

全波形サンプリング処理 (FSAP) 方式による金属・非金属の超音波イメージング

愛媛大学大学院 学生員 川村 郡
 愛媛大学大学院 学生員 竹内裕幸
 愛媛大学大学院 正 員 中畑和之

1. はじめに

アレイ探触子を用いた超音波探傷法が、工業用の非破壊検査で導入されつつある。著者らはこれまで、アレイ探触子を用いた内部欠陥のイメージング方法として FSAP 方式による画像化を提案している¹⁾。FSAP 方式ではコンピュータ上で波形を重ね合わせるため、一般的な電子スキャン装置に搭載されているような遅延回路を必要とせず、単純な素子切り替え機能付きの探傷器でアレイ探触子が制御できる。これまで、アレイ探触子を被検体に直接設置した場合の FSAP 方式による超音波画像化を提案し、その有用性を検証してきた。ここでは、実際の現場への適用を見据えて、斜角探傷用のアレイ探触子を用いた場合の金属中の欠陥と、コンクリート等の非均質材料中の欠陥について FSAP 方式による再構成を試みる。このとき、得られた欠陥エコー（原波形）をそのまま画像化に用いるのではなく、原波形から欠陥からの散乱波成分である散乱振幅²⁾を抽出し、これを画像化に用いる。散乱振幅は空洞欠陥の場合、矩形状波形となるため³⁾、低周波数帯の探触子や帯域が狭い探触子を用いた場合でも、比較的高い分解能で欠陥像を再構成できる。

2. FSAP 方式による映像化原理

一般的な電子スキャン装置のように遅延回路を制御することによって集束ビームを作るのではなく、FSAP 方式ではコンピュータのメモリ上の演算でビームを合成する。総素子数が 4 個のリニアアレイ探触子の場合の FSAP 方式による超音波の送受信を図-1 に示す。素子番号 1 で送信した超音波は欠陥で散乱し、そのエコーは 1 から 4 番の素子で受信される。このとき、4 つのエコー ($V_{11}(t)$, $V_{12}(t)$, $V_{13}(t)$, $V_{14}(t)$) が波形記憶マトリクスに保存される。次に送信素子を変えて、同様に各々の素子で受信していくと、波形記憶マトリクスの要素が全て埋まることになる。アレイ探触子の素子の総数が N 個ならば、組み合わせは N^2 パターン存在する。波形記憶マトリクスから必要な波形パターンを選択し、これにコンピュータメモリ上でディレイを設定して、映像化したい領域の 1 画素にビームが集束するように波形を合成する。その画素とアレイの中心までの路程から計算された到達時間に相当する集束ビームの振幅値 F^k をプロットすることで、欠陥像の再構成を行う。

FSAP 方式の特徴として、原波形を保存しているため後処理で任意の波形操作が実行できるのが特徴であ

る。ここでは、欠陥エコーから抽出した散乱振幅を欠陥の画像化に利用する。空洞欠陥からの散乱の場合、散乱振幅は理論的には負方向の矩形状の波形³⁾となる。また、き裂状欠陥の場合は負と正方向のパルス状の波形となるため、これを用いれば高分解能な画像化が期待できる。本論文では、参照波を用いて欠陥エコーから散乱振幅を抽出している。

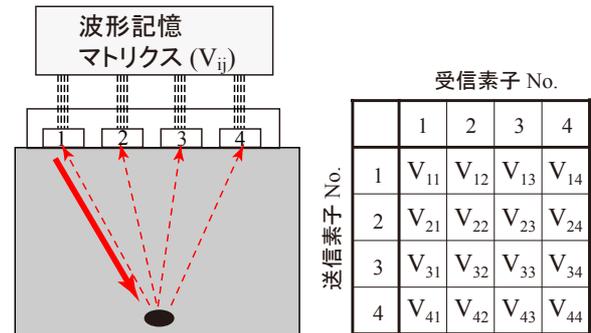


図-1 FSAP 方式による 4 素子のデータ収集方法

3. 斜角探傷用アレイ探触子を用いた金属内部の画像化

斜角探傷用のアレイ探触子は、くさびと呼ばれる三角形のポリスチレンの上にアレイ探触子を設置したものである。くさびを介することで金属内部には横波を発生させることができる。実験で用いたくさびの縦波音速は 2323m/s、密度は $1.00 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ であり、くさびの傾きは 22° である。アレイ探触子として、公称中心周波数 3MHz、総素子数 64 のものを使用した。アレイ探触子の素子幅は 0.7mm、素子中心間距離は 0.8mm である。人工欠陥として、アルミニウム被検体 (横波音速 = 3131m/s、密度 $2.70 \times 10^3 \text{kg/m}^3$) の裏面に作成したスリットを画像化対象とした。アルミニウム被検体の厚さは 40mm であり、くさびの中心とスリットの距離は約 20mm 程度である。ここでは、スリットを中心として $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ の範囲を、画素サイズは 0.05mm で画像化した。また、くさびと同じ材質の底面からの垂直エコーを参照波として用いている。

まず、スリット高さが 4mm の場合の画像化結果を図-2 に示す。左図は原波形による画像化であり、波形が尾引いているためにスリット先端の正確な位置が識別し難い。右図のように散乱振幅を用いるとスリット端部の識別が可能であり、スリット高さも 4mm と読み取れる。スリットのようなき裂先端部の場合、散乱振幅は負方向のパルスの次に正方向のパルスが微小時

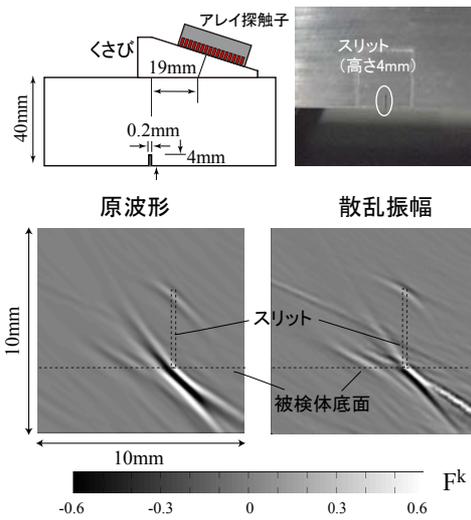


図-2 裏面スリットの再構成結果 (4mm のスリット)

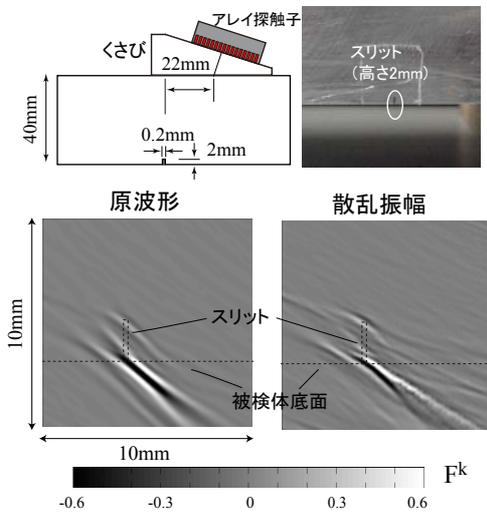


図-3 裏面スリットの再構成結果 (2mm のスリット)

刻だけ遅れた波形となるため³⁾、先端部は負の値(黒)と正の値(白)が強く現れているのが特徴である。

次にスリット高さが2mmの場合の結果を図-3に示す。散乱振幅を用いる場合、スリット高さが小さくてもスリット端部とコーナ部を分離することができ、高精度なサイジングが可能であることがわかる。

4. 低周波探触子を用いた非均質材料内部の画像化

ここでは低周波探触子から発振する縦波超音波を用いて、非均質材料内部の空洞欠陥の画像化を行う。非均質材料として、ここではセメントペースト供試体(縦波音速=3584m/s)とモルタル供試体(縦波音速=4122m/s)を作成した。セメントペーストとモルタルに作成した空洞欠陥の直径はそれぞれ10.8mmと10.6mmであり、この空洞を中心とした80mm×80mmの範囲を画像化の対象とした。ここでは、アレイ素子を模擬した小型の低周波探触子(振動子のサイズ5.1mm×40.1mm)を2つ用いて、手動でその位置を切り替えることで、全波形パターンを計測した(素子

ピッチは10mmに相当)。使用した探触子の中心周波数は0.4MHzである。合計8×8=64の波形パターンを計測した。欠陥が無い位置で供試体の底面エコーを参照波として用いている。なお、事前の検討で、今回使用した周波数帯域において両供試体中で波動分散は見られず、位相速度は一定であることを確かめている。

図-4にセメント供試体中の空洞欠陥、図-5にモルタル供試体中の空洞欠陥の再構成図を示す。両図とも、原波形を用いた場合には正確な空洞の位置が再現できていない。一方、散乱振幅を利用することで、空洞の境界部を正確に評価できることがわかる。

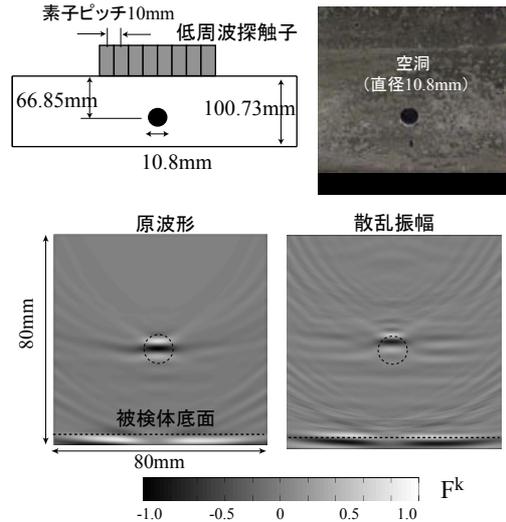


図-4 セメントペースト中の円形空洞の再構成結果

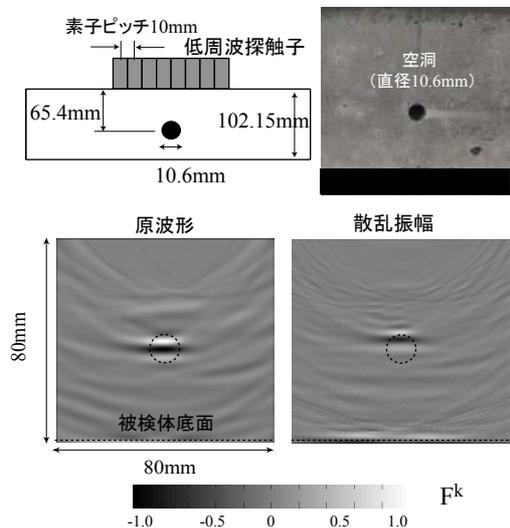


図-5 モルタル中の円形空洞の再構成結果

参考文献

- 1) 中畑和之, 平田正憲, 廣瀬壮一: 全波形サンプリング処理方式を利用した散乱振幅からの欠陥再構成, 非破壊検査, Vol.59, No.6, pp.277-283, 2010.
- 2) 高堂谷正樹, 野竹正義, 北原道弘: 定量的非破壊評価へのニューラルネットワークの適用, 非破壊検査, Vol.42, No.5, pp.230-236, 1993.
- 3) Schmerr, L.W.: *Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation*, Plenum Press, New York, 1998.