特集

非破壊検査技術

フェイズドアレイ超音波探傷技術*

村井 純一**

Ultrasonic Phased Array Testing*

by MURAI Junichi**

キーワード 超音波探傷, フェイズドアレイ, リニア走査, セクター走査, AUT, ボリュームフォーカス

1. はじめに

非破壊検査における超音波探傷はX線検査同様に主に被検査材の内部を検査する手法である。X線検査との違いは内部きず位置を知ることができることにある。このため溶接部検査に多く用いられている。手動による超音波検査ではAスコープによる傷の位置、深さなどの判断が必要で、熟練した技術が必要である。一方溶接部専用機構部を備えた探傷装置（AUT）では溶接線に沿って方形走査を行い溶接部の断面像、平面像を得ることができ、超音波探傷で弱いとされていた記録性も格段とよくなっている。最近ではこの溶接部検査にフェイズドアレイを使用する例が増えてきている。

超音波フェイズドアレイ技術は1980年代より医療分野から始まり次第に非破壊検査の分野に広がり、1990年代より実用可能な検査装置、探触子が開発されるようになった。また最近ではポータブルタイプの探傷器からオンライン探傷可能な探傷装置にまで発展した。探傷法としては垂直探傷、斜角探傷とも可能であり、画面表示方法も従来のAスコープ表示に加え、Bスコープ表示により非検査材の内部状態を画像化し容易にきず判定することが可能となった。本稿ではフェイズドアレイ探傷の基本と溶接部検査のフェイズドアレイの画像例として、モックアップによる溶接部の探傷例を示す。更に最新の高速探傷に適している、ボリュームフォーカスフェイズドアレイ探傷（VFUT）を紹介する。

2. フェイズドアレイ超音波探傷技術

フェイズドアレイ超音波探傷技術はアレイ振動子に様々なディレイパターンを与え斜角設定したり、焦点設定

を行ったりする。また斜角探傷に焦点を持たせることも容易に出来る。更に設定している探触子グループを順次走査をするリニア走査や角度を順次に扇形に走査するセクター走査、あるいはこれらを組み合わせた走査することにより広範囲を容易に探傷することが可能となる。図1に斜角探傷と焦点のディレイパターンと音場の様子を示す。また図2にリニア走査とセクター走査を示す。

3. フェイズドアレイ探傷の画像表示

実際のフェイズドアレイ探傷では、各走査をもとに内部の状態を画像表示することが可能である。Aスコープ表示に加え、電子走査方向の断面の様子を示すBスコープ、電子走査と機械走査を組み合わせた平面表示のCスコープ、機械的な走査方向の断面を示すDスコープなどが可能である。図3に各表示方法、図4に実際の人工欠陥とそのセクター走査によるBスコープ表示例を示す¹⁾。この例では深さごとに焦点を変えながらセクター走査を行っているため、深さによりビームが広がらずにビーム幅が狭いことが分かる。また図5に斜角探傷（セクター走査+リニア走

図 1-1 斜角設定のディレイパターン

図 1-2 焦点設定のディレイパターン

*原稿受付 平成24年2月20日

** 日本クラウトクレマー株式会社 Krautkramer Japan Co., Ltd

図 2-1 リニア走査

図 2-2 セクター走査

図 3 探傷結果の表示方法

査)の表示例を示す。人工欠陥は、擬似溶接部を模した位置に入れたノッチで、5mm ノッチでは上端と下端が分離していることがわかる。

4. フェイズドアレイの音場とグレーティングロブ

フェイズドアレイ探傷では、斜角の設定、焦点の設定などが容易に出来探傷能力を向上させることが出来る。しかしこれらのビームの形成は振動子の大きさ、周波数により制約を受ける。波長が短くなるとビームの指向角が小さく

- ・人工欠陥
- φ1SDH
- ・探触子
- 5MHz
- 64 素子
- 0.5mm ピッチ

図 4 セクター走査の B スコープ表示例

図 5 斜角セクター走査とリニア走査を組み合わせた例

図 6 メインロブとグレーティングロブ

なるため角度を大きく振ることが出来なくなる。このため周波数が高くなると振動子ピッチを小さくする必要がある。また、これらの影響のほかに、振動子のピッチと波長が影響しあって、設定と異なる角度にグレーティングロブといわれるアレイ探触子特有のロブが発生する。メインロブ以外の方向に思いも寄らないロブが発生し大きなトラブルとなることがあるためこれらのことを十分に注意して探触子の選定を行くことが必要である。図 6 に 5MHz, 0.5mm ピッチ, 32素子のアレイ探触子で水中に19度(鋼での屈折は45度)で入射した際に発生するグレーティングロブの様子を示す。グレーティングロブはメインロブと反対

図7 手動走査機構部

図8 モックアップとフェイズドアレイ探傷装置

開先形状	X 開先
板厚	32mm
ベベル角	上 30.0° 下 45°
ルートギャップ	2mm

図9 開先形状

方向 15.5 度の方向に発生している。又メインロブに比べ幅の広いビームとなっている。

5. 溶接部の探傷例

手動の走査機構を使用し溶接部のモックアップを検査した例を示す。

手動走査機構はアレイ探触子のホルダおよびマグネットローラと追従機構によりアレイ探触子を鋼板に追従させ、エンコーダにより位置を読み取りながら溶接部の探傷データを採取する。図7に手動走査機構部を、図8に溶接鋼板のモックアップとフェイズドアレイ探傷装置を示す。モックアップは全長3箇所擬似的に溶け込み不良を作っている。図9に溶接部の開先形状と諸元を示す。探傷の設定としては35度から65度までのセクター走査を1度ピッチで行い、溶接中心位置から45mmの位置を溶接線に沿って一方向の走査を行っている。探傷では機械走査範囲のセクター走査の全Aスコープデータを取り込んでいる。

図10 フェイズドアレイによる探傷結果

図11 AUTによる自動探傷結果

このため検査後の解析時に任意の位置のAスコープを読み出すことができ、傷位置を正確に知ることができ又妨害エコーとの判別判断が可能である。図10にフェイズドアレイでとった探傷結果を、図11に従来の自動探傷装置(AUT)で取った探傷結果を示す。フェイズドアレイの表示では、Bスコープはスキップしている図を示している。従来の溶接部自動探傷装置は溶接線に対して前後走査を行って得たデータである。フェイズドアレイの検査では前後走査なしで一方向の走査で同等の結果が得られている。

6. ボリュームフォーカス超音波探傷技術²⁾

フェイズドアレイ超音波探傷は超音波ビームの自由な形成や、電子走査による高速探傷を可能とし、探傷結果を断面図などの画像に容易に変換できる利点がある。しかし、例えばリニア走査は、機械的な走査を電気走査に置き換えたものであり、超音波特有のゴーストの発生などはシングル探触子同等、あるいは振動子面の大きさが影響して同等以下になりかねない。

ボリュームフォーカス技術は、従来のリニア走査方式のように1点ごとにフォーカスをし、順次走査する方式と大きく異なるものである。具体的には、アレイ探触子の全素子(例えば128素子)から一度に送信波を検査材に送信して平面波を発生させ、検査材内部からの反射波をすべてアレイ探触子の全素子で受信し、メモリーする。これにより、超音波の送信された全領域からのデータを収録したことになる。次に、内部の任意の点からの信号を演算にて算出することにより、内部全域の信号を取り出し処理することができる。これにより受信波の焦点設定や入射角の設定な

図12 ボリュームフォーカスのタイムチャート

どが可能となる。図12に信号処理のタイムチャートを示し動作について説明する。①全素子で送信を行う。②全素子で受信を行い、③全素子分の波形をメモリーする。④探傷ポイントのごとのフォーカルローごとに波形合成を行い順次探傷評価を行う。なおこの処理は並列処理可能でありさらに高速処理できる。(この間ゴーストなどは消滅している。)⑤全受信処理が終わり次第次のサイクルの送信を行う。このようにポリウムフォーカスは一度の送信で多くの受信処理が可能でありゴーストの影響を受けうることなく高速探傷が可能となる。最近の計算機の演算速度の高速化により、非常に速やかな演算が可能となった。大型の検査材では、ゴーストの消滅に時間がかかることが多い。このため通常超音波探傷のようにゴーストの消滅を待つて次の送信波を出す方法では、送信の時間間隔が大きくなり検査の密度が粗くなってしまう。ポリウムフォーカスでは、送信した面内全体のデータを一度の送信波で収集しているので何回もの送信が不要となり、検査時間の短縮が可能となった。図13にポリウムフォーカスにより得られたBスコープ画像を示す。このBスコープ画像は図に示されたテストピースを使用し、一度の送受信で得られた画像であるが、深さごとに焦点が結ばれていることが分り高速・高精度探傷例を示している。ポリウムフォーカスの高速性はオンライン自動探傷で発揮され、丸棒鋼や角ビレットのオンライン探傷に実績がある。又、ポリウムフォーカスは溶接部探傷などの斜角探傷も可能であり、斜角の平面波を発生させ後は垂直探傷同様に受信後に各受信

図13 ボリュームフォーカスのBスコープ画像

処理を高速で行う。ポリウムフォーカスの有利な点は高速探傷のほか、振動子の大きな開口による遠距離探傷に威力を発揮する。これにより厚い材料の探傷精度が向上する。

7. ま と め

フェイズドアレイ超音波探傷について基礎的なことから溶接部探傷の応用例、又最新のポリウムフォーカスについて紹介した。フェイズドアレイについては急速に普及してきており、国内の規格化の準備も進んでいる。最大の特徴は簡単な操作で断面像を簡単に得ることができることにあるだろう。これにより従来法では判定が難しい欠陥についても比較的簡単に判定が可能になる。又、ビームを自由に設定できることからより検出能力の向上が見込まれる。電子走査のため高速探傷も可能であり自動探傷装置への適用もさらに増大すると思われる。

参考文献

- 1) 超音波フェイズドアレイ技術－フェイズドアレイの基礎から応用－ 日刊工業出版（2011）.
- 2) 村井純一 ドミニク ブラゴニエ 村上丈子：ボリウムフォーカスフェイズドアレイと適用事例 非破壊検査 Vol.56, No10 (2007).