

ピッチキャッチ探傷に基づくコンクリート内在欠陥の検出

福井大学 学生会員 ○角田 貴也
 福井大学 正会員 鈴木 啓悟
 群馬大学 正会員 斎藤 隆泰

1. はじめに

社会基盤構造物は長期間の供用においてその機能を健全に保持することが求められる。そのためには機能健全性を的確に定量的に客観性を有するデータを用いて評価する必要がある。本研究では非破壊試験の一つである超音波探傷試験を適用しコンクリートに内在する欠陥を可視的に把握するための手法を検討する。特に四角形状の角部からのエコー抽出に留意し、形状の再構成の高精度化を検討した。

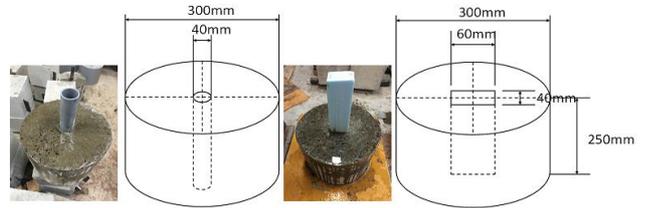


図1 試験体概要

2. 超音波探傷試験

(a) 使用機器

パルスレーザはジャパンプローブ株式会社製の JPR-600C, 探触子は同社製の表面 SH 波 500kHz 探触子を用いた。

(b) 試験体

本研究で使用した試験体の概要を図1に示す。試験体 A は円柱状のコンクリート(表1)の中央部に空洞直径 40mm の塩化ビニル管を挿入し円形空洞欠陥を再現した。試験体 B は同じく円柱状のコンクリートに長辺 60mm, 短辺 40mm の長方形型のスタイロフォームを挿入し、四角形空洞欠陥を再現した。四角形状からは反射波を得ることが真正面からの入射を除いて難しいため、円形状より画像化が困難であると予想される。

(c) 探傷方法

本研究では図2に示す方法で超音波を計測した。表面 SH 波探触子を使用するため、試験体上面に探触子を設置し、超音波を送受信した。不感帯の影響を除去するためピッチキャッチ法を用い、探触子2つの間を一定の角度に保ったまま、0° から 350° までの 36 点分計測した。

表1 コンクリート配合表

配合表(kg/m ³)										
セメント	混和材	水	細骨材①	細骨材②	細骨材③	粗骨材①	粗骨材②	粗骨材③	混和剤①	混和剤②
336	—	168	528	352	—	906	—	—	2.35	—
水セメント比		50.00%	水結合材比		—		細骨材比		49.70%	
空気量		4.50%		—		—		スラッジ固形分率		—

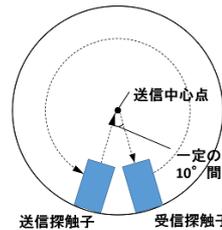


図2 計測方法

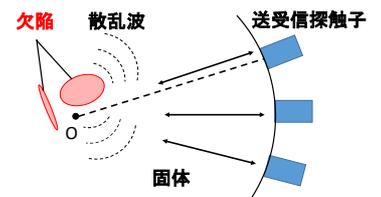


図3 線形化逆散乱解析法

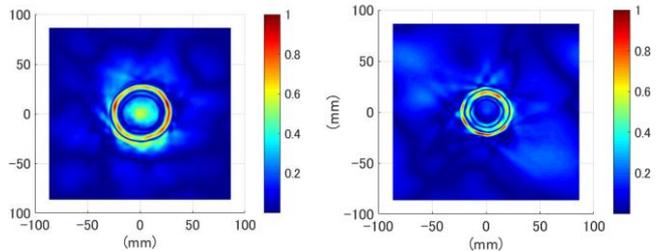


図4 逆散乱解析法による画像化結果

3. 線形化逆散乱解析法

超音波探傷試験によって得られた波形を用いた欠陥形状の再構成手法に線形化逆散乱解析法がある。線形化逆散乱解析法は散乱波の積分表現をもとに計測散乱波形から逆に欠陥の形状や物性を再構成するための手法である¹⁻⁴⁾(図3)。図2に示す送信、受信探触子が図3に示す送受信探触子の役割を持つ。欠陥形状を表すボルン逆散乱解析の再構成式を以下に示す。

$$\Gamma(x) = -\frac{2}{\pi^2 u_0} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{i}{k_\alpha} A^\alpha(k_\alpha, \hat{y}) e^{2ik_\alpha \hat{y} \cdot x} dk_\alpha d\hat{y}$$

4. 逆散乱解析による画像処理

試験体 A, 試験体 B から取得した欠陥からの散乱波

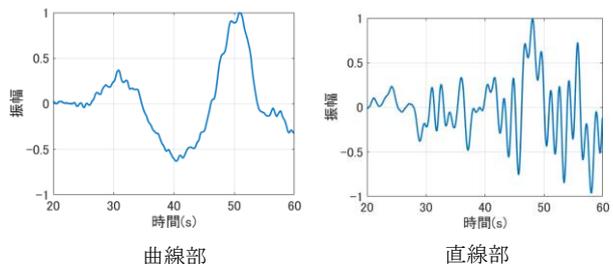


図5 各欠陥形状の基準波形

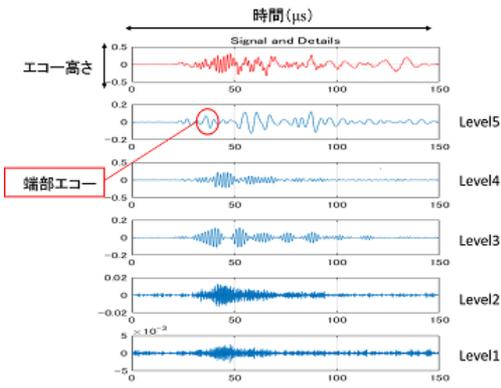


図6 ウェーブレット解析による端部エコーの抽出

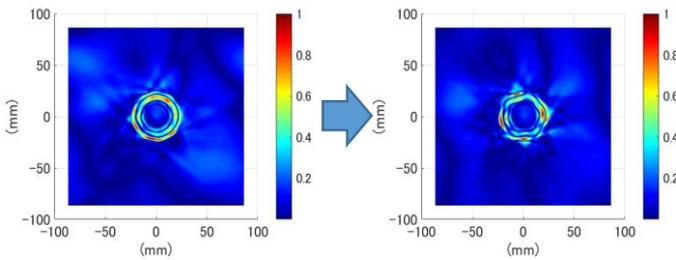


図7 試験体Bの角部抽出後の画像

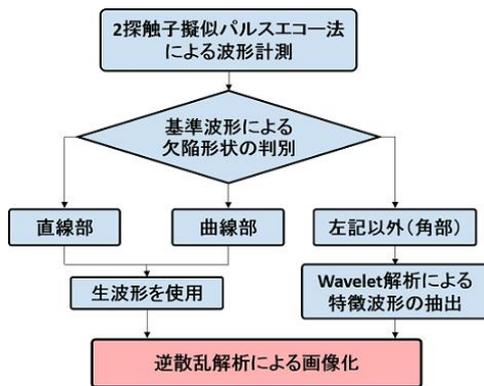


図8 逆散乱解析による画像化までの流れ

に逆散乱解析法を適用し、画像化した結果を図4に示す。画像処理にはMATLABを用いた。画像化の際に探触子中心周波数の2倍となる周波数を最大とした周波数帯をK空間から抽出した。試験体Aでは円形空洞の大きさ、形状ともに良好に再現することが可能であった。一方で試験体Bでは四角形の角部が再現されず、円形の画像となった。

4-1. ウェーブレット解析による端部エコーの抽出

超音波探傷で得られた波形にウェーブレット解析を適用した場合、欠陥からの端部エコーはある特定の周波数帯レベルの波形でしか大きく現れないとした報告がある⁵⁾。

超音波探傷によって得られた波形より、四角形角部からの散乱波の判別を試みた。図5に示す空洞直線部と曲線部の基準波形と実計測で得られた波形とをRMS(二条平均平方根)を用いて比較し、この値

が0に近い波形が、基準波形の形状と判定される。試験体Bの場合、直線部、曲線部以外の結果となった波形が四角形の角部からの散乱波であると推定される。この波形に対してウェーブレット解析を適用することで角部からの波形を抽出し、画像化の高精度化を試みる。用いたマザーウェーブレットはbior3.5である。

図6に示すように、ウェーブレット解析によって5段階に波形を分解した時、Level5のDetailに端部エコーと思われる波形が生じた。この波形を四角形の角部の波形として用いた結果を図7に示す。この結果、角部が画像に現れ、四角形状を概ね再現することができた。

4-2. 逆散乱解析による画像化までの流れ

図8に本研究の提案するコンクリート内在欠陥の画像化のプロセスをまとめる。探触子間の角度を一定に保ったピッチキャッチ法(擬似パルスエコー法)によって欠陥からの散乱波形を計測する。得られた波形に対し基準波形による欠陥形状の判別を行い、直線部、曲線部からの散乱波の場合は得られた波形をそのまま逆散乱解析に用いる。判別結果が上記以外の場合には、ウェーブレット解析によって形状の特徴を示す波形を抽出し、得られた波形と置き換えて逆散乱解析を適用する。

5. まとめ

本研究ではコンクリート構造中に内在する空隙に対し、2探触子を用いて散乱波を捕捉し、空隙の画像化について議論した。以下に得られた知見を示す。

- 逆散乱解析による画像化では、円形空洞の大きさ、形状の画像化は比較的良好に行うことが可能であった。
- 四角形空洞の画像化では、角部の波形に対し、ウェーブレット解析によって端部エコーを抽出後、逆散乱解析を適用することで欠陥形状を概ね再現することができた。

参考文献

- 1) 中畑和之, 大西正浩, 北原道弘: 線形化逆散乱解析の高速化と欠陥形状再構成への適用, 応用力学論文集 Vol.5, pp. 67-74, 2002.
- 2) 廣瀬壮一, 鍋野博章, 大友謙: 空洞再構成のための逆散乱解析, 構造工学論文集, Vol. 43A, pp. 453-460, 1997.
- 3) 田代直哉, 斎藤隆泰: 粘弾性材料中の欠陥に対する2次元面外波動の順解析および逆散乱解析, 第40回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-10, 2013.
- 4) 山田真幸, 大西正浩, 北原道弘: 線形化逆散乱解析法による非均質材料内の欠陥形状再構成, 応用力学論文集, Vol. 7, pp. 83-90, 2004.
- 5) 柳下広貴, 三木千壽, 鈴木啓悟: 溶接の未溶接部における端部エコーとコーナーエコーの識別, 土木学会第64回年次学術講演会概要集, I-421, 2009.