

全波形サンプリング処理 (FSAP) 方式による固体中の欠陥形状の再構成

愛媛大学大学院 学生員 ○川村 郡
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、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全波形サンプリング処理 (FSAP) 方式による画像化を提案している¹⁾。FSAP 方式は、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、コンピュータ上できずエコーを重ね合わせる。過去の研究では、アレイ探触子を被検体に直接設置した場合の欠陥再構成を提案し、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、低周波探触子を用いた場合の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。計測されたきずエコー (原波形) をそのまま画像化に用いるのではなく、散乱振幅²⁾を原波形から抽出し、これを再構成に用いる。散乱振幅は空洞欠陥の場合、矩形状波形となるため³⁾、低周波数域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によってビームを制御するのではなく、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、きずエコーは 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

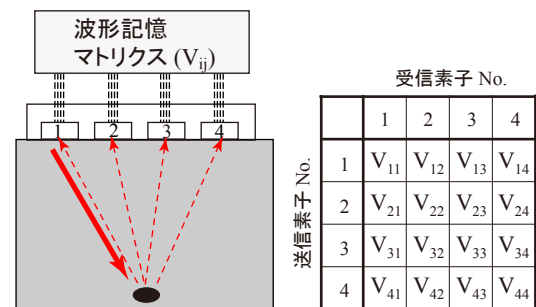


図-1 FSAP 方式によるきずエコーの記録

ために後処理で任意の波形処理・合成が実行できるのが特徴である。ここでは、きず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、各被検体の参照波を用いてきずエコーから散乱振幅を抽出している。

3. 斜角探傷用アレイ探触子を用いた金属内部の欠陥の再構成

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。くさび中を縦波が伝搬し、くさび-金属界面でモード変換した固体内横波を用いて欠陥の再構成を行う。実験で用いたくさび中の縦波音速は 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 $= 3131 \text{ m/s}$, 密度 $2.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) の裏面に作成したスリットを再構成対象とした。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水平距離は 22mm 程度である。画素サイズは 0.05mm で、スリットを中心とした $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ の範囲を再構成した。ここでは、くさびと同じ材質の直方体底面からの反射エコーを参照波として用いている。

スリット高さが 2mm の場合の再構成結果を図-2 に示す。左図は原波形による再構成図であり、波形が尾引いているためにスリット先端の正確な位置を識別

キーワード：非破壊検査，超音波，アレイ探触子，欠陥再構成，FSAP 方式

〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3, E-mail: nakahata.kazuyuki@ehime-u.ac.jp

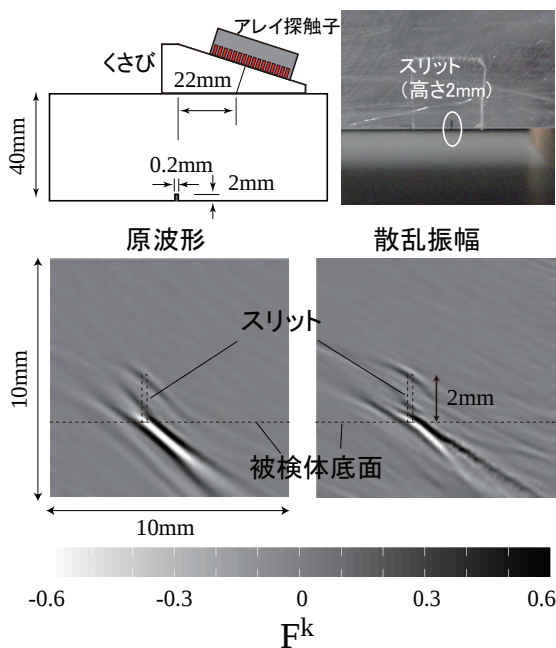


図-2 裏面スリットの再構成結果

することが難しい．一方，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となり，スリット高さも2mmと読み取れる．スリットのようなき裂の場合，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間遅れた波形となるため³⁾，先端部は負の値(白)と正の値(黒)が強く現れているのが特徴である．散乱振幅を用いる場合，スリットの高さが小さくてもスリット端部とコーナ部を分離できており，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欠陥の再構成

ここでは低周波探触子による縦波を用いて，非均質材料内部の空洞欠陥の再構成を行う．被検体として，セメントペースト(縦波音速=3584m/s，密度 $1.97 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)とモルタル(縦波音速=4122m/s，密度 $2.17 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)の被検体を2つ作成した．作成したセメントペーストとモルタル中の空洞欠陥の直径はそれぞれ10.8mmと10.6mmである．画素サイズは0.1mmで，空洞を中心とした80mm×80mmの範囲を再構成の対象とした．ここでは，アレイ素子を模擬した低周波探触子(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 $8 \times 8 = 64$ の波形パターンを計測した．欠陥が無い位置で被検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被検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-3にセメント中の空洞欠陥，図-4にモルタル中の空洞欠陥の再構成図を示す．両図とも，原波形を用

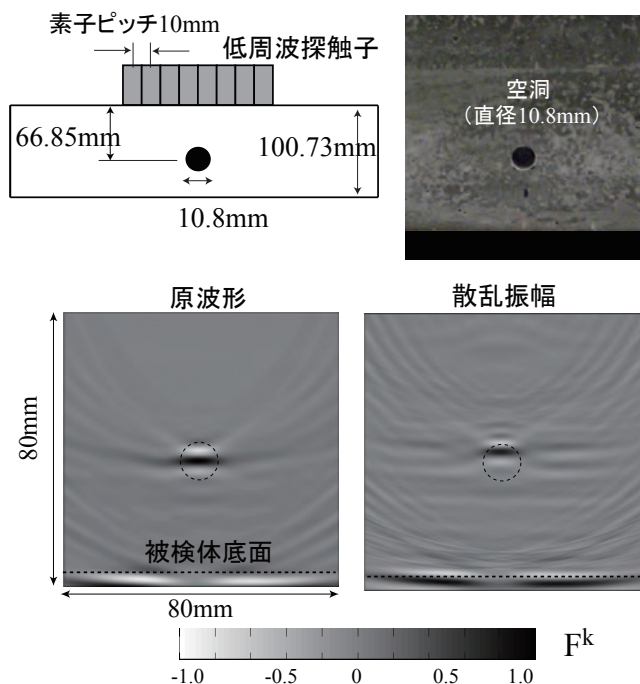


図-3 セメントペースト中の円形空洞の再構成結果

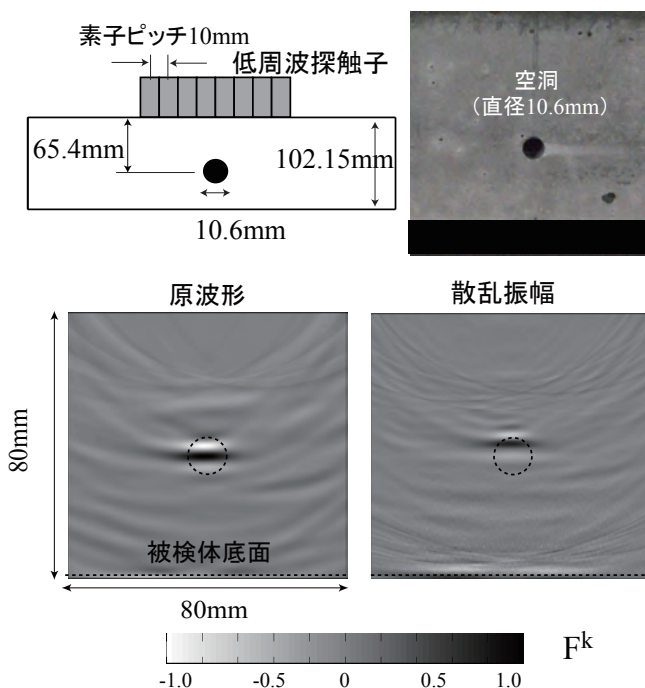


図-4 モルタル中の円形空洞の再構成結果

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，散乱振幅を利用すれば，空洞の境界部を精度よく評価できる．

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.