全波形サンプリング方式による金属内部の超音波イメージング

愛媛大学大学院	学生員	○平田正憲
愛媛大学大学院	正 員	中畑和之

1. はじめに

超音波探傷試験において, 電子スキャン装置の同時 励振機能を使うことなく,波形記録マトリクスに保存 された波形パターンから必要な波形を選択して映像 化を行う Sampling phased array(SPA)法¹⁾ が提案さ れている.本報告では、SPA 法に波形処理を組み合 わせた欠陥映像化手法を提案する.本報告では、これ を全波形サンプリング処理 (FSAP: Full-waveforms Sampling and Processing) 方式と呼ぶ.本報告では, 波形処理法の1つとして,散乱振幅²⁾を用いた欠陥の 映像化について示す. 散乱振幅は空洞欠陥の場合, 負 の振幅を持つインパルス波形として近似できる.従っ て、これを欠陥エコーからうまく取り出すことが出来 れば,低周波数帯の探触子や,帯域が狭い探触子を用 いても,比較的高い分解能で欠陥像を再構成できる. ここでは、FSAP 方式を用いて底面スリットの映像化 を行う.

2. FSAP 方式による映像化原理

FSAP 方式の例を4素子からなる探触子を用いて説 明する (図-1). FSAP 方式では、1 つの素子によって 超音波を送信し、 すべての素子で欠陥からのエコーを 個別に受信する.このとき、4つのエコー (M_{11}, M_{12}) *M*₁₃, *M*₁₄, すなわち波形マトリクスの赤い部分)が 受信されることになる. これを送信素子を変えながら 繰り返し、計測されたすべての送受信波形は波形記憶 マトリクスにストアされる. この波形記憶マトリクス から,使用する素子の送受信パターンだけを選択し, 映像化したい領域の1画素にビームが集束するように 各送受信波形にディレイを設けて波形を合成する. そ の画素とアレイの中心までの路程から到達時間を計算 し、その時間に相当する振幅の値をプロットする.こ れをすべての画素において実行し、 欠陥映像を出力す るのが FSAP 方式である. FSAP 方式は原波形を保 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、波形処理の一手法とし て, 散乱振幅²⁾を用いた欠陥の映像化を行う. 計測 で得られる欠陥エコーは、欠陥からの散乱成分以外に も,探触子の周波数特性,アンプによる周波数特性, 電気回路等のノイズ等を含んでおり、これらによって 変調された波形となっている.本論文では、参照波を 用いてこれらの影響を取り除き, 散乱振幅データを抽 出している. 散乱振幅を原波形から抽出する詳細な方 法は,著者らの論文³⁾を参照されたい.



図-1 FSAP 方式によるデータ収集方法

3. 底面スリットの映像化結果

中心周波数は2MHz,素子ピッチは0.8mm,素子数 が64素子のアレイ探触子を用いて映像化を行う.先ず, 図-2の左側に示すように,鋼材(縦波音速5700m/s)の 裏面に存在する高さ1mmのスリット(開口幅0.2mm) について映像化を試みる.スリットの真上に探触子 の中心が来るように設置した.映像化範囲はスリッ トを含む20mm×20mmの範囲であり,画素サイズは 0.1mmである.図-2の右側に示すように,FSAP方 式ではスリットの端部とコーナ部が分離して映像化で きており,精度良くスリット高さが再現できている. 今回使用した探触子の中心周波数の波長は約2.65mm であるから,送信する超音波の波長以下のスリットで も,高さ推定が可能であることがわかった.



次に、スリットの傾き推定を試みる. ここでは、図-3 の上部に示すような、鋼材の裏面に存在する高さ2mm のスリット (開口幅 0.2mm) 先端が左方向に20°傾い たモデルについて、スリットの高さと傾きの推定を試 みる. 映像化範囲と画素サイズは図-2と同じである. 1回目の映像化でスリット端部の検出ができたとする. 検出したスリット端部の真上にアレイ探触子を置き、 スリットから見て右側と左側のアレイ素子群を用い て、使用素子数を変えながら映像化する. 探触子の右 側の使用素子を徐々に減らし、1~64、1~60、1~50、 1~40番目の素子群を使用した場合のスリットの映像 化結果を図-3の左側に示す. アレイの右側の素子数を 少なくすると、スリットのコーナ部の間隔が狭くなっ ていくのがわかる. この理由について、図-4を用いて 説明する. 全素子を用いて送受信をした場合、スリッ トの右コーナ部からのエコーの寄与が大きく、左コー ナ部からの寄与は小さい. 従って、右側の素子数を少 なくした場合、図-4の②に示すようにスリットの左 コーナ部からのエコーの寄与分が大きくなるので、左 コーナ部の映像化領域が増えるものと考えられる. 次 に、探触子の左側の使用素子を減らして、64素子中



図-3 使用素子数を変化させた場合の映像化結果

1~64, 5~64, 15~64, 25~64番目の素子を使用した 場合の映像化結果を図-3の右側に示す.図5の③に 示すように,使用素子を減らしてもスリットの右コー ナ部からのエコーの受信強度はそれほど変わらない ため,スリットの右コーナ部の映像化には影響せず, コーナ部の間隔は変わらないと考えられる.以上のよ うに,2段階で映像化(最初にスリット端部を検出化 して,その後にスリットの傾きを推定する)を行えば, スリットの傾きが推定できる可能性を示した.FSAP 方式では全送受信パターンを保存しているために,こ のように使用素子数を選択して映像化を行うことがで きることもメリットである.



図-4 スリットコーナ部からの反射エコーの模式図

4. 結論

本研究では、アレイ探触子を用いた全波形サンプリ ング処理(FSAP)方式による欠陥の映像化に関する研 究を行った.スリットのような面状欠陥からの散乱振 幅はパルス状の関数となるため、原波形からうまく散 乱振幅データを抽出できれば高い空間分解能で欠陥の 映像化が可能である.また、スリットの傾きについて は、スリットの端部を検出した後にスリットの真上に 探触子を置き、スリットから見て右側と左側のアレイ 素子群で、素子数を変えながら励振していく方法を提 案した.励振位置や素子数によって、スリットのコー ナ部の映像化結果に変化が現れるため、これを精査す ればスリットの傾き方向が推定できることを示した. 今後は、疲労き裂などの実際の欠陥について本手法を 適用し、有用性を検証したいと考えている.

参考文献

- Bulavinov, A., Dalichow, M., Kurz, J.H., Walte, F. and Reddy, K.: Sampling phased array a new technique for signal processing and ultrasonic imaging, *Non-destructive Testing and Condition Monitoring*, Vol.48, No.9, pp.545–549, 2006.
- Schmerr, L.W.: Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation, Plenum Press, New York, 1998.
- 3) 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,2010,査読済み(印刷中).