

## 滞水状態を考慮したPCグラウト充填評価手法の提案

福井大学 学生会員 ○石田 耀世  
 福井大学 正会員 鈴木 啓悟  
 (株)日本ピーエス 正会員 角田 貴也  
 (株)日本ピーエス 天谷 公彦

### 1. はじめに

我が国においてプレストレストコンクリート(PC)構造は多くの橋梁に適用され、現在では全橋梁の約44%を占める。PC構造の内、ポストテンション方式ではPC鋼線の保護とPC鋼線とコンクリートの一体化の目的でグラウト充填を行うが、充填が不十分で水が浸入するとPC鋼線の腐食、さらには破断を招き、落橋等の事故につながる可能性がある。

シース内部の状態を把握する手法では、弾性波を用いて、シースーコンクリート境界面からの反射波を解析するものが多い<sup>1)</sup>。弾性波は異なる媒質の境界面で反射及び透過する。この際の反射率及び透過率は媒質間の音響インピーダンス $Z$ によって決定される。この内、反射率 $R$ は(式1)によって算出される。

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (1)$$

各媒質の音響インピーダンス $Z$ の値とシース内部状態ごとの反射波の割合を図1に示す。理論上反射波の

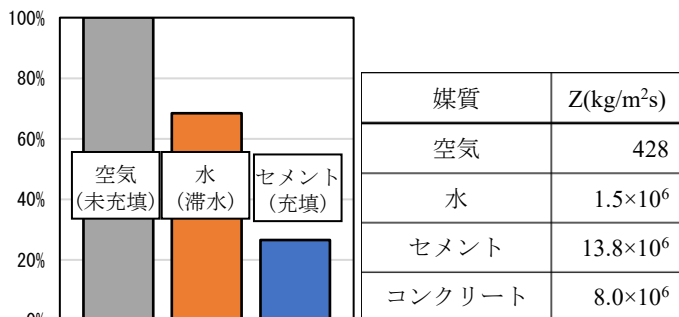


図1 反射波信号強度の強弱

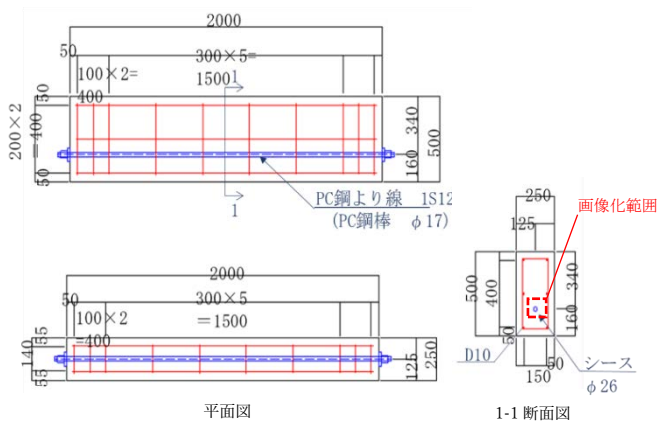


図2 試験体概要

信号強度は未充填状態が最も大きく(99.9%)反射するのに対し、滞水状態では68.4%、充填状態では26.6%と未充填状態に比べ小さくなる。シース内が滞水・充填状態の際は、未充填状態に比べ音響インピーダンスの差が小さいため、衝撃弾性波法等の従来手法では区別が難しく見逃す可能性がある。

そこで、滞水状態を含め、超音波を用いてポストテンション方式PC構造のシース内部の状態を把握する手法を提案する。

### 2. 超音波探傷試験

試験体の概要を図2に示す。シース内部の状態は充填、滞水、未充填の3条件とした。試験体側面において二探触子法とフェーズドアレイによるフォーカシングを用いた2種類の探傷を行い、シースを対象として画像化処理を施すことでシース内部の状態を把握することを試みる。フェーズドアレイは複数の素子を用いて、励振するタイミングを変更することで、任意の方向(ステアリング)あるいは任意の点(フォーカシング)に超音波を送信する技術である。1断面につき二探触子法では200kHz広帯域超音波探触子で3点、フェーズドアレイでは50kHz広帯域超音波探触子で7点探傷を行いそれぞれ4断面計測した。

### 3. 可視化手法

#### 3-1. 線形化逆散乱解析による可視化

本研究ではキルヒホフ近似に基づく線形化逆散乱解析により、波形データを用いてコンクリート内部のシースの画像化を行う。逆散乱解析法は多点で計測された散乱波の積分表現を基に散乱波形から逆に対象物の形状を再構成するための解析手法である(図3)。対象物の境界部を再構成するキルヒホフ逆散乱解析

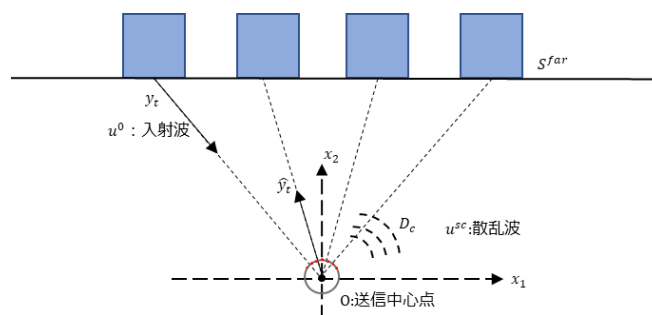


図3 線形化逆散乱解析の概要

キーワード:プレストレストコンクリート 超音波探傷 線形化逆散乱解析

連絡先 福井大学 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 TEL: 0776-27-8596

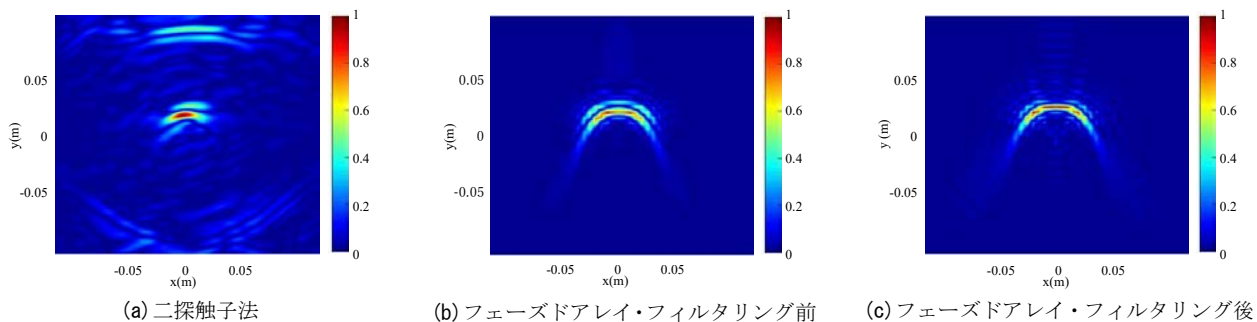


図4 未充填画像化結果

の再構成式を(式2)に示す。

$$\gamma(x) = \sum_{t=1}^n \frac{-2}{\pi^2} \int_0^{\infty} \frac{1}{u^0 k_L} A(k_L, \hat{y}_t) e^{2ik_L \hat{y}_t x} k_L dk_L \quad (2)$$

理論上、対象を取り囲む全方向からの探傷波形を用いるが試験体の探傷面が平面であること、及び、探触子のサイズを考慮し超音波が直達する部位を画像化に用いた。

### 3-2. 寄生的離散ウェーブレット変換による目的信号の抽出とノイズ低減

コンクリート試験体を超音波探傷し得られた波形はコンクリート内部の空隙や骨材によるノイズが含まれており、対象物の像が不鮮明になることがある。そのため探傷対象からの散乱波成分を抽出する必要がある。本研究では離散ウェーブレット変換(DWT)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。目的情報を有する代表的信号を既存の離散ウェーブレット変換で Detail と Approximation 信号へと分解し、さらに周波数領域信号へと変換する。この周波数領域信号をフィルタ(寄生フィルタ)として用いることで、目的信号を有効に抽出できる<sup>2)</sup>。本研究では Approximation ベースの寄生フィルタを用いた。

### 4. 二探触子法とフェーズドアレイ探傷の画像化結果の比較と寄生フィルタの有用性

図4に未充填の画像化結果を示す。二探触子法(図4(a))に比べフェーズドアレイ(図4(b))では探傷点が増加したことで、より鮮明にシース管を画像化できていることがわかる。また、フィルタリング後(図4(c))では若干ではあるが散乱していた信号のノイズが除去できていることがわかる。

### 5. シース管内状態と信号強度

シース内部の状態と画像化後の信号強度の関係を図5に示す。図中には、画像を構成する信号の最大値を取り出し、未充填のものを1として各断面で正規化した値を示している。この結果、フィルタリングなしの場合であっても信号強度は未充填が最も大きく、滞水、充填の順に小さくなった。一方で、断面1では滞水と充填の区別が困難であった。そこで、未充填の条

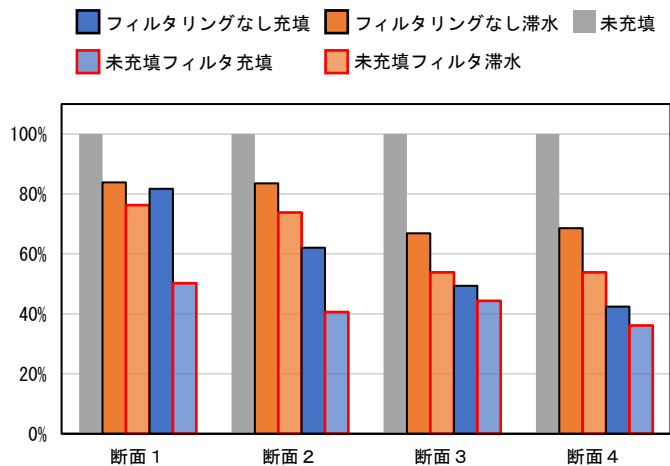


図5 正規化後の割合

件で得られた波形から作成した寄生フィルタの適用を試みた。この結果、フィルタリングによって信号強度の差別化の促進がみられ、断面1についても充填と滞水を明確に区別することができた。

### 6. 結論

以下に本研究で得られた知見をまとめる。

- (1) フェーズドアレイのフォーカシングによって探傷点を増大させることにより、シース形状を鮮明に画像化することが可能となった。
- (2) 充填、未充填、未充填滞水の画像化結果の最大値を抽出し未充填の値で正規化を行うことで、シース内部の状態を明確に区別することが可能となった。また、未充填の条件で得られた波形から作成した寄生フィルタを適用することで、充填状態と滞水状態を明確に区別することができた。

### 【参考文献】

- 1) 藤岡豊太, 永田仁史, 安部正人: 衝撃弾性波法による PC シース内空隙の非破壊診断に関する実験と数値解析による検討, Journal of JSNDI, Vol.66, No.9, pp443-450, 2017
- 2) 角田貴也, 鈴木啓悟: コンクリート内在欠陥を対象とする線形化逆散乱解析の再構成像高精度化, 土木学会論文集A2(応用力学), Vol.75, No.1, pp.23-36, 2019.