

超音波探傷に基づくコンクリート内鉄筋の腐食判別手法の検討

福井大学 学生会員 ○平田 颯
福井大学 正会員 鈴木 啓悟

1. 研究背景と目的

近年、橋梁をはじめとする社会基盤構造物の劣化が問題視されている。またこのような構造物は多くが高度経済成長期に建設されており、今後劣化損傷はますます増加すると考えられる。コンクリート内における鉄筋の腐食は、鉄筋の有効断面積の減少や鉄筋とコンクリートの付着力の減少により構造物の耐荷性能を低下させるだけでなく、鉄筋の腐食による体積膨張によりコンクリート内にひび割れが発生し、鉄筋の腐食が促進され、かぶりコンクリートの浮きや剥落などを引き起こす。本研究はコンクリート内の鉄筋の状態を把握し、腐食発生の有無を判別する手法の構築を目的とする。波形処理に用いる実測ベースフィルタと解析ベースフィルタの比較し、より適切なフィルタの構築を試みる。

2. 線形化逆散乱解析による可視化手法

本研究ではキルヒホフ近似に基づく線形化逆散乱解析を用いて、超音波探傷により得られた波形データの画像化処理を行う。逆散乱解析法は図-1に示すように、多点で計測された散乱波の積分表現を基に計測散乱波形から逆に欠陥の形状を再構成するための解析手法である。以下に欠陥境界部を再構成するキルヒホフ逆散乱解析の再構成式を以下に示す。

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

3. 寄生的離散ウェーブレット変換によるフィルタリング

コンクリート試験体を超音波探傷して得た波形データには空隙や骨材によるノイズが含まれており、欠陥像がノイズに比して不鮮明になることがあるため、欠陥からの散乱波成分を抽出する必要がある。非定常信号の解析に広く用いられている離散ウェーブレット変換(DWT)はマザーウェーブレット(MW)と呼ばれる関数組を用いて対象となる信号を低周波成分(Approximation)と高周波成分(Detail)に分解、再構成することで目的とする周波数帯を抽出できる。

本研究ではこれを応用した寄生的離散ウェーブレット変換(P-DWT)を用いる。P-DWTは実波形に含まれる欠陥からの散乱波をもとに独自のマザーウェーブレット(RMW)を作成する。得られたRMWに対応した周波数領域フィルタ(寄生フィルタ)をベースマザーウェーブレット(BWM)を用いて構成し、従来のDWTの分解フローに任意のレベルで付与することで、より高精度に目的信号を抽出する手法である。

4. 超音波探傷試験

本実験で用いた試験体を図-2に示す。試験体はRC床版内部の鉄筋が腐食した状態を想定したものである。鉄筋は二か月間、1日2回、3%の塩水を塗布し腐食を促進したものを使用し、かぶり厚は45mmとした。鉄筋の減肉量を測定し、平均減肉厚さを計算したところ、0.07mmとなった。

(a) 計測機器

超音波探傷器はジャパンプローブ株式会社製のパルスレシーバ JPR-600C、探触子は同社製の200kHz 広帯域垂直探触子 B0.2K45×45Nを二つ使用した。また、接触媒質としてコンクリート用ソニコートを使用した。

(b) 計測方法

探傷実験は二探触子法にて行った。探触子を試験体上面に設置し、探触子間の距離を80mmに保ったまま5mm間隔で7点探傷した。探触子の設置後に1kgのおもりを載せ、1分後に計測した。探傷試験は、腐食鉄筋と健全鉄筋に対して行い、超音波の利得はどちらも19.0に固定して計測した。

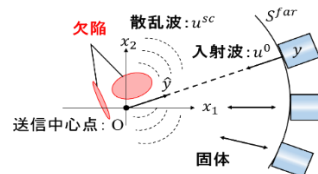


図-1 線形化逆散乱解析の概要

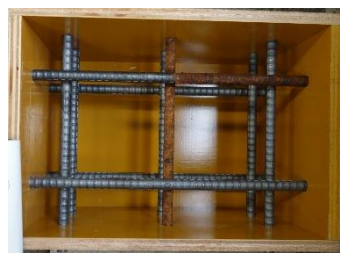


図-2 鉄筋の配筋

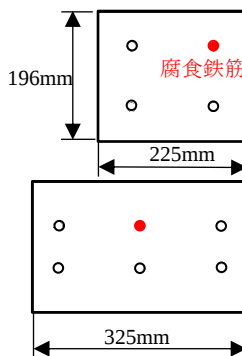


図-3 試験体

キーワード 非破壊検査, 腐食鉄筋, 超音波探傷, 線形化逆散乱解析, 寄生的離散ウェーブレット変換
連絡先 福井大学 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 TEL 0776-27-8596 FAX 0776-27-8746

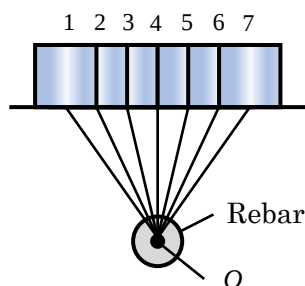


図-4 超音波探傷試験断面図

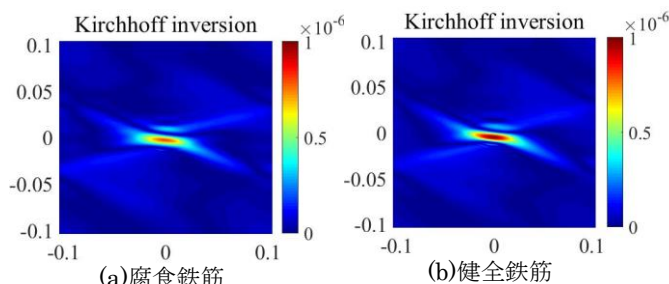


図-5 画像化結果

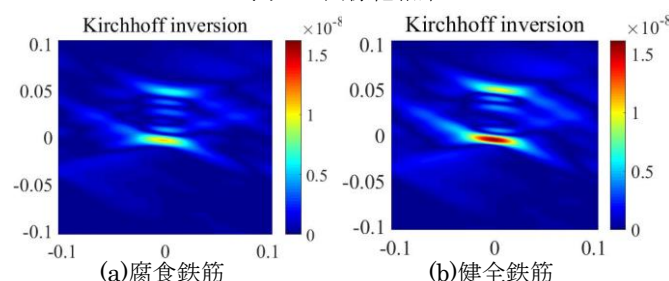


図-6 実波形による健全鉄筋フィルタの適用結果

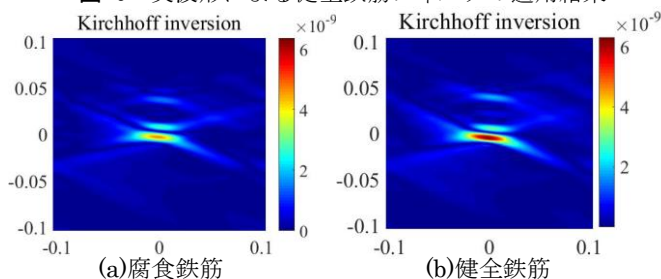


図-7 解析波形による健全鉄筋フィルタの適用結果

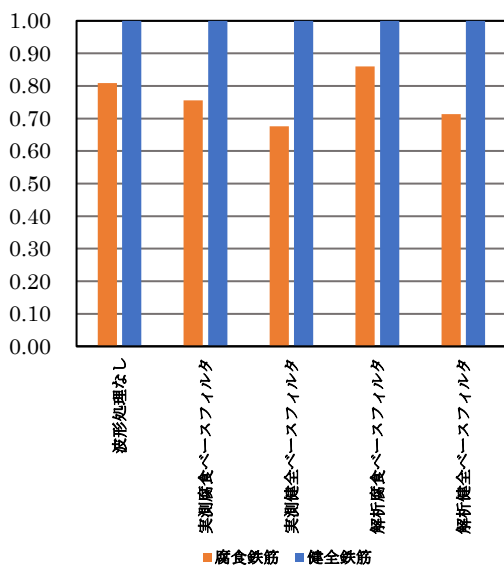


図-8 信号最大値の比

5. 逆散乱解析による画像化結果

腐食鉄筋と健全鉄筋のそれぞれに対して計測した波形にキルヒホフ逆散乱解析を適用し画像化した結果を図-5に示す。画像化結果の形状は腐食鉄筋も健全鉄筋も同じようなものとなった。数値は腐食鉄筋よりも健全鉄筋の方が大きくなった。この原因として、鋼材が腐食することで、密度とヤング係数などの物性が小さくなり、コンクリートの物性に近くなる。このことで酸化鉄とコンクリートの音響インピーダンスの値の差が鉄とコンクリートの音響インピーダンスの値の差に比べ小さくなったと考えられ、腐食鉄筋からの反射波が弱くなっていると考えられる。

6. 寄生フィルタによる画像処理

腐食鉄筋、健全鉄筋の差別化を図るため、寄生フィルタによる画像処理を試みる。腐食鉄筋、健全鉄筋から得られた波形からと、有限要素法による解析によって得られた波形から二種類の寄生フィルタを構成し、DWTの分解レベル4に付与しフィルタリングを施した後、再度キルヒホフ逆散乱解析による画像化を行った。ベースとなる既存のMWはAICを用いて最良のものを選定した。

適用した結果の一部を図-6、図-7に示す。健全鉄筋に比べて、腐食鉄筋は信号強度が小さいことがわかる。図-8に健全鉄筋の信号最大値を1とした時の腐食鉄筋の比を示す。

7. 結論

あらかじめ腐食させておいた鉄筋を用いて試験体を作成し、二探触子法による超音波探傷を行い、得られた波形データに対し線形化逆散乱解析を適用して画像化し、腐食鉄筋と健全鉄筋の判別を試みた。また、実測波形と解析波形より寄生フィルタを作成しフィルタリングを施して画像化し、同様に判別ができるかを試みた。

この結果、超音波探傷によって初期腐食の鉄筋と健全鉄筋の判別は可能である。反応の強さを示す値は、どの結果も健全鉄筋の探傷結果の方が強くなる傾向があった。フィルタリングには、信号強度の強い健全鉄筋ベースのフィルタが適していて信号強度に約30%の差をつけることができた。

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生への適用, 応用力学論文集 Vol.5, pp.67-74, 2002
- 2) 章忠, 池内広樹, 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