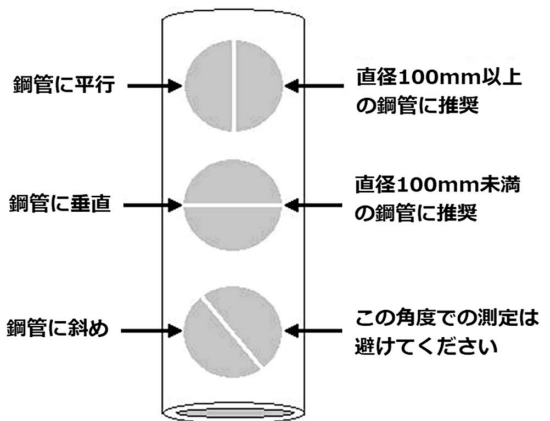
第 49 図 B スキャンによる素材中の穴やくぼみの表示のされ方

注 本例では単位：インチであるが mm に切り替えることも可。

厚さ計には、第 1 表に示す一般的な材料の音速があらかじめプログラムされており、また独自に音速値を入力することもできる。

**質問 2：表面に塗装があり、それが剥がせない場合、ポジテクター UTG-C は使用できるか？**

第 45 図で紹介した通り、測定自体は可能であるが、不正確な値になる可能性がある。樹脂の塗膜は、金属よりも音速が遅くなるため、測定器からは素材の厚みが実際よりも厚く認識されることになる。したがって、塗膜を除去してから測定するのが原則となる。UTG-M と UTG-P は、塗装された金属構造物の塗膜を無視し、金属厚のみの厚みを表示する。ただし、鋼材裏面（背面壁）は平滑であるか軽度の腐食



第 50 図 小径鋼管を測定する際のプローブ先端表面の分割線の向き



写真－ 49 水中使用のための 20m のケーブル付 UTG-C

状態であることが条件になる。

**質問3：裏面（背面壁）や内面の腐食状態が重度の場合でも厚みを測定できるか？**

UTG-Cは、裏面に孔食や中程度から重度の腐食がある金属構造物の厚さを測定するために設計されているので可能と思われる。

**質問4：A スキャンと B スキャンの違いは何であるか？**

超音波厚さ計には、スキャンモードという機能がある。スキャンモードを使用すると、プローブ先端を測定対象物表面に当てたまま、表面をなぞるようにずらしながら連続して（20回/秒の）測定をすることができる。

A スキャンで例示の素材を測定すると、本超音波厚さ計では第48図の波形が表示される。受信パルスの振幅をY軸に、超音波パルスの移動距離をX軸にした表示となる。

これに対して、B スキャンで例示の素材を測定すると、本超音波厚さ計には第49図のように断面形状が表現される。

**質問5：小径のパイプの厚みも測定することができるか？**

ここで紹介している超音波厚さ計のUTG-Cは、半径50mm以上の鋼管で良好な測定を行うことができる。それよりも小さな半径の鋼管においても、第50図のようにプローブ先端表面の分割線が曲線に垂直になるようにプローブを向ければ、測定が可能である。

**質問6：水中でも測定ができるか**

UTG-CとUTG-Mプローブは水中で測定することができる（本体はIP65の防塵防水性能を持つが水中に没して使用することはできない）。写真-49のように最長20mのケーブルまで用意することが可能である。