

衝撃弾性波法を活用したコンクリート構造物の鉄筋腐食による浮きの評価手法の検討

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○前田 貴公
東海旅客鉄道株式会社 正会員 吉田 幸司
東海旅客鉄道株式会社 正会員 大木 基裕

佐藤工業株式会社 正会員 加藤 謙吾
大阪大学大学院 正会員 服部 晋一
大阪大学大学院 正会員 鎌田 敏郎

1. 目的

鉄筋コンクリート（以後、RC）構造物の鉄筋腐食によるかぶりコンクリートの剥離・剥落は、第三者被害を及ぼす可能性があり、浮きの早期発見および計画的な補修・補強は重要である。コンクリートの浮きを定量的に評価する非破壊検査手法では、マイクロフォンなどを活用した打音法が提案されている。しかし、打音法では一般に作業騒音等の多様なノイズを除去する対策が必要となる。そのため、ノイズの影響を受けにくい手法として、著者らが研究してきたコンクリート表面に接触させ、直接振動を取得する逆磁歪効果型速度センサ（以後、磁歪センサ）と一定の打撃力を得る電磁式ハンマを活用した非破壊検査手法¹⁾に着目した。磁歪センサと電磁式ハンマを用いた非破壊検査手法にてRC構造物の鉄筋腐食による浮きの有無および規模を効率的に把握する手法を検討する。

2. 磁歪センサと電磁式ハンマを活用した非破壊検査手法

図-1に装置の構成と測定概念を示す。磁歪センサは、外力の作用により磁化が変化する磁歪材から成るコアとコイルを軸受に搭載し、車輪から受ける振動を取得する。また電磁式ハンマは、所定の電圧をコイルに印加することにより、可動プランジャが作動し、一定の打撃力を与える¹⁾。本手法は、磁歪センサおよび電磁式ハンマを一定の力でコンクリート表面に押し付

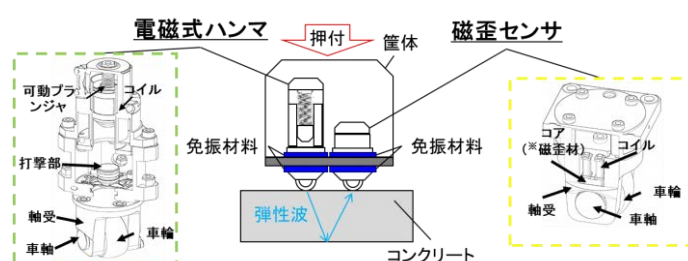


図-1 装置構成と測定概念

け、電磁式ハンマにより対象物を打撃し、その振動を磁歪センサにて取得する。すなわち、固体表面とハンマとを機械的に衝突させたときに生じる弾性波を、固体表面に設置したセンサによって受信する衝撃弾性波法²⁾の一つといえる。なお、磁歪センサにて取得したデータは、ハイパスフィルタ（カットオフ周波数 1kHz）および免振材料を各部位に設置することにより、電源や装置自体の振動等のノイズを低減させている。

3. 試験方法

図-2に試験概要を示す。試験体は、鉄筋腐食による浮きの状態を再現すべく、かぶり C (25mm, 35mm) と欠陥幅 W (100mm, 200mm, 300mm), 欠陥長 I (15mm, 30mm, 45mm, 60mm) を変化させた欠陥を有する 18 体とかぶり C (25mm, 35mm) を変化させた欠陥の無い 2 体を製作した。外寸 (700mm×500mm×300mm) および配合（設計基準強度 30N/mm², 粗骨材最大寸法 20mm, 普通ポルトランドセメント）は、共通である。欠陥は、厚さ 1mm のゴムスポンジと厚さ 1mm のアルミパンチングメタルを重ね合わせて模擬している。試験方法は、図-2に示す通り、欠陥中央に磁歪センサを設置して、鉄筋方向に 60 mm離れた位置から電磁式ハンマでの打撃により発生した弾性波を計測する。押付力 35N を重りにて導入した。またデータのサンプリング周波数は 100kHz とした。また、比較のため、マイクロフォンとインパルスハンマを用いた打音法でも同一条件（サンプリング周波数は 50kHz）の下で計測した。

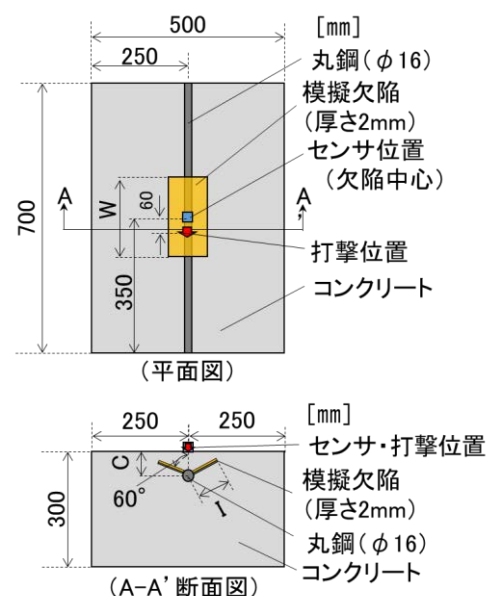


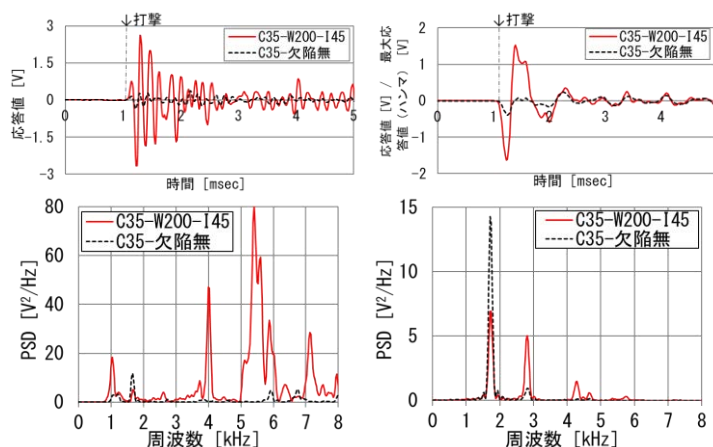
図-2 試験概要

キーワード コンクリート, 鉄筋腐食, 剥離・剥落, 非破壊検査, 衝撃弾性波法

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33 東海旅客鉄道(株) 総合技術本部技術開発部 TEL 0568-47-5375

4. 試験結果・考察

図-3 に同一試験体における本手法と打音法にて取得した応答波形・周波数特性の分析結果（打撃後 1.5msec から 10msec を分析）を示す。なお、打音法の応答波形はインパルスハンマの最大応答値で無次元化している。各試験体での応答波形を比較すると、両手法ともに最大振幅値は、欠陥無に対して欠陥有の場合の方が大きな値を示している。また各試験体での卓越周波数を比較すると、両手法ともに欠陥の有無に関わらず、1.6kHz 付近にピークがみられる。これは試験体自体の固有周波数であると考えられる。一方で、欠陥有の場合には、両手法ともに 4kHz 付近にピークがみられる。また本手法のみ 5kHz 以上でも複数のピークがみられる。これら 4kHz および 5kHz 以上のピークは、欠陥に起因する卓越周波数帯であると考えられる。両手法ともに、最大振幅値と卓越周波数帯の分析により、鉄筋腐食による浮きの有無が把握できる可能性があることがわかった。また本手法であれば、4kHz 以上の周波数帯でも感度が高いことからより小さな浮きでも検出できる可能性が高いと考えられる。



本手法（磁歪センサ） 打音法（マイクロフォン）

図-3 各手法の応答波形と周波数特性分析結果

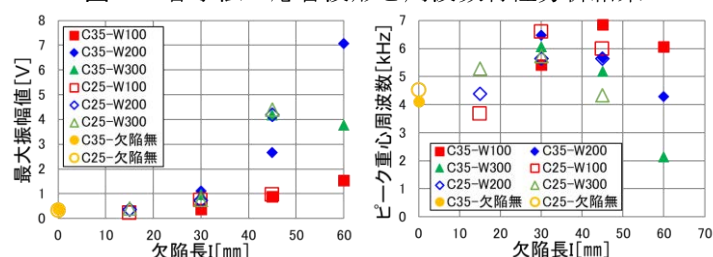


図-4 最大振幅値

図-5 ピーク重心周波数

図-4 に本手法における各試験体での最大振幅値の分布を示す。欠陥長が 30mm 以上の最大振幅値は、かぶりおよび欠陥幅の大きさに関わらず欠陥無に対して大きな値を示している。また欠陥長の増加に伴って最大振幅値は上昇傾向にある。さらに、欠陥幅が 100mm の最大振幅値は、他の欠陥幅に比べて概ね小さな値を示している。この原因は、欠陥上部でたわみ共振が発生し、欠陥長および欠陥幅の増加に伴って、欠陥上部の見かけ上の剛性が小さくなり、振幅が大きくなったためと考えられる。また、図-5 に本手法における各試験体のピーク重心周波数の分布を示す。ピーク重心周波数とは、0~8kHz 帯域の複数のピーク振動数をピーク高さで重み付き平均した値である。欠陥長が 30mm（試験体 C35-W100 の場合は欠陥長 45mm）以上のピーク重心周波数は、欠陥長および欠陥幅の増加に伴って低下傾向にある。この原因は、欠陥長および欠陥幅の増加に伴って、欠陥上部の見かけ上の剛性が小さくなり、固有振動数が低下したことが考えられる。一方で、欠陥長が 15mm では欠陥無と比較して最大振幅値およびピーク重心周波数には明確な違いはみられない。したがって、本手法における最大振幅値により欠陥長が 30mm 以上かつ欠陥幅 100mm 以上であれば、浮きの有無を評価することができ、最大振幅値やピーク重心周波数により、浮きの大きさの程度を把握できる可能性が示唆された。

5. まとめ

鉄筋腐食によるコンクリート浮きの有無および規模を把握する手法の検討に向けて、試験体を作成し、磁歪センサを活用した非破壊検査手法にてデータ取得・分析を行った。その結果、磁歪センサにて取得した最大振幅値を活用した評価方法により、欠陥長 30mm 以上かつ欠陥幅 100mm 以上であれば、浮きの有無を評価できる可能性が確認できた。今後は、データ取得・分析を引き続き行い、本手法によりコンクリートの浮きの規模を定量的に評価できる方法について検証を進める。

謝辞：試験に協力頂いた（株）オンガエンジニアリング、（株）東洋計測リサーチの皆様にご礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 前田貴公ら：コンクリート内部欠陥の効率的な非破壊検査方法の検討，第 76 回年次学術講演会，VI-355，2021
- 2) 鎌田敏郎，内田慎哉：コンクリートの非破壊試験の理論と実際 ③弾性波法（超音波法・衝撃弾性波法）の理論と実際，コンクリート工学，51 巻 4 号，pp.340-347，2013