

コンクリート構造物の打音検査に対する 自己組織化マップの適用可能性に関する一考察

九州大学大学院 学生会員 ○川端 健太 九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

打音検査は簡易かつ低コストで行えるが、検査結果に曖昧さが残り、その評価には熟練性が要求されるとされており、これらの欠点を克服するために種々の研究が行われてきた。しかし、打音に関する検討は、定量的な評価が容易な音圧の大きさに着目した事例が多く、周波数特性については明確な因果関係を見出すことが困難なため、診断に直接的に用いた例は殆ど見受けられない。本研究では、自己組織化マップ（以下 SOM）を用いて多次元の周波数特性の情報から健全と欠陥の判別の可能性について検討を行った。また、音圧の大きさや周波数特性も考慮に入れた SOM により、コンクリートの劣化診断が良好に行えるか考察を試みた。

2. 実橋梁の打音調査について

本計測では、打音検査で得られる音圧の特性を把握するため、供用中である A 橋の橋脚部において、写真-1 のような浮き・剥離が認められる縦 35cm、横 45cm の部分の周囲及び内部を打撃した際の音圧を計測し、欠陥の状態により音圧特性にどのような違いが現れるのかを調べた。打撃点は、この損傷領域を 5cm 四方に分割した格子点とした。左上から順に打撃点 1、打撃点 2、…とし、右下を打撃点 80 とした。

健全部と欠陥部における最大音圧を比較したところ、健全部よりも欠陥部の方が音圧が大きくなる結果が得られた。そこで、最大音圧値を最大入力荷重で除した振幅比（単位入力荷重あたりの音圧の大きさ）を用いることで入力荷重の大きさの影響を軽減し、健全部と欠陥部の振幅比にどのような差が生じるのか検討を行った。音圧の振幅比が大きい打撃点から順に並べた図を図-1 に、振幅比のコンター図を図-2 に示す。図-1 より、単位入力荷重あたりの音圧の大きさは検査箇所によって異なるが、健全部と明瞭な欠陥部の間には連続的な推移領域があることがわかる。ここでは、振幅比が 0.02(Pa/N)を上回る 33 番目までの打撃点群を欠陥部、それを下回り、約 0.004(Pa/N)に収束している 34 番目以降の打撃点群を健全部とした。また、図-2 より検査部の上部と下部に振幅比が大きい部分が存在することが確認できた。この部分は、写真-1 に見られるような浮きや剥離が認められる部分に近い打撃点に対応している。したがって、定量的な評価が可能な音圧の大きさを特徴量として用いることによって、欠陥部の特定は比較的容易であると考えられる。

次に、実橋梁の打音検査から得られたデータの周波数特性について検討した。周波数特性の評価は、打撃後 0.01 秒経過時点までのデータに対して FFT 処理を行うことで求めた。欠陥の有無によるピーク周波数の変動を比較するため、最大スペクトル値が 1 になるように補正を行った。得られた結果の一例として、振幅比に基づいて健全部と認められた打撃点 5 と、欠陥部と認められた打撃点 14 および打撃点 64 の周波数特性を図-3 に示す。健全部と認められた打撃点の多くは打撃点 5 のようにおよそ 2000Hz にピークが確認できた。一方、欠陥

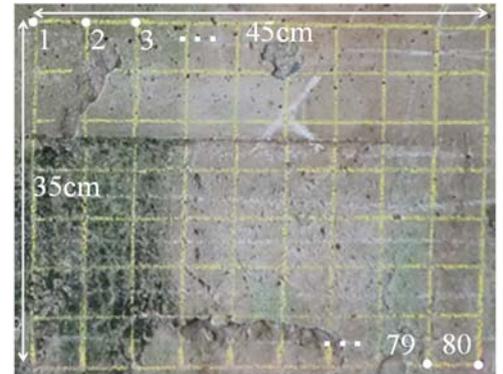


写真-1 検査部の写真と打撃点番号

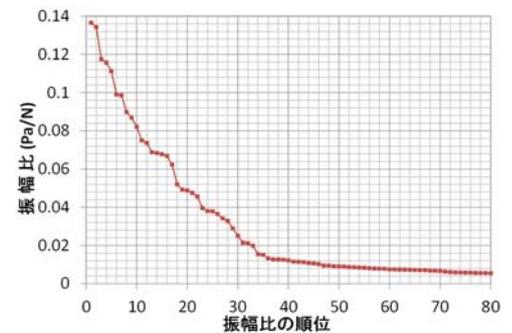


図-1 振幅比の推移

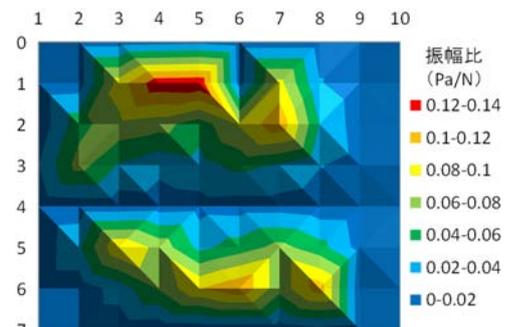


図-2 検査部の振幅比のコンター図

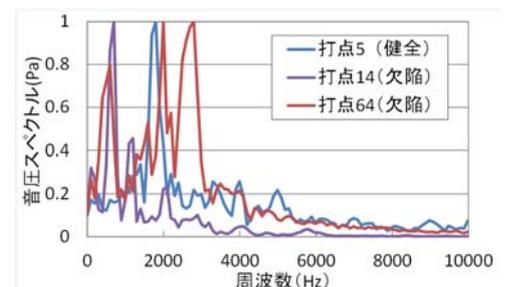


図-3 周波数特性の一例

部と認められた箇所は、打撃点 14 のように 2000Hz より低い周波数にピークが存在する場合や、打撃点 64 のように 2000Hz より高い周波数や複数の周波数帯にピークを有する場合も見られるなど、スペクトル図を見ただけでは健全か欠陥かを一概には判断できないことがわかる。

3. 自己組織化マップによる劣化診断

前章より、ピークスペクトルの位置や大きさなどの周波数特性について特定の傾向を見出すことが困難であり、周波数解析の結果を診断に直接的に用いることが難しいことがわかった。そこで、化学分析などで測定スペクトルの評価に応用実績もある SOM を用いて、欠陥と健全の判別および欠陥レベルの診断の可能性について検討を行った。

SOM は階層型ニューラルネットワークの一種であり、入力層と出力層（競合）層の 2 層で構成される。SOM の説明は文献に譲るが、SOM を作成する際に入力するデータとして、0Hz から 10kHz までの周波数スペクトルを 100Hz 毎にサンプリングした 101 個のデータ（101 次元ベクトル）を用いた。30×30 の 2 次元ニューロンユニットを持つ SOM 上に投影したグレーマップを図-4 に示す。なお、初期学習率係数 $\alpha_0 = 0.2$ 、初期近傍サイズ $N_c(0) = 18$ とし、学習回数は 100 万回とした。この図は、ユニット間の距離がグレーレベルで示され、ユニット間の距離が遠いほど灰色が濃くなっている。振幅比との対応を考察するため、振幅比が高い打撃点から順に赤、橙、緑、青、灰の順で欠陥部に色づけした。この図より、各橋梁の健全部と欠陥部の区分がある程度なされていることが確認できる。すなわち、音圧のスペクトル図から直接的に判断することが困難であった周波数特性に関するデータも、SOM を適用すれば欠陥と健全を判別できる有用な特徴量として利用できる可能性が高いことが分かった。しかし、打撃点 43, 44, 45 (図-4 の△で示した部分) は振幅比に基づく評価では健全部と判断されたが、SOM による診断では欠陥部の領域にマッピングされた。これらの打撃点に対する診断結果の相違の原因として、振幅比の値は小さいが、通常の健全部に見られる 2000Hz のピークが見られない点にあると考えられる。すなわち、コンクリート内部が密実・健全な状態とは異なる箇所が生じる表面振動には、打撃力に対する応答の結果である音圧の大きさだけでは判断できないケースも存在することが推測される。

そこで、音圧の大きさと周波数特性を併せて考慮するため、スペクトル値に振幅比を乗じた入力データを作成した。このデータを用いて SOM による診断を行った結果を図-5 に示す。この図より、右上に行くほど両ユニット間が白く表され、左下に行くほどグレーが濃くなることが分かる。すなわち、互いの入力スペクトルが非常に近似している健全部が右上に格納されていることを示している。ここで、振幅比との対応を考察するため、図-4 と同様に振幅比の大きさに合わせて色づけした。この図より、右上から離れるに従い振幅比が高く、欠陥の程度が高い打撃点が配置されることがわかる。また、打撃点 43, 44, 45 は、欠陥部のデータに近い位置に配置された。以上の結果から、振幅比を乗じた入力スペクトルを用いて SOM を作成することで、劣化度の診断精度が向上することが認められた。さらに、左上部の打撃点 67 と右下部の打撃点 52 の周波数特性を図-6 に示すが、周波数特性が異なるデータは遠いユニットに格納されることで周波数特性の相違を正しく認識していることが確認できた。個々の構造物で健全部における打音特性は異なると考えられるが、健全部の情報を自動的に基準化できる SOM 法は非常に有用であると考えられる。

4. 結言

今回は SOM を用いて多次元の情報から健全と欠陥の判別及び損傷程度の判定が可能か検討を行った。SOM を用いることで、音圧の大きさだけで評価した場合よりも精度が高い欠陥部の劣化診断を行えることが確認できた。

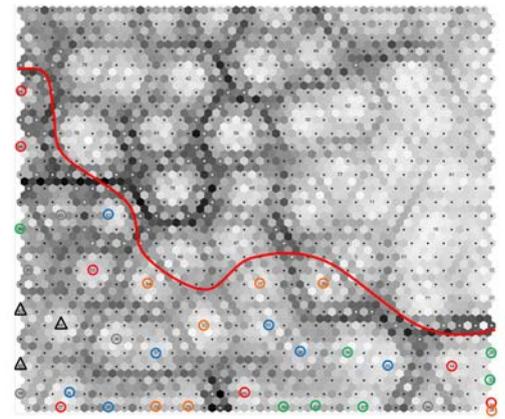


図-4 周波数特性を用いた SOM



図-5 振幅比も考慮した SOM

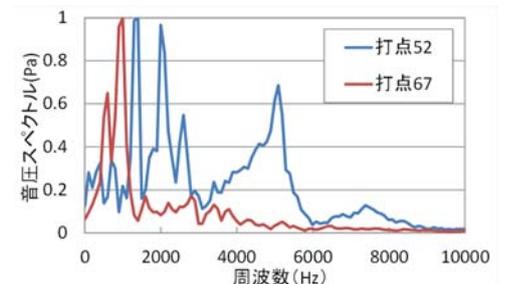


図-6 SOM で左上と右下に配置された周波数特性