愛媛大学大学院	学生員	矢野智之
愛媛大学大学院	学生員	川村 郡
愛媛大学大学院	正員	中畑和之

1. はじめに

コンクリート等の非均質材料では,介在物による 多重散乱の影響で,波動減衰が顕著となる.従って, 超音波探傷のためには,高電圧で素子を駆動したり, バ-スト波を送信したりする必要がある.金属部材の 非破壊検査で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,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 FSAP 方式による画像化を提案し ている¹⁾. FSAP 方式ではコンピュータ上で波形を重 ね合わせるため,一般的な電子スキャン装置に搭載さ れているような遅延回路を必要とせず,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てイメージベース動弾性有限積 分法²⁾(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遅延を制御する内部 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,映像化したい領域の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³⁾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

3. 超音波伝搬速度に関する検討

イメージベース EFIT²⁾を用いた数値解析による音 速の検討を行う.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/m³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/m³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, ステップ数は 14000 とした.

骨材率の異なる3つのモルタル供試体の超音波伝 搬速度の計算結果を図-2に示す.また,比較のため に計測実験で得られた音速も示す.図-2に示すよう に,計測による音速と数値解析モデルから算出した音 速は良好に一致した.非均質材料中の波動場を模擬で きたので,この知見を活かして,次節では非均質材料 中の人工欠陥の画像化を行う.



4. 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ている.図-4にアレイ 探触子を供試体の上部に設置して超音波の送受信を行 い画像化実行した結果を示す.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 方式による骨材率が異なるモルタル中の空洞欠陥の 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超音波を送受信した結果, 骨材率が増加するとエコーの S/N 比は低下するもの の,良好に欠陥画像化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.



図-4 モルタル供試体中の空洞欠陥の画像化結果

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.