

鋼製橋脚隅角部を対象としたフェイズドアレイ探傷法の基礎検討

土木研究所	正会員	○藤木 修
同	上	正会員 村越 潤
同	上	正会員 高橋 実

1. はじめに

鋼製橋脚隅角部では、構造上、複数の溶接線が交差し、溶接が難しい箇所が生じることから、設計、製作時に板組や溶接手順に配慮するとともに、適切な非破壊検査法を用いることにより、溶接品質を確保することが求められている。隅角部の非破壊検査には、従来から検査技術者の走査による超音波探傷法（手探傷：MUT）が用いられているが、MUTは検査技術者の技量に依存する部分が大きく探傷結果の記録性や再現性に乏しく、また隅角部の構造が複雑であるため検査自体が難しい。これらの理由から、より検出性能に優れた探傷法を用いることを検討する必要がある。本論文では、原子力施設の溶接部の非破壊検査法において、検出性能・精度の観点から、既に実務へ適用されているフェイズドアレイ法に着目し、フェイズドアレイ法の基礎検討を目的として実施した鋼製橋脚隅角部を模擬した試験体の探傷結果について報告する。

2. フェイズドアレイ法の概要および基本性能

フェイズドアレイ法とは、小さな振動子を多数配列した探触子を用い、各振動子の送信タイミングを電子的に制御することで超音波の波の位相を制御し、超音波ビームを任意に集束、偏向させることが可能な探傷法である。図-1にアレイ探触子による探傷イメージを示す。

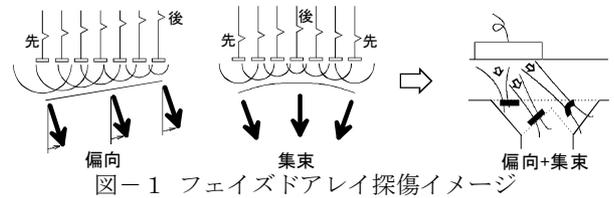


図-1 フェイズドアレイ探傷イメージ

隅角部の角部など複雑に溶接線が交差する箇所は、溶接部に発生するきずの形状、寸法、種類、位置などが、さまざまである。このため、きずの検出には複数の入射角が任意に選択でき、任意の深さへ集束が可能であるフェイズドアレイ法が有効であると考えられる。図-2に傾きの異なる放電加工スリットおよび深さ位置の異なるドリル横孔に対して、入射角および集束深さ位置を変化させ探傷した例を示す。

通常のMUT（一探触子パルス反射）で使用する探触子は、探触子毎に、入射角度（屈折角）、集束深さが固定であるため、反射面の傾きや深さ位置などが、探触子の条件と合致しなければ検出が困難である。それに対してフェイズドアレイ法では、電子制御により、複数の角度での入射、集束深さ位置の変化が可能であるため、MUTと比較して検出率が向上すると考えられる。ただし、集束時のビーム幅や深さ範囲、角度による感度差などを考慮し、入射角度、集束深さピッチなどを設定しなければ、きず検出の条件に合致した超音波ビームが入射されず、きずを見逃す恐れがある。

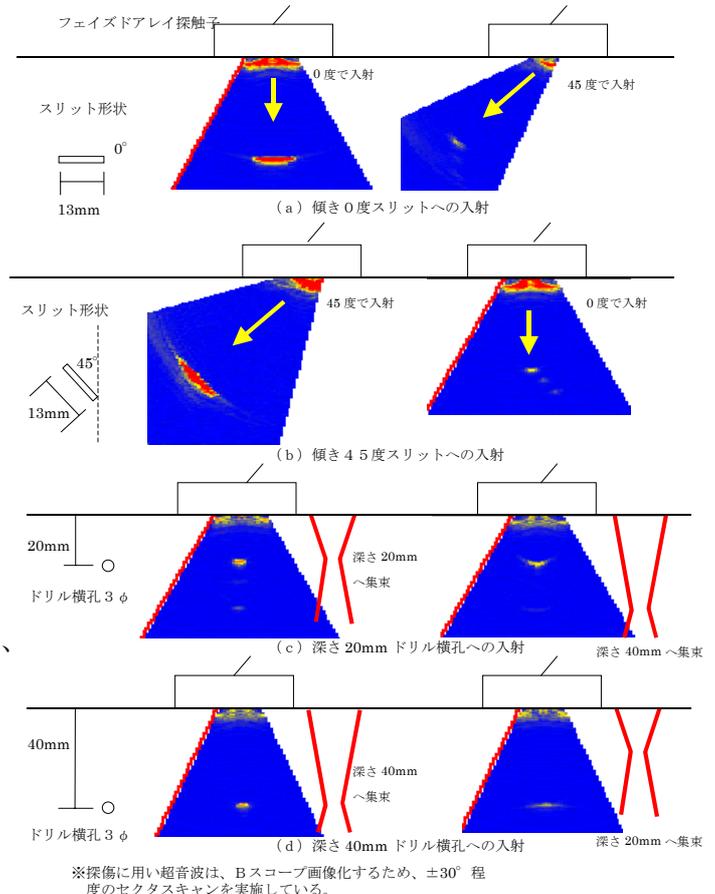


図-2 スリットおよびドリル孔の反射エコー

キーワード：鋼製橋脚、非破壊検査、超音波探傷、フェイズドアレイ法

構造物研究グループ（橋梁構造チーム）茨城県つくば市南原1番地6 TEL029-879-6793 FAX029-879-6739

4. 試験体形状および探傷条件

探傷を実施した試験体は、隅角部の完全溶け込み溶接時の補修溶接部に溶接きずが発生した場合を想定し、補修溶接部に意図的に溶接きずを内在させた試験体を用いた。試験体の探傷は探傷機器メーカーのデモ用機器（探触子、探傷機器とも）を用い、ウェブ外面からフェイズドアレイ探触子によるY方向走査（電子制御によるリニアスキャン+セクタスキャン）および探触子の機械的なX方向走査により探傷を行った。図-3に試験体形状および開先形状、表-1に探傷条件を示す。

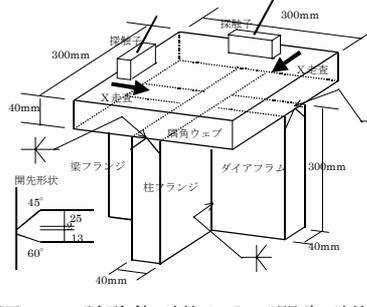


表-1 探傷条件

探傷機器	利用最大素子数	64素子
	同時制御素子数	32素子
	周波数帯域	0.5~15MHz
	繰り返し周波数	最大20kHz
	周波数	5MHz
探触子	素子数	128素子（探傷時は64素子使用）
	素子配列ピッチ	0.75mm
	素子幅	10mm
ビーム制御	リニアスキャン	集束深さ範囲：15mm ~35mm
	セクタスキャン	集束深さピッチ：5mm 偏向角度範囲：±40° 偏向角度ピッチ：1°

図-3 試験体形状および開先形状

探傷時の電子制御は、探触子のY方向走査を行わずに、超音波ビームを集束させた広い探傷範囲を確保するため、リニアスキャンとセクタスキャンを組み合わせた制御を、集束深さ位置を変化させて繰り返すこととした。また探傷に使用した振動素子は、溶接部をカバーできる範囲とするため128素子中64素子とした。図-4に電子制御による探傷範囲イメージ図を示す。

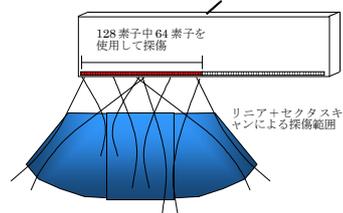


図-4 電子制御による探傷範囲イメージ

電子制御の要領は、まず32素子を同時励振し集束させ、リニアスキャン（同時の励振可能な32素子でパルス発生後に、同時駆動素子群を1素子、Y方向へずらしパルスを発生させる。これを64素子まで順次繰り返すことにより、一定の深さに集束させた連続的な探傷が可能となる。）を行い、リニアスキャン後に集束深さ位置を変更（5mmピッチ）し、再びリニアスキャンを繰り返すことで、利用した振動子直下の範囲を探傷した。次に探触子幅より外側の部分は、32素子同時励振させ、セクタスキャン（同時励振32素子の素子間の時間差を変化させることにより、超音波の位相が制御され入探傷角を偏向することが可能となる。）により探触子の外側へ探傷角0°~40°偏向（1°ピッチ）させることにより探傷を行った。図-5に電子制御イメージ図を示す。

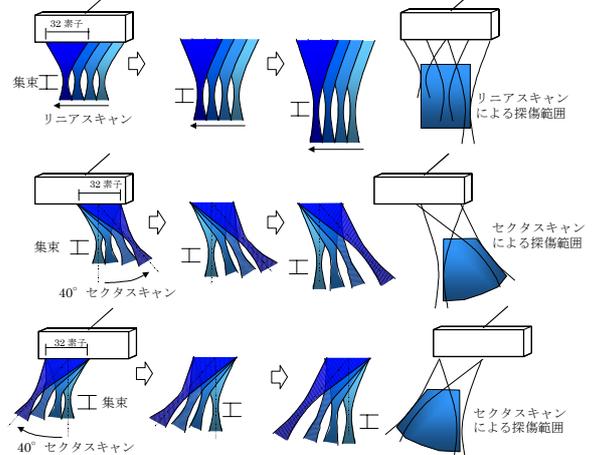
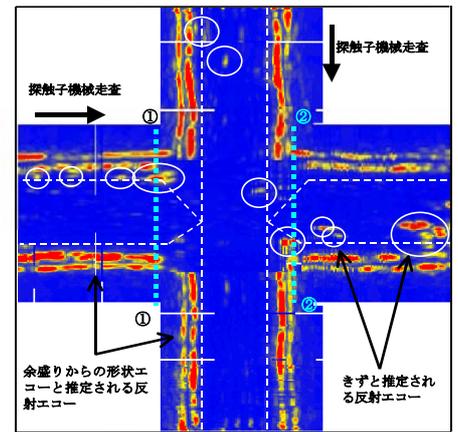


図-5 電子制御要領のイメージ図

図-6に探傷結果として、Cスコープ画像、Bスコープ画像を示す（Bスコープは代表的な位置）。各種スコープ画像では、反射エコーを受信した箇所は、赤色に着色され、反射エコーを受信されない箇所は、青色に着色し表示されている。探傷結果から、Cスコープ内に丸印をつけた箇所については、きずエコーの可能性があり、開先位置から離れたエコーについては余盛りからの形状エコーと推定される。今後、試験体の破壊試験を実施し、内在きずの確認を行い探傷データの検証を行う予定である。



(a) Cスコープ画像

5. 探傷結果

最後に、探傷に使用した試験体の製作については（株）東京鐵骨橋梁、探傷機器については日本クラウトクレマー（株）にご協力頂いたので、ここに感謝する次第である。

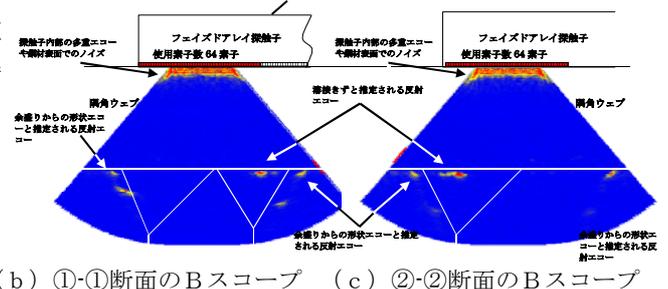


図-6 探傷結果