

機械学習を用いた道路橋 RC 床版の劣化度評価

(株)ネクスコ・エンジニアリング東北 正会員 ○加藤 諒
東日本高速道路(株) 東北支社 非会員 倉持 尚子
東北大学 正会員 内藤 英樹

1. はじめに

既存のコンクリート構造物の多くが老朽化を迎える中、合理的な維持管理を行うために構造物の点検技術と評価手法の高度化が必要とされている。その中で、RC 床版の劣化を評価する手法として、ホワイトノイズを入力波とした局所振動装置 (以下、小型加振器) に着目した。この非破壊調査を用いた RC 床版の劣化度評価手法を確立するためには、広範な構造諸元や供用条件での RC 床版の測定データを収集し、汎用的な劣化度評価手法に繋げる必要がある。

本報文では、i) 1 点当たりの測定時間短縮のために行った解析手法の改良と、ii) 機械学習を用いた RC 床版の劣化度評価手法の効果検証について報告する。

2. 測定方法の概要

本検討で使用した小型加振器の機器編成を図-1 に示す。指定したホワイトノイズを加振器にて入力し、加速度センサで測定された時刻歴波形の応答波をフーリエ変換する。変換して得られる周波数応答に着目して、RC 床版の内部空隙やひび割れを推定する。

従来手法および改良手法による測定フローを図-2 に示す。従来手法では I, II, III の手順で測定を行っていた。この手法では点検者が加振器を手支持し、センサを指で押さえながら測定点ごとに測定、解析、ファイル保存を行うため、1 点約 15 秒の時間を要していた。一方の改良手法では、I, III, II に手順を入れ替えて、一連の加速度波形を連続的に測定してファイル保存を行う。その後、現場または現場離脱後に一括して解析する形に変更した。この処理方法の変更により、1 点当たりの測定時間を 1 秒程度まで短縮することができた。なお、改良手法では 1 点ごとの劣化状態をリアルタイムに確認できないデメリットがある。

改良手法における測定後の波形処理を図-3 に示す。①波形の切り出しでは、床版にセンサを接触させた瞬間の振幅が大きい部分を 0.3 秒だけを切り出す。②高速フーリエ変換を 30 回連続で行い、③平均化処理してばらつきを低減する。

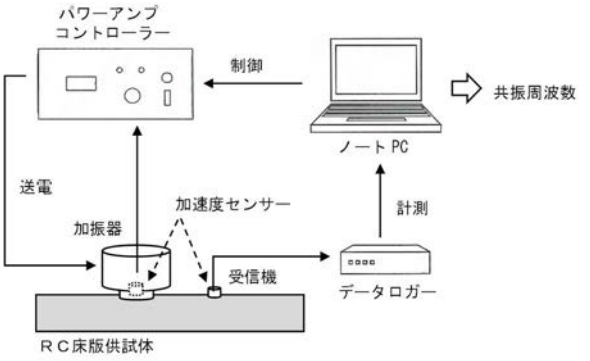


図-1 機器編成図

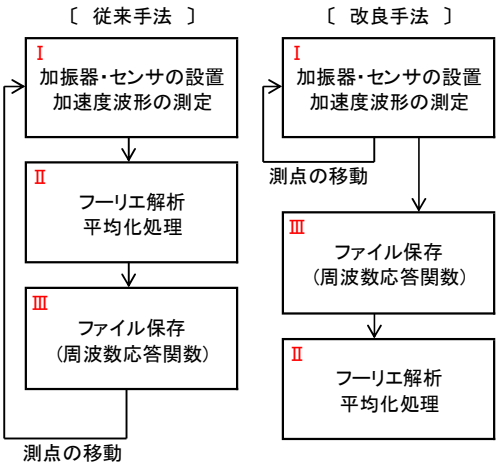


図-2 従来および改良手法の測定フロー

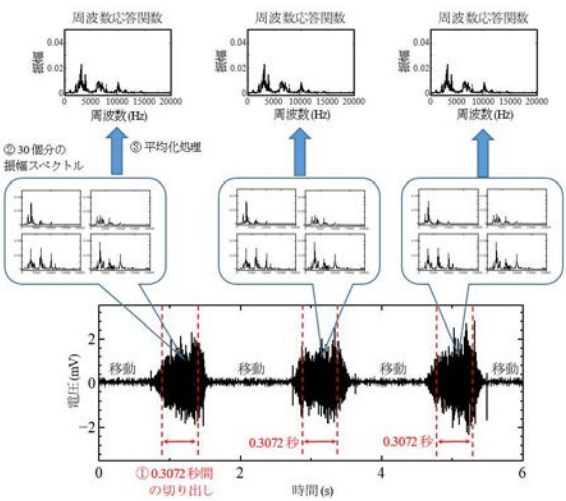


図-3 改良手法の波形処理

3. 実橋 RC 床版を用いた検証

改良手法による RC 床版の劣化度評価手法の効果検証のため、供用中の橋において非破壊調査を行った。床版取替工事に合わせて、宮城県にある東北道の A 橋(下り線) A1~P1 の舗装を撤去した床版上面で測定を行った。主桁上を避けた追越および走行車線の各センター直線上を 1m 間隔で測定した。小型加振器を用いて、1000~20000 Hz の周波数帯域のパワースペクトル密度を一定としたホワイトノイズを床版鉛直方向に与えた。

実橋調査では、予め劣化した状態でのデータを集めることができない。このため、健全状態でのデータのみを訓練データとする教師なし学習を採用した。本調査では、最初に A 橋の健全な箇所を選定して 150 点の測定データ(周波数応答関数)を取得した。そして、この訓練データのみを与えて、学習済オートエンコーダを構築した。ニューラルネットワークによる学習済オートエンコーダは、健全箇所の測定データに対して次元削減(特徴抽出)してから逆の処理により、図-4 のようにオリジナルに近いデータを再構成できる。一方、異常な測定データに対しては、図-5 のようにうまくデータを再構成することができない。この特徴を利用して、学習済オートエンコーダの入力と出力データの誤差(異常度)が大きいものを異常判定できる。

走行車線および追越車線の劣化度調査結果を図-6 と図-7 に示す。図の横軸は A1 を起点にした距離、縦軸は再構成誤差による異常度である。図中の青点線(異常度 0.2)は、学習済モデルによって訓練データ自身を交差検証した、上位 15% の異常度である。便宜上、0.2 を閾値にして異常検知を行った。図中には、当日の叩き調査結果も併記した。

図より、走行および追越車線のいずれも異常度 0.2 を超える箇所と打音点検による異常箇所が良好に対応した。本検討の範囲では、加振器と機械学習による劣化度評価の結果は、打音点検よりも広い範囲を劣化箇所と捉えていた。

走行車線と追越車線の測点数は 108 点であり、従来手法では約 30 分程度かかるところを改良手法では約 10 分程度に短縮できた。また、機械学習により構造物に依らない汎用的な評価手法が提示できた。

4. まとめ

本検証から RC 床版の劣化を評価する非破壊調査手法として改良型の小型加振器は、目的通り作業時間の短縮が図れる結果となった。本手法は床版下面からの調査も可能であり、本線橋の調査範囲の拡大にも資する。今後は、機械学習による診断手法の高度化に取り組むことで、舗装面からの調査において更なる効率化および測定精度の向上を目指していく予定である。

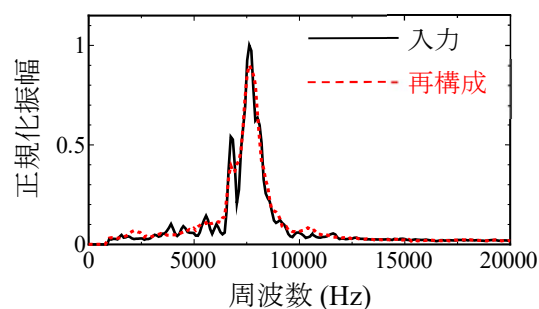


図-4 健全データの再構成

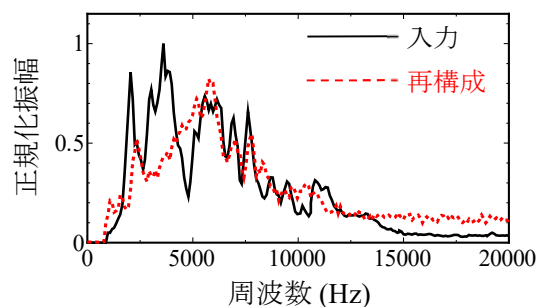


図-5 異常データの再構成

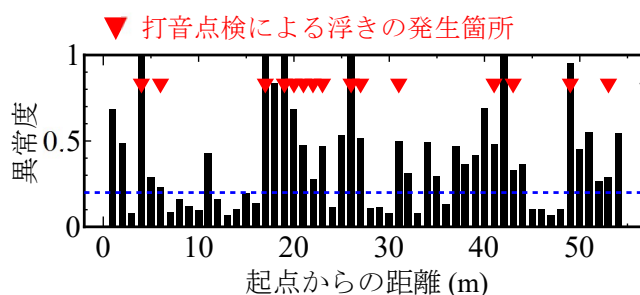


図-6 走行車線の異常度

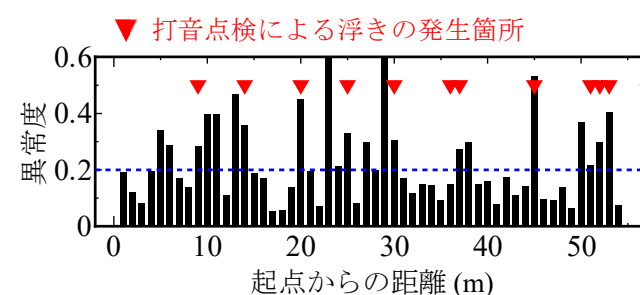


図-7 追越車線の異常度