

愛媛大学大学院 学生員 ○平田正憲
 愛媛大学大学院 学生員 上甲智史
 愛媛大学大学院 正員 中畑和之

1. はじめに

アレイ探触子とは、独立に駆動できる複数の小さな振動素子を直線状に配置した超音波送受信のセンサーである。この探触子を用いた超音波探傷法として全波形サンプリング (FSAT) 方式¹⁾が提案されている。FSAT方式は1素子で励振し各々の素子で受信した全エコーパターンをPCメモリに保存し、PC上でディレイ操作をして波形合成するため、波形計測後でも超音波の送信方向を任意に設定できる。FSAT方式を採用した超音波画像化手法として、筆者らはセクタ式開口合成法¹⁾(S-SAFT)や逆散乱イメージング法²⁾(ISIM)を提案している。S-SAFTは時間領域、ISIMは周波数領域で欠陥像を再構成するアルゴリズムである。ここでは、同じ供試体に対して両方の再構成手法を適用した場合の映像化結果を元に、これらの手法の特徴を整理する。

2. 全波形サンプリング (FSAT) 方式

FSAT方式は1つの素子によって超音波を送信し、すべての素子でエコーを個別に受信する。送信素子を変えながらこれを繰り返し、全素子の送受信パターンをPCメモリに保存する。その結果、図-1に示す波形記憶マトリクスが全て埋まることになる。計測後にPC上でディレイ計算を実行することにより、狙った位置にビームを送信しエコーを受信することができるため、電子スキャン装置を用いて超音波の送受信を繰り返す必要がない。この方式の利点は全波形をPCに保存しているため、何度でも映像化が再現できること、計測後であっても波形処理等が適用でき、異なった画像化手法で欠陥の再構成が可能であるということである。この利点を活用して、以下ではFSAT方式で得られた共通波形データを用いて、S-SAFTとISIMの両方で欠陥の映像化を行う。

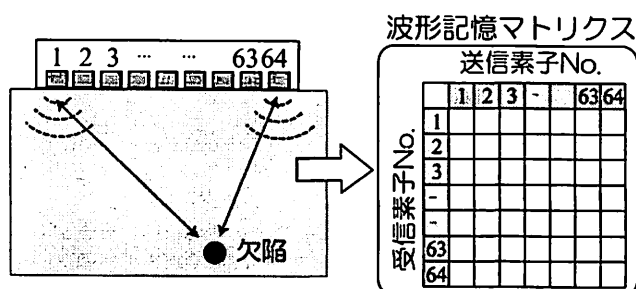


図-1 FSAT方式による計測と波形記憶マトリクス

3. 超音波画像化手法

3.1 逆散乱イメージング法 (ISIM)

ISIMは、欠陥エコーが持つ散乱波の位相・振幅情報とアレイ素子の方位情報を元に、周波数領域で欠陥像を再構成する手法である。まず、送受信の条件に合わせてFSAT方式の波形記憶マトリクスから必要となる組み合わせを選択し、それに適切なディレイを設定することで、各素子での受信波形を合成する。次に、ISIMには欠陥からの散乱波成分が必要であるため、デコンボリューションに基づくパルス抽出処理³⁾を行い、散乱波成分のみを取り出す。このとき、サイドローブを低減するため、FSAT方式の波形記憶マトリクスに重み付け処理をしている。この処理された波形データをISIMにインプットし、逆解析の結果出力される特性関数値に色付けすることによって欠陥像を表示する。周波数領域で逆解析を行うため高速処理が可能であり、特に3次元欠陥の再構成において効力を発揮する。

3.2 セクタ式開口合成法 (S-SAFT)

S-SAFTは、セクタスキャンを複数の位置で行い、得られたスキャン図を各画素で加算平均することで欠陥像を合成する手法である。FSAT方式を適用した場合、PC上で数値解析的にセクタスキャンを実行する。FSAT方式のセクタスキャンは、通常呼ばれているスキャンとは異なる。まず、1回のセクタスキャンで再構成したい領域を選び、領域内の画素1つ1つにフォーカスビームを送信する。そのとき、画素毎に欠陥エコーの振幅値を保存する。次に送信位置を変えて、同様のセクタスキャンを行う。最終的にセクタスキャンの回数だけ画素毎に保存された振幅値を重ね合わせ、それに色付けすることで欠陥形状を再構成する。本手法では、欠陥の検出に要求される精度に準じて解像度を変更でき、評価したい領域だけを選択して映像化することができる。また、原波形のまま映像化することも可能であるが、今回はISIMと同様のパルス抽出処理を行っている。

4. 欠陥像の映像化結果

アレイ探触子は中心周波数3MHzで、素子数64個、素子幅0.7mm、奥行き長さ9.0mm、ピッチ0.8mmのものを用いた。

まず、図-2の上側に示すような5つの人工欠陥を含む供試体を用意し、アレイ探触子は5つの欠陥のおおよそ真上に来るように設置した。ISIMでは、波形

記憶マトリクスから全ての組み合わせ(64素子送信×64素子受信)を選択した。このとき送信方向を7方向(-30°~30°の間で10°間隔)に設定し、それぞれの方向で得られる再構成像を重ね合わせた。S-SAFTでは、駆動素子を24(セクタスキャン数は41)とし、首振り角度は-45°~45°、画素の一边を0.2mmとして実行した。この時の欠陥像を図-2の下側に示す。供

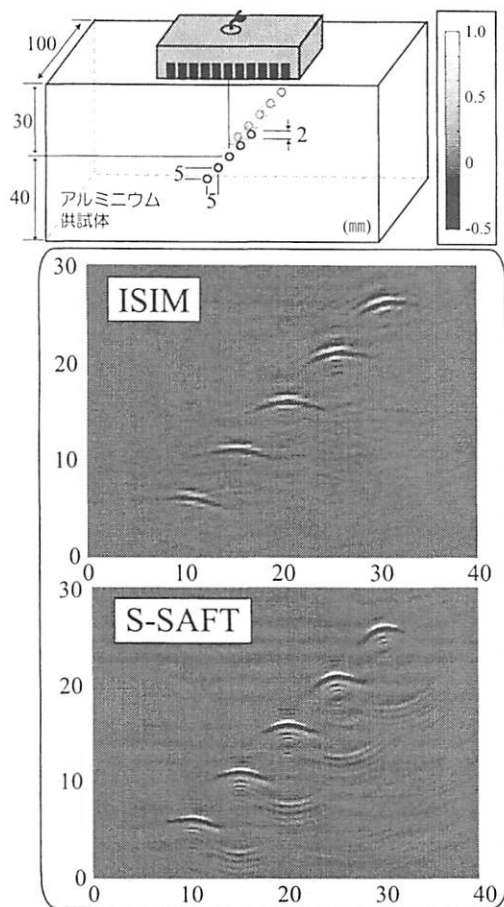


図-2 5つの横穴の映像化結果

試体の上からのみ超音波を送信しているため、欠陥像の上側境界が再構成されており、両手法共に5つの欠陥が明確に識別できる。S-SAFTでは、全ての画素に対してビームを集束させているため深い位置にある欠陥も感度良く映像化されているのがわかる。

次に、図-3の上側に示すような底面に人工き裂(スリット)を含む供試体を用意し、スリットから水平距離で35mmの位置に探触子の中心が来るように設置した。ISIMでは、波形記憶マトリクスから素子群(48素子送信×64素子受信)を選択し、スリット端部付近にビームを集束させ、1枚の画像を合成する。次に異なる素子群(48素子送信×64素子受信)を選択し、同様に画像を作成する。最終的に計17枚の画像を重ね合わせて欠陥像を再構成している。S-SAFTでは、首振り角度は15°~50°とし、他は図-2と同条件で欠陥像を再構成した。この時の欠陥像を図-3の下側に

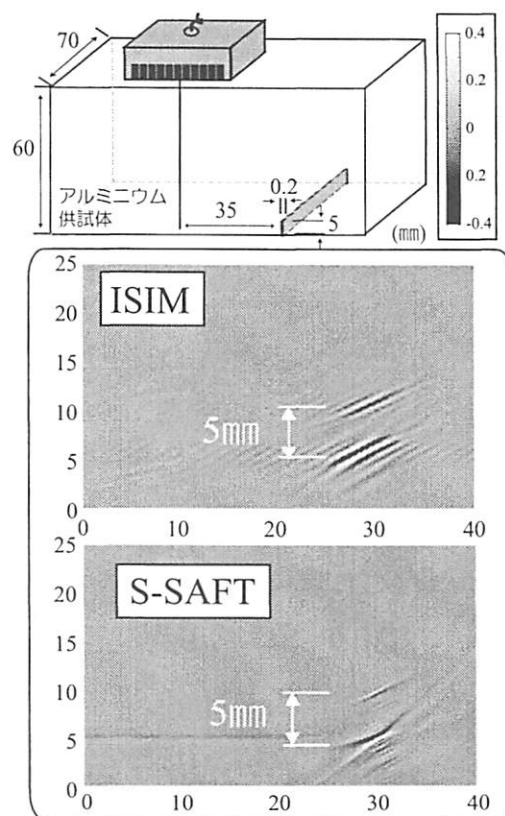


図-3 底面スリット(高さ5mm)の映像化結果

示す。どちらの場合もスリットの端部とコーナ部が再構成されているのがわかる。スリットの高さは5mmであり、良好な精度でスリットの高さ推定ができることがわかる。

5. 結論

本研究では、FSAT方式により計測した同一の欠陥エコーデータを用いて、2つの超音波画像化手法(ISIMとS-SAFT)による映像化の比較を行った。この結果、両手法共に高精度に欠陥像を再構成でき、ここで用意した供試体について、再構成結果に大きな差異は見られなかった。ISIMは周波数域の解法であるため、欠陥再構成が高速に行えるというメリットがある。一方、S-SAFTは時間域の解法であり、再構成に時間がかかるというデメリットがあるが、画素の大きさが可変であり、検査したい場所をコンパクトに指定することが可能である。今後の使い方として、ISIMで領域を大まかに再構成したあと、S-SAFTで詳細箇所を検査するといった併用手段が考えられる。

参考文献

- 1) 平田正憲, 中畑和之, 河野尚幸, 馬場淳史: 超音波アレイ探触子を用いた全波形サンプリング方式によるS-SAFTの精度向上について, JSNDI平成20年度秋季大会講演概要集, pp.51-52, 2008.
- 2) 中畑和之, 上甲智史, 廣瀬壮一: 逆散乱解析法の超音波フェーズドアレイ探傷への応用, 応用力学論文集, Vol.10, pp.61-68, 2007.
- 3) 中畑和之, 松岡ちひろ, 廣瀬壮一: 超音波電子スキャン装置を用いた逆散乱イメージング法の検証, 土木学会論文集, 2009, 査読済み.