

ニューラルネットワークを用いた打音法による既設コンクリート橋の健全度評価に関する基礎研究

九州大学大学院 正会員 ○宗本 理
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. 目的

近年、長年月供用されたコンクリート構造物の老朽化が懸念されており、精度の良い検査法や有効な維持・補修技術の研究開発が活発に行われている。劣化損傷したコンクリートの検査には、実際に対象構造物からコア供試体採取する方法と対象構造物を傷つけない非破壊検査法があり、非破壊検査の中でも安価で検査が容易な打音法が詳細に異常箇所を検査する前の事前診断として数多くの現場で用いられている。通常のテストハンマーを用いる方法では、検査範囲が広い場合には労力が大きいことから、作業効率を改良する目的で作られた回転式打音法が提案されている。しかし、コンクリートの表面硬度、内部状態(浮き・剥離の状況)、その他種々の要因によって打音特性が異なるため、いずれの方法においても打音特性の判断には検査者の感覚に頼るところが大きいという問題点がある。そこで本研究では、打音評価に人の主観が作用しない客観的な評価基準を提示することを目的として、劣化損傷が認められる複数のコンクリート橋を対象として、健全部および欠陥部にテストハンマーと回転式打音検査器を使用した2種類の打音試験を行い、コンクリート表面の加速度と打音を計測し、計測データから健全部と欠陥部における打音特性の相違を明確にできる特徴量の抽出を行った。さらに、2種類の検査法別に打音の特徴量を入力値としたニューラルネットワークによる欠陥検知を試みた。

2. 内容

2.1 打音検査の概要

本計測では、5つの既設コンクリート橋を対象とした。事前調査として、既往の研究によって欠陥の有無で打音の大きさに相違が生じることが把握されていることから、各橋梁で明らかに打音が大きく、浮き・剥離の存在が確実と考えられる欠陥部とその他の健全部を初めに区別・設定した。したがって、本研究は欠陥の有無の判断が難しい箇所を対象としておらず、欠陥の存在が打音に与える影響を明確にするための基礎的な考察の段階と位置づけられる。検査にはインパルスハンマー、テストハンマー、回転式打音検査器の3種類を使用した。本研究では、打音データの収録・評価にFFTアナライザとデータレコーダの2つの計測器を用い、それぞれの計測器で打撃点から5cm離れた位置の加速度と音圧を同時に収録した。計測は、表-1に示すように、1)FFTアナライザを用いたインパルスハンマーを使用した場合の荷重(入力)と音圧(出力)の関係、それぞれの時刻歴波形や周波数応答関数、コヒーレンス特性の調査、2)テストハンマーと回転式打音検査器を使用した打音検査による加速度と音圧の時刻歴波形調査、3)周囲の定常的な騒音(風切り音など)による加速度と音圧の時刻歴波形調査の3種類を実施した。計測は各橋梁で健全部、欠陥部それぞれ2カ所ずつ行い、検査No.1, 2は健全部、欠陥部それぞれ合計30回、No.3, 4は健全部、欠陥部それぞれ5回、No.5は1回行った。

2.2 打音データによる特徴量の抽出

図-1は、健全部と欠陥部で得られる打音の時刻歴波形の一例を示したものである。この図より、加速度・音圧ともに欠陥部は健全部に比べて振幅が非常に大きく、継続時間については長くなる傾向にあることが確認された。この結果より、最大振幅値と継続時間を欠陥の有無を判断する打音の有効な特徴量として選定した。次に、時刻歴波形をフーリエ変換した周波数スペクトルのグラフで比較すると、加速度、音圧ともに健全部が欠陥部に比べて相対的にピーク周波数が高い傾向となることが確認された。

表-1 計測方法

計測No.	検査器	レコーダ	収録対象	
			1ch	2ch
1	インパルスハンマー	FFTアナライザ	荷重	加速度
2				音圧
3	テストハンマー	データレコーダ	加速度	音圧
4	回転式打音検査器			
5	(ノイズの収録)			

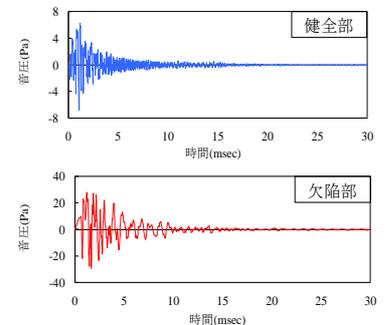


図-1 時刻歴波形の例

キーワード 打音法, 特徴量, 健全度評価

連絡先 〒819-0385 福岡県福岡市西区元岡 744 ウエスト 2 号館 11 階 1102 号室

個々のピーク周波数を特徴量とすることも考えられるが、欠陥の影響による個々の周波数帯の音の変化を考察することは容易でないと予想されることから、本研究では周波数1次モーメントを特徴量とした。また、インパルスハンマーを用いた打音データから、入力荷重と出力(加速度、音圧)の関係を調べた結果、打撃荷重は検査者の力の与え方で大きく異なるため、今回は考察対象から除外した。なお、各橋梁でコンクリートの表面硬度や劣化状況にかなりの相違があり、荷重・加速度・音圧の大きさにばらつきが大きいと考えられる。そこで、打音特性の特徴量を求める際には、各橋梁で全計測データの平均値で除して正規化した値を健全部と欠陥部で相対的評価を行うことにした。

2.3 ニューラルネットワークを用いた健全度評価

本研究では、欠陥の有無を推定するための方法として、階層型ニューラルネットワークを用いた。入力値には抽出した3つの特徴量(継続時間、最大振幅値、周波数1次モーメント)を用い、出力値は健全部のデータである場合は0、欠陥部のデータである場合は1と設定した。学習方法はCV法(図-2参照)を用い、 n 個のデータのうち $n-1$ 個のデータをニューラルネットワークの学習に用い、残りの1つを検証データとした。この操作を n 通り繰り返した。今回は式(1)に示すように、学習を繰り返して得られた推定値

とあらかじめ設定した正しい出力値との誤差である推定誤差 E を評価することにより、欠陥判別の精度を検証した。

$$E = \frac{1}{tp} \sum_{s=1}^t \sum_{k=1}^p |T_k^{(s)} - O_k^{(s)}| \quad (1)$$

ここで、 $T_k^{(s)}$ は s 番目の入力値の k 番目の正しい出力値、 $O_k^{(s)}$ は s 番目の入力値の k 番目の推定値、 t は検証データ数、 p は出力ユニット数である。なお、ニューラルネットワークの学習精度の向上を目的に、3つの特徴量を正規化し入力値とした。また、本研究は2種類の検査法で欠陥検知能力の比較を目的としているため、ネットワークの条件(表-2参照)や学習の各種係数は簡易に設定し、推定誤差 E の評価には設定した学習回数を終了した時点の値を用いた。

2.4 考察

検証の結果を図-3に示す。まず、検査器別に推定誤差の平均を比較すると、テストハンマーに関して加速度は0.0323、音圧は0.0551、回転式打音検査器に関して加速度は0.0122、音圧は0.0193となり、加速度・音圧ともに回転式打音検査器の方が推定誤差が小さいことがわかる。その理由は、回転式打音検査器は構造物に与える打撃力のばらつきが小さいため、健全部と欠陥部の打音特性の特徴量の違いがテストハンマーに比べてより明確に表れたと考えられる。この結果から、回転式打音検査器の方が通常のテストハンマーよりも内部欠陥の有無を音圧を用いて定量的に評価する手法に適合しやすいと考えられる。次に、加速度と音圧の場合で平均推定誤差の比較を行うと、どちらの打音法においても加速度の方が音圧に比べて推定誤差が小さくなった。この原因として、打音の源となるコンクリート表面の加速度の方が1次情報としての精度が高いことや野外で収録する音には打音以外の周囲の騒音(通行車両その他)が混在し易いことなども影響していると考えられる。したがって、計測センサーの取り付けなどの作業効率を考えずに、単純に診断能力の観点から考えると加速度の方が打音よりも健全度評価に関して有用であることが確認された。

3. 結論

打音データの特徴量を用いたニューラルネットワークによって欠陥の有無の判別が可能であることが認められた。加速度計の設置に関する手間を考えると、回転式打音法は作業効率と検知能力のバランスがとれた有効な検査であると言える。今後、打音データによる診断法を確立するためには、定量的に劣化損傷度が評価された構造物に対する打音データを収集し、損傷度による打音特性の変化について検討する必要があると考えられる。

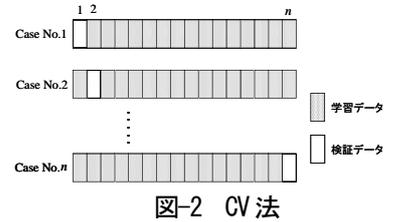


図-2 CV法

表-2 ネットワークの条件

ユニット数		学習終了回数	
入力層	3	10000	
中間層	1	各データ数	100
出力層	1	検証データ数	1

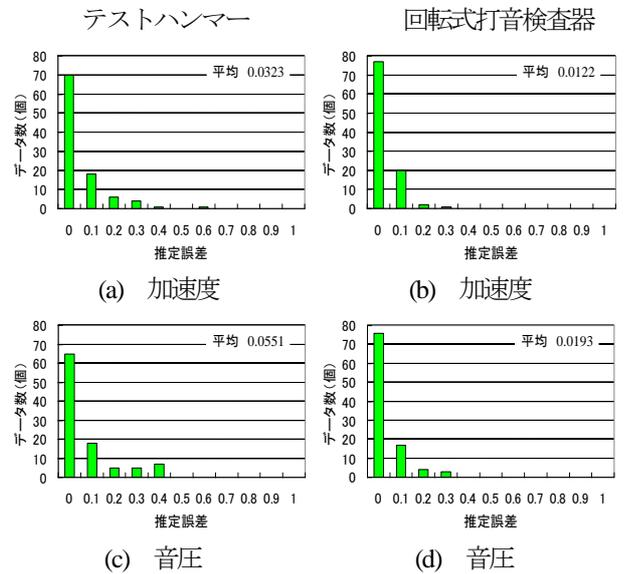


図-3 推定誤差のヒストグラム