# 低周波アレイ探触子による非均質材料内部の空隙の超音波画像化

## 1. はじめに

コンクリート等の非均質材料中では,介在物による 多重散乱の影響で,超音波の減衰が顕著となる.従っ て,非均質材料に対して探傷を行うには,より高い 電圧で素子を駆動したり,連続波を送信してSNを向 上させる必要がある.金属部材ではアレイ探触子が 積極的に導入されているものの,これまで,電子ス キャン装置のハードウェアの問題で,非均質材料に対 する超音波アレイ探傷は行われていない.

著者らは,超音波アレイ探触子を用いた内部欠陥 のイメージング手法として全波形サンプリング処理 (FSAP)方式<sup>1)</sup>による画像化を提案している.FSAP 方式ではコンピュータ上で波形を重ね合わせるため, 単純な素子切り替え機能付きの探傷器でアレイ探触 子を制御できる.そこで,本研究では,低周波数域の アレイ探触子を設計し,これを FSAP 方式に組み込 むことで非均質材料中の欠陥画像化を試みた.本研 究では,非均質材料として骨材率の異なるモルタル 供試体を作成し,供試体中に設けた人工欠陥(空隙) の画像化を行う.FSAP方式による画像化の精度に最 も寄与するパラメータは音速である.ここでは,画 像化の前に,骨材率の変化に伴う音速の変化につい でイメージベース動弾性有限積分法<sup>2)</sup>(EFIT)を用い て数値解析的に考察を行う.その後,人工欠陥の画像 化結果を示す.

### 2. FSAP 方式による画像化原理

一般的な電子スキャン装置では励振タイミングを 制御する内部回路によって集束ビームを作っている が,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.FSAP方式による超音波の送受 信概要を図-1に示す.素子番号1で送信した超音波 は欠陥で散乱し,そのエコーは1から4番の各素子 で受信される.このとき,4つのエコー( $M_{11}$ , $M_{12}$ ,  $M_{13}$ , $M_{14}$ )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 $N^2$ パターンとなる.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,画像化した い領域の1画素にビームが集束するように波形を合 愛媛大学大学院 学生員 矢野智之 , 川村 郡 愛媛大学大学院 正会員 中畑和之 , 岡崎慎一郎

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 R をプロットすることで,欠陥像の再構成を行う.

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, 欠陥エコーから抽出した散乱振幅<sup>3)</sup>を欠陥 の画像化に利用する.空洞欠陥からの散乱波の場合, 散乱振幅は理論的には負方向の矩形状のパルス波形 となる.これを用いれば高分解能を有する画像化が 期待できる.ここでは,参照波を用いて欠陥エコー から散乱振幅を抽出している.



図-1 FSAP 方式によって計4素子で送受信した場合の 波形記憶マトリクスに保存される波形パターン

## 3. 超音波伝搬速度に関する検討

欠陥画像化の前に,イメージベース EFIT<sup>2)</sup>を用い た数値解析によって,介在物の体積率(骨材率)が変 化した場合の供試体中の音速の変化について検討を 行う.幅50mm,高さ200mmで,骨材率が異なる3 つのモルタル供試体の数値モデルを考える.ここで は,モルタル中に空隙が無く,骨材のみが分布してい ると仮定する.数値モデルの骨材の粒度分布は実験 の供試体と同じように設定し, 乱数発生プログラム を用いて粒度分布に準じて骨材をランダムに分布さ せた.本解析では,セメントペーストの縦波音速は 3711m/s, 横波音速は 2143m/s, 密度は 1989kg/m<sup>3</sup> とした.実験で用いた骨材の音速を計測するため,骨 材を1辺が1cmの立方体に加工し,小型の超音波探 触子を用いて計測した.その結果,骨材の縦波音速は 5450m/s, 横波音速は 3147m/s となった. また, 密 度は 2478kg/m<sup>3</sup> である. EFIT のパラメータとして, セル長  $\Delta x=0.05$ mm,時間間隔  $\Delta t=0.005 \mu s$  とした. このときの超音波伝搬速度の計算結果を図-2の赤印 で示す.図-2からわかるように骨材率が大きくなる

キーワード:非破壊検査,超音波,低周波アレイ探触子,欠陥再構成,全波形サンプリング処理(FSAP)方式

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



図-2 超音波伝搬速度の計測結果と解析結果の比較

と音速は上昇することがわかる.図-2には,比較の ために計測実験で得られた音速を青印で示す.以上 より,計測による音速と数値解析モデルから算出した 音速は良好に一致することがわかる.非均質材料中 の音速は,介在物とその体積率が支配的なパラメー タであり,数値解析によって精度良く推定できる.

 低周波アレイ探触子を用いた非均質材料内 部の画像化

図-3 に示すような骨材率が異なる4つのモルタ ル中の空洞欠陥の画像化を行う.図-2より,それぞ れの縦波音速は3711m/s(供試体A),3841m/s(供試 体B),3946m/s(供試体C),4015m/s(供試体D)であ る.供試体中に作成した空洞欠陥の直径は,それぞ れ19.4mm,19.2mm,19.4mm,19.2mmであり,空 洞欠陥を中心とした100mm×100mmの範囲を画像化 の対象とした.使用したアレイ探触子は24個の振動 素子が配列されており,素子幅は4.9mm,中心周波





図-4 モルタル供試体中の空洞欠陥の画像化結果

数は400kHzである.ここでは,欠陥が無い位置で計 測した供試体の底面エコーを参照波として用い,散 乱振幅を抽出している.アレイ探触子を供試体の上 部に設置して超音波の送受信を行い,画像化を実行 した結果を図-4に示す.骨材率が増加するとエコー のS/N比は低下するものの,30%の骨材率を有する 供試体でも,良好に欠陥画像化ができた.

#### 5. 結論

本研究では,低周波アレイ探触子を用いて,FSAP 方式による非均質材料中の空洞欠陥の画像化を試み た.ここでは,画像化の前に,イメージベースEFIT を用いて数値解析的に音速の検討を行った.音速が 定量的に評価できたので,これを元にモルタル中の 空洞欠陥に対して画像化を試みた結果,骨材率が増 加するとエコーのS/N比は低下するものの,良好に 欠陥形状の推定ができることを示した.今後はコン クリート材料について本手法を適用したいと考える. その場合,多重散乱や減衰がキーワードになると想 定されるが,波動伝搬解析との比較を含めて,詳細 な検討を行っていきたい.

参考文献

- 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) 中畑和之,木本和志,廣瀬壮一:動弾性有限積分法を用いた波動伝搬解析のためのイメージベースモデリング, 計算数理工学論文集, Vol.7, No.2, pp.267-272, 2008.
- Schmerr, L.W.: Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation, Plenum Press, New York, 1998.