

コンクリート内鉄筋からの散乱波抽出と鉄筋界面の可視化

福井大学 学生会員 ○角田 貴也  
 福井大学 正会員 鈴木 啓悟

1. はじめに

橋梁 RC 床版のコンクリート内部鉄筋において腐食減肉が生じた場合、鉄筋とコンクリートの間には酸化鉄の層が生成される。このため、鋼コンクリート界面の境界条件が健全時と異なると考えられる。そこで本研究では境界面での音響インピーダンスの差に着目し、超音波探傷により、コンクリート付着状態を可視的に判定する手法を検討した。

超音波探傷により得られた散乱波に対して、独自のマザーウェーブレットを用いた寄生的離散ウェーブレット変換を適用し欠陥情報を含む周波数帯を抽出後、キルヒホフ近似に基づく逆散乱解析を適用することで、コンクリート付着部を剥離部の差別化を図る。

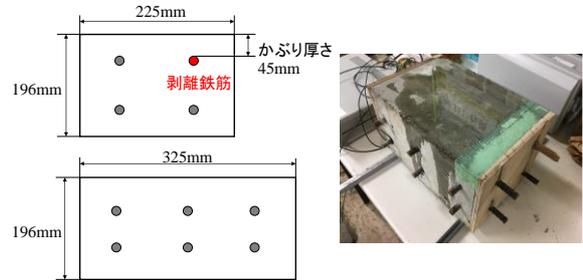


図-1 試験体概要  
 表-1 コンクリート配合表

セメント	水和剤		水	配合表(kg/m <sup>3</sup> )									
	①	②		細骨材			粗骨材			水和剤			
				①	②	③	①	②	③	①	②	③	
336	—	—	168	530	—	353	906	—	—	2.35	—	—	
水セメント比	—		50%	水結合材比			—			細骨材比			49.70%
空気量	4.50%		—	細骨材混合比①:③=60:40						—			AL=1.7kg/m <sup>3</sup>

2. 超音波探傷実験

2.1. 試験体

本研究で使用した試験体の概要を図-1 に示す。W225×D325×H196 の直方体のコンクリート(表-1)にかぶり厚さ 45mm で D13 鉄筋を挿入し、鉄筋にラップフィルムを巻き付け剥離状態を再現した。粗骨材最大寸法は 13mm である。

2.2. 探傷方法

本研究では中心周波数 200kHz の縦波励起用広帯域垂直探触子を用い、図-2 に示す二探触子法で探傷実験を行った。探触子を試験体上面に設置し、2つの探触子間の距離を 80mm に保ち、x 方向に 5mm 間隔で探傷する。パルスエコー法では低周波の超音波を用いる場合、不感帯の影響範囲が広くなり探触子近傍の探傷ができないため、本研究ではピッチキャッチ法とした。

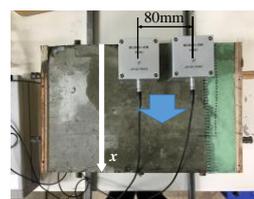


図-2 計測方法

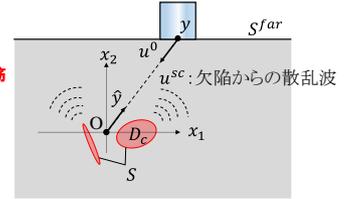


図-3 逆散乱解析の問題設定

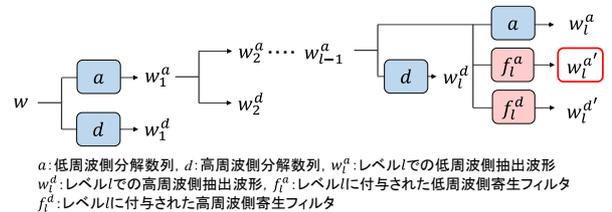


図-4 寄生的離散ウェーブレット変換の分解フロー

3. 線形化逆散乱解析

線形化逆散乱解析は探傷により得られた散乱波形の周波数領域情報と、探触子の位置情報を組み合わせることにより欠陥部分を他部分と差別化する手法であり、これまでに定式化、高速処理法が提案されている<sup>1-3)</sup>(図-3)。本研究では欠陥境界部分の検出に有効な、キルヒホフ近似に基づく逆散乱解析に着目し、鉄筋剥離の判定方法を検討する。

以下にキルヒホフ逆散乱解析の欠陥形状再構成式を示す。

$$Y(x) = \frac{-1}{\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{2}{u^0 k_L} A(k_L, \hat{y}) e^{2ik_L \hat{y} \cdot x} k_L dk_L d\hat{y} \quad (1)$$

4. 寄生的離散ウェーブレット変換による波形処理

実波形を用いて構成された実信号マザーウェーブレット(RMW)を離散ウェーブレット変換(DWT)に適用することで鉄筋剥離部、付着部それぞれの特徴成分の抽出が可能であると考えられる。

DWT に適用するマザーウェーブレットは信号再構成を保証する(双)直交条件を満たす必要があるが、RNW はこの条件を満たさないため DWT に用いることはできない。

寄生的離散ウェーブレット変換(寄生的 DWT)は、RMW の周波数特性を持つ DWT に対応した寄生フィルタを既存のマザーウェーブレット(BMW)を基に近似的に作成し、従来の DWT の分解フローに付加する手法である

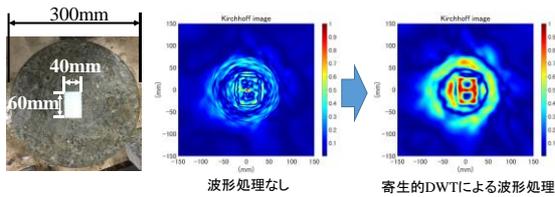


図-5 寄生的 DWT の適用例

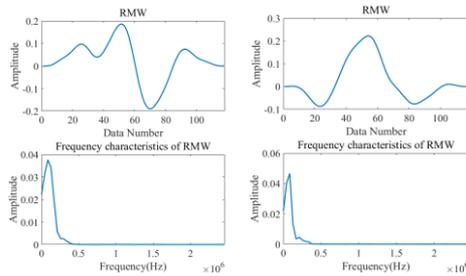


図-6 散乱波から構成した RMW

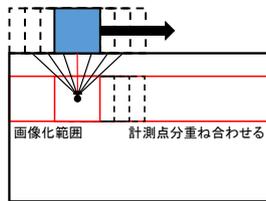


図-7 画像化方法

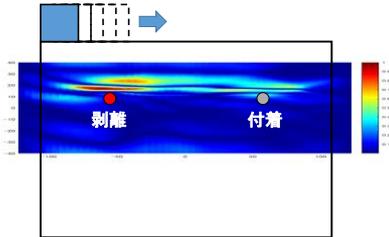


図-8 鉄筋剥離部分 RMW フィルタ適用

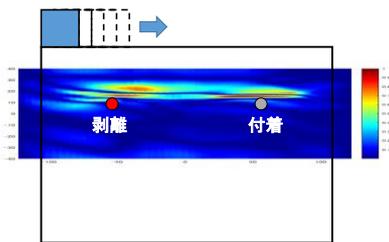


図-9 鉄筋付着部分 RMW フィルタ適用

4) (図-4)。実波形を用いるため、従来のバンドパスフィルタ、DWT に比べて高度な周波数特徴成分の抽出が可能である。

4.1. 寄生的 DWT の適用例

図-5 に寄生的 DWT による波形処理を施した波形を用いたキルヒホフ逆散乱解析の画像化結果の一例を示す。円柱状のコンクリートに40mm×60mmのスタイロフォームを挿入し空洞を再現した試験体を用いた。欠陥を取り囲むように10°間隔で360°分計測した。計測された欠陥からの散乱波を抽出し RMW を構成した。この RMW に対応す

るフィルタを作成する。用いた BMW は Daubechies5 である。

作成した低周波数側フィルタを DWT の分解レベル5 に付加しフィルタリングを行った後、キルヒホフ逆散乱解析を適用した。この結果、フィルタリングを施していないキルヒホフ逆散乱解析の結果に比べ角部を含め鮮明な画像化が可能となった。

4.2. 鉄筋剥離試験体への適用

図-6 は 2.1 節で示した試験体より得られた鉄筋剥離部と付着部付近の波形からそれぞれ構成した RMW である。この RMW に対応する低周波側フィルタを作成した。BMW は Daubechies5 を用い、分解レベル5 に作成したフィルタを付加し、フィルタリングを行った後、キルヒホフ逆散乱解析を適用した。逆散乱解析には計測位置の探触子を中心に隣り合う3つの探触子から得られた波形を用い、計測点毎に得られた画像を重ね合わせ全体像を得た(図-7)。解析には400kHz までの周波数データを用いた。

鉄筋剥離部からの波形より作成したフィルタを適用した結果を図-8 に示す。この結果、鉄筋剥離部が強調され付着部との判別が可能であった。

鉄筋付着部からの波形より作成したフィルタを適用した結果を図-9 に示す。この結果、鉄筋付着部分が強調される画像化となった。また、剥離鉄筋部分でも付着部分と比較して値は小さいが画像化がなされた。これは、若干の超音波がラップフィルムを透過し鉄筋部分で散乱しているためと考えられる。

5. まとめ

本研究ではコンクリート内部の鉄筋に関して、寄生的 DWT による波形処理とキルヒホフ逆散乱解析により、画像ベースの付着状態の判定について議論した。以下に得られた知見を示す。

- 1) 欠陥からの波形を基に作成した低周波側フィルタを付加した寄生的 DWT によって分解を行い、キルヒホフ逆散乱解析を適用することで、鮮明な画像化が可能であった。
- 2) 鉄筋付着部、剥離部それぞれから得られた波形を基に作成したフィルタを適用することで、剥離部分、付着部分の判別が可能であった。

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生への適用, 応用力学論文集 Vol.5, pp.67-74, 2002.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 章忠, 池内宏樹, 斎木典保, 今村孝, 石井秀明, 戸田浩, 三宅哲夫: 寄生的離散ウェーブレット変換およびその異常信号検出への応用, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.75, No.757, pp.163-170, 2009.