

ピッチキャッチアレイ探触子を用いた高精度超音波探傷

東京工業大学 学生員 ○高橋和也

東京工業大学 正員 Rattanasuwannachart Narongsak

東京工業大学 フェロー 三木千壽

1. はじめに

近年、鋼構造物の溶接継手部において多数の疲労き裂が発生し問題となっている¹⁾。特に鋼製ラーメン橋脚隅角部では、内部欠陥を起点とするき裂が多数発生し、火急の対応が求められている。このような疲労問題に対し効率的な対策を行うためには、内部欠陥の存在・位置・寸法・形状を正確に、かつ非破壊的に検知する必要がある。しかしながら、現在非破壊試験の主流となっている超音波試験の精度は十分ではない²⁾。そこで本研究では、効率的な配置のアレイ探触子の設計及び客観性のある画像化を含め、垂直探傷による高精度超音波探傷システムを開発する。

2. ピッチキャッチアレイ探触子

ここでは 16 個の垂直探触子を四行四列の二次元的に配置したピッチキャッチアレイ探触子を提案する(図 1)。ピッチキャッチアレイ探触子は、「走査無しで 16×16 個すなわち 256 個の探傷波形を取得」「探触子の二次元配置により、三次元的に反射したエコーを受信可能」「走査の省略による、探触子位置の誤差、及び触媒の厚さおよび接触圧の変化による誤差を低減」という特徴を持つ。

始めにこのピッチキャッチアレイ探触子の各構成探触子の波形が一致していることを確認した。さらに欠陥像の再構成に必要な送信ビームの指向角を測定するに当たり、図 2 に示す実験法を新たに考案した。この方法では、ハイドロフォンを水中で自動走査することにより、接触状況、探触子位置による誤差を含まない測定が可能である。この方法により、図 3 のように滑



図 1. ピッチキャッチアレイ探触子

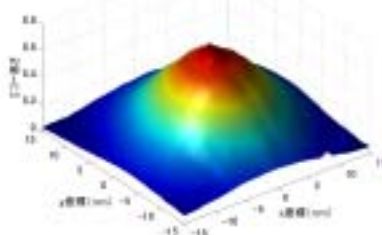
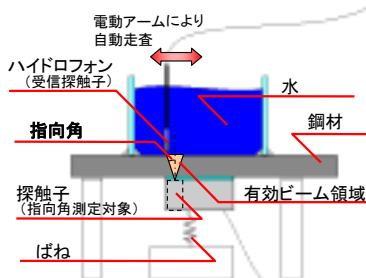


図 2. 送信ビーム指向角の測定法 図 3. 測定されたエコー高さ

らかなエコー高さの分布が測定され、6dB ドロップ法により指向角を 18.5° と算出した。

3. ピッチキャッチアレイ探触子を用いた新超音波探傷システム

設計したシステムの概要を図 4 に示す。探傷機はアイ・エル・エス社の MIX16 を使用した。これにより探触子の送受信を高速で切り替え、256 通りの探傷を数秒で行うことを可能となり、ピッチキャッチアレイ探触子の特徴が最大限に生かされる。その後、取得したデータに対し、開口合成の手法を導入した三次元の再構成を行う。

開口合成は、反射源からのエコー高さを伝播時間と探触子位置を考慮しながら重ね合わせることで欠陥画像を再構築する手法である。今回のアルゴリズムでは、しきい値以上のエコーのみを有効とし、有効ビーム領域内(図 2 参照)のみにその値を与えることにより精度を向上させた。データ処理ソフトウェアは MATLAB6.0 を使い、再構成した結果の画像化にも、MATLAB のグラフィック機能を用いた。

4. 基礎試験体実験

システム動作の確認、及びシステムの欠陥探傷能力の照査を目的とし、STB-A1 標準試験体の端面の再構成、人工欠陥として鋼材内に導入した横穴の再構成、半径 100mm の半球形状の試験体の端面の再構成の三種類の実験を行った。探傷は全て上述のシステムに従い、探触子を固定した状態で行った。

STB-A1 標準試験体は板厚 25mm の無欠陥鋼板であり、その端面より反射したエコーを取得し、再構成することにより、システムが正しく機能していることが確認できた。横穴の探傷(図 5)においては、単一穴の真上にて、探触子を回転させてところ、任意の方向に

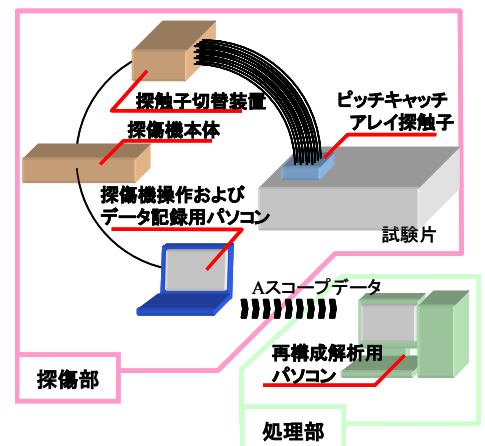


図 4. 開発したシステムの概要

キーワード : 超音波探傷, ピッチキャッチ, 開口合成, 隅角部

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑ヶ丘 5 号館 3 階 TEL 03-5734-2596

向く単一穴に対し概ねの位置，方向を識別できた．さらに連続する横穴の上において探傷および再構成を行った．連続穴の探傷では，各々の横穴を識別するには至らなかった．このことから，構成探触子数の不足，構成探触子間隔の過大という，今回開発したピッチキャッチアレイ探触子の問題点が明らかとなった．

図6に示す半球試験体に対し，端面の再構成を行った結果を図7・図8に示す．図7は半球中央における探傷の結果を，しきい値以上のエコーレベルの位置に色を与えたもの（以下 Isosurface）である．図7に代表されるように，この実験において半球の曲面が正確に再構成された．また図8は半球内のある断面において一列の探触子を用いた場合の二次元 SAFT の結果と 16 個の探触子を使った三次元 SAFT の結果の比較であり，三次元の場合のみ端面を再構成できていることがわかる．このように，任意の方向に傾きを持つ面からの反射エコーを取得することは，一探触子法およびリニアアレイでは困難である．その半球端面を再構成の達成，及び上述の任意の方向に導入した横穴の再構成の達成は，三次元的に反射するエコーに対する，本システムの優れた受信性能を示すものである．

5. 鋼製橋脚隅角部への適用

最後に，ウェブ外当てタイプ¹⁾の鋼製橋脚隅角部を模擬した試験体(図9)において，ウェブ面からの未溶着部評価を試み，システムの実用性を検討する．この実験では先述の探触子の問題点に配慮し，探触子間隔及び探触子数を補うために，1mm ピッチで二次元的に走査を行った．

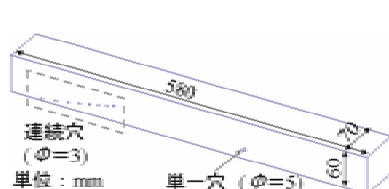


図5. 横穴試験体

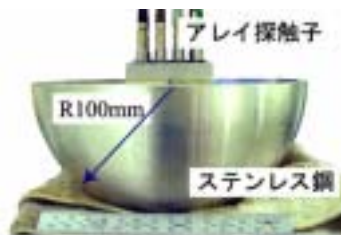


図6. 半球試験体

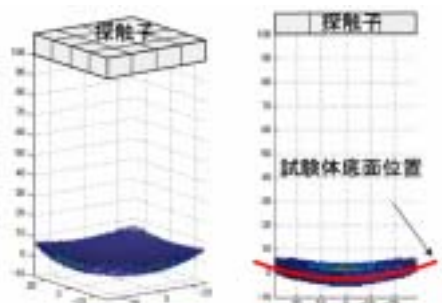


図7. 半球端面の再構成画像

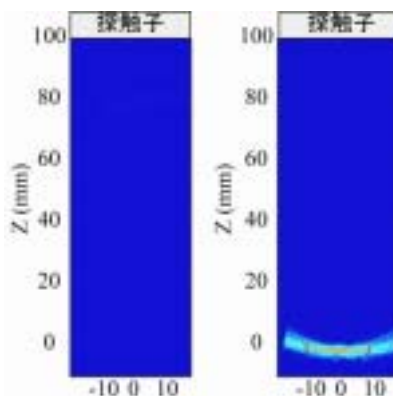


図8. 二次元と三次元の SAFT の比較

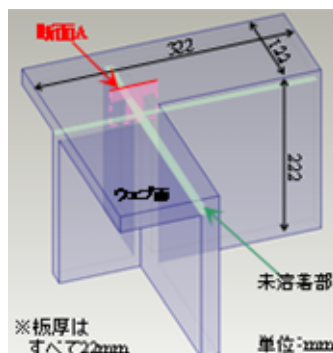


図9. 隅角部模擬試験

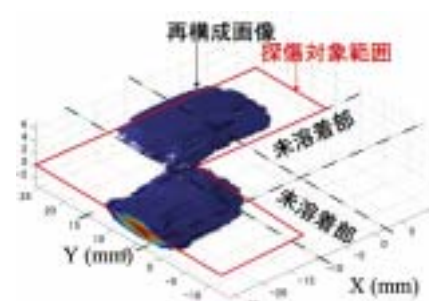


図10. 隅角部の未溶着部
三次元再構成画像

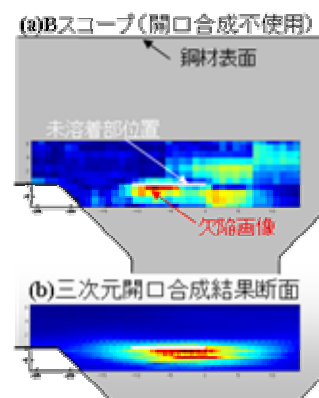


図11. 隅角部の未溶着部
再構成結果(断面 A)

再構成結果として，まず Isosurface を図10に示す．この図から未溶着部を再構成できたことがわかる．次に図9中の断面Aにおける欠陥像を図11に示す．図11(a)はビームを線と仮定したBスコープ，図11(b)は三次元開口合成による再構成結果の断面である．図11(a)では未溶着部が明確に判別できないのに対し，図11(b)では未溶着部を検出することに成功している．両結果の比較より，三次元開口合成が隅角部の未溶着部評価に有効であることが示された．

6. まとめ

本研究では，ピッチキャッチアレイ探触子及び三次元垂直開口合成を導入した超音波探傷システムを開発し，その有効性を示した．更に本システムが三次元的に反射するエコーに対し優れた受信性能を有し，鋼製橋脚隅角部の未溶着部の評価にも適用し得ることを明らかにした．今後，ピッチキャッチアレイ探触子の構成探触子間隔，探触子数について改善を行うことにより，実欠陥に対する正確かつ迅速な超音波垂直探傷が期待できる．

7. 参考文献

- 1) 三木千壽，市川篤司，坂本拓也，田辺篤史，時田英夫，下里哲弘：鋼製箱桁断面ラーメン橋脚隅角部の疲労特性，土木学会論文集，No.710/I-60，pp.361-371，2002.7.
- 2) 白旗弘実，三木千壽：超音波非破壊試験による面状欠陥検出精度向上の試み，東工大土木工学科研究報告，No.59，1999.