

種々の弾性波パラメータによるグラウト充填度評価

京都大学 正会員 ○中山 宏 大澤 智 塩谷 智基 張 凱淳 西日本高速道路(株) 正会員 戸木 正喜
西日本高速道路エンジニアリング関西(株) 非会員 木虎 久人 阪神高速道路(株) 正会員 小坂 崇

1. はじめに

トンネル覆工背面への空洞充填工法やダム基礎へのグラウチングなど、グラウト材を用いた工法は多くの土木構造物に使用されている。しかし近年、その代表例である PC 構造物においても、PC グラウトの充填不良に起因する PC 鋼材の腐食や破断によって、PC 構造物の耐荷力および耐久性が損なわれた事象が発生しており、グラウト充填度を適切に把握するための非破壊検査技術が求められている。

これまで、PC コンクリート表面からのシース内の充填不良の検出方法として、X 線透過法、衝撃弾性波法、および電磁パルス法などの研究が進められてきているが¹⁾、人体への影響や局所的な検査領域のみを対象にした手法と言え、実構造物への適用に際しては多くの課題があった。そこで本研究では、PC 構造物の充填不良箇所の効率的な検出に資する手法として、コンクリート構造物の広域的な非破壊検査技術として実績のある弾性波を用いた手法を提案し、その適用性について検討を行った。

2. 種々の弾性波パラメータを用いた手法

本研究では、弾性波パラメータとして、弾性波速度、パワースペクトル減衰比、およびスペクトル重心を用いた手法を提案し、その適用性を検討した。

コンクリートを伝搬する弾性波は、伝搬経路上にひび割れや空隙などの異常部が存在すると波動が散乱し、回折経路による伝播時間の遅れとともにエネルギーの減衰および高周波成分の減衰が生じる。まず、この伝播時間の遅れを利用した手法として弾性波トモグラフィ法が挙げられる。この手法は、対象領域を弾性波測定で得られる多数かつ多方向の走査線情報の全てに整合する有限要素モデルで表し、各要素を通過する弾性波の特性を可視化する手法である。

また、エネルギーや高周波成分の減衰を利用した手法として本研究では、パワースペクトル比を用いた手

法およびスペクトル重心を用いた手法を提案した。この弾性波のエネルギー減衰は、伝搬速度よりも異常部を高感度に評価できることが既往の研究²⁾により報告されている。パワースペクトル比を用いた手法では、**図-1**に示すように発信波と受信波に高速フーリエ変換(FFT)を施し、パワースペクトル比を求めることでグラウト充填度の評価を実施する。また、スペクトル重心を用いた手法では、同図に示すように受信波の FFT 解析結果をもとにスペクトル重心を計算し、その推移を検討することでグラウト充填率の評価を実施する。

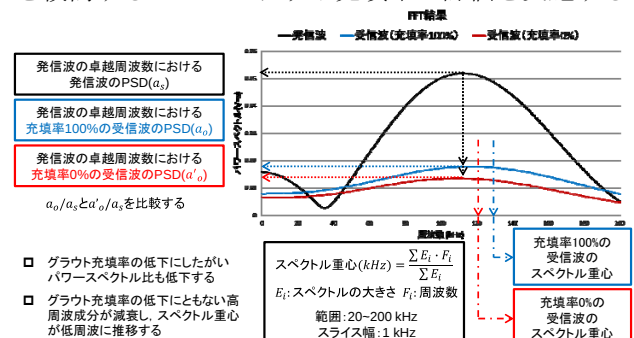


図-1 パワースペクトル比およびスペクトル重心を用いた手法の概要

3. 小規模供試体を用いた室内実験

実 PC 構造物の一部を模擬した、高さ 250 mm、幅 300 mm、奥行き 500 mm のコンクリート供試体を使用し、**図-2**に示すように試験体の両端に AE センサを 7 個ずつ設置した。本実験ではシース材の種類として、鋼製、プラスチック製の二種類を、グラウト充填状況として、0%、50%、100%の三種類の 6 体とシース材無しの計 7 体を準備した。また、入力弾性波の周波数を 150 kHz、75 kHz、60 kHz、25 kHz の四種類で実験を行った。

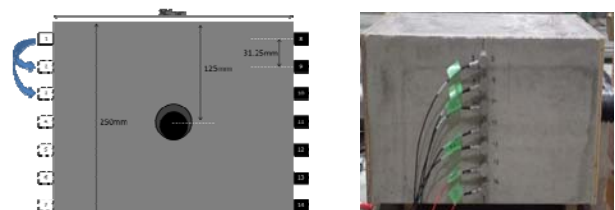


図-2 AE センサ設置位置

キーワード：グラウト充填度、PC 構造物、弾性波、パワースペクトル比、三次元減衰トモグラフィ

連絡先：〒615-8540 京都市西京区京都大学 C クラスター 京都大学大学院 工学研究科 TEL 075-383-3496

各手法の適用性を検討したところ、パワースペクトル比を用いた手法において、グラウト充填率が低下するにしたがいパワースペクトルも低下する傾向が得られた。(図-3 および図-4 参照) 具体的には、プラスチック製シースにおいて透過する弾性波の周波数を大きくするにしたがい、グラウト充填度評価の精度が向上した。一方で鋼製シースにおいては、低周波の弾性波を透過させることでグラウト充填度評価が可能であることが示された。ここで、シース材との境界面での弾性波の伝播挙動について考察すると、プラスチック製シースにおいては、弾性波の周波数が大きくなるにしたがい、弾性波の透過率も向上する結果が得られた。一方で、鋼製シースにおいては、周波数の増加にともなう透過率の上昇は見られなかった。つまり、プラスチック製シースの場合には透過率の高い高周波の弾性波を、鋼製シースの場合には距離減衰を考慮した低周波の弾性波を透過させる方が望ましいと考えられる。ここで、パワースペクトル比を用いた手法で得られた結果は、上記の仮説と一致していることから、整合性のよい結果であるといえる。

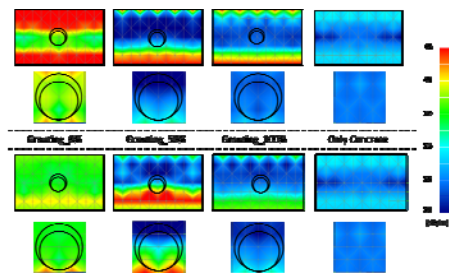


図-3 パワースペクトル比による減衰トモグラフィ結果 (上: プラスチック製, 下: 鋼製, 25 kHz)

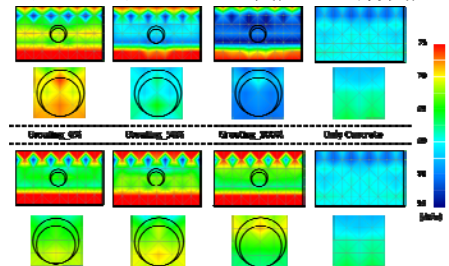


図-4 パワースペクトル比による減衰トモグラフィ結果 (上: プラスチック製, 下: 鋼製, 150 kHz)

4. 大規模供試体を用いた室内実験

小規模供試体で適用性が確認されたパワースペクトル比を用いて、実 PC 構造物を模擬した大規模供試体への適用性を検討する。供試体は高さ 1800 mm, 幅 400 mm, 奥行き 2000 mm であり、グラウト充填率 0%および 100%の鋼棒タイプの鋼製シースとグラウト充填率 0%, 50%および 100%のより線タイプの鋼製シースが埋設さ

れている。供試体概要およびセンサ配置を図-5 に示す。

ここで、同図の右側で示した領域において三次元減衰トモグラフィを実施した結果を図-6 と図-7 に示す。本手法は三次元領域におけるグラウト充填度評価のために実施したが、弾性波の伝播経路の影響により三断面での評価に留まった。しかし、各図の結果から、グラウト充填度の低下にしたがい、シース付近の減衰率が上昇していることが確認された。つまりこれらの結果より、パワースペクトル比を用いた手法で鋼製シースのグラウト充填度評価が可視化可能であることが確認され、本手法の有用性が示された。また、今後はセンサ配置を考慮することで三次元でのグラウト充填度を可視化できることが示唆された。

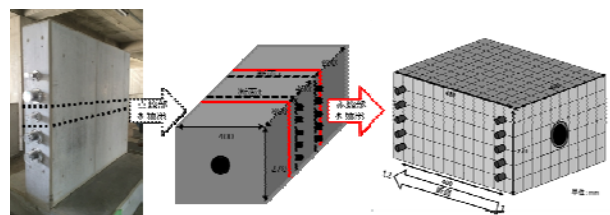


図-5 供試体概要およびセンサ配置

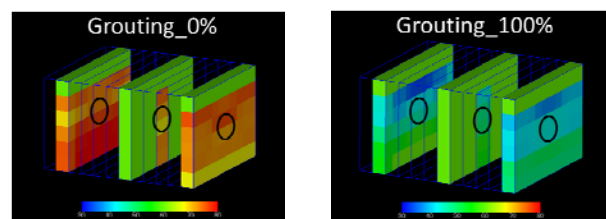


図-6 三次元減衰トモグラフィ結果 (鋼棒)

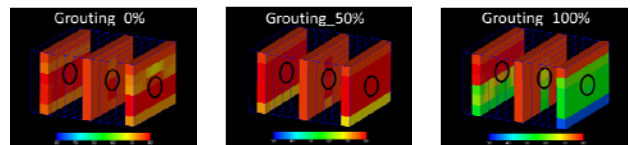


図-7 三次元減衰トモグラフィ結果 (より線)

5. まとめ

本研究では種々の弾性波パラメータを用いたグラウト充填度評価手法を提案し、その適用性を検討した。その結果、パワースペクトル比を用いることでグラウト充填率の低下にしたがう、パワースペクトル比の低下傾向が確認され、本手法の実 PC 構造物への適用性が示された。

参考文献

- 1) 鎌田敏郎, 内田慎哉, 角田蚩, 佐藤浩二: 実橋梁 PC 桁での非破壊試験による PC グラウト充填評価方法に関する研究, 土木学会論文集, Vol. 68, No. 4, pp. 238-250, 2012.
- 2) 桃木昌平, 塩谷智基, 小林義和: 「減衰トモグラフィ」で高精度に構造物の健全性を診断, 検査技術, Vol. 15, No. 9, pp. 39-43, 2010