

## 自己組織化マップ SOM を用いた打音法

佐藤工業(株) 正会員 歌川紀之 黒田千歳\*1  
筑波大学 安永守利 島田拓夢\*2

### 1. はじめに

トンネルや橋梁床版からのコンクリート片の落下を防ぐために、ハンマーを用いた打音点検が実施されている。本点検の課題として、点検者の主観的な判断で判定されること、高所での危険かつ苦渋な作業となることが挙げられる。そのような課題を解決するため、打音法や打音法ロボットの開発がなされている。ここで打音法とは、これまで耳で聞いて判断してきた手法(叩き点検)をマイクロフォンで記録して、音圧波形から客観的に判断する手法である。また、欠陥と健全部を判断する手法には、物理的手法を用いたアルゴリズムと人工知能(AI)的手法を用いたアルゴリズム<sup>2)</sup>がある。ここでは、SOMの説明とともに、AIの中で自己組織化マップ SOM を用いた手法を打音法、特に欠陥部と健全部の境界判別へ適用した結果を示した。

### 2. 自己組織化マップ

自己組織化マップ(SOM: Self-Organizing Map)は、Teuvo Kohonen によって提案された機械学習アルゴリズム(人工知能)の一つであり、**図-1**に示すように脳の視覚野の神経細胞をモデル化している<sup>2)</sup>。**図-1**は、人間がものの形状や色を大脳視覚野で分類していく学習方法を示している。このような方法で、打音法で得られた FFT の結果を分類することが可能となる。

アルゴリズムは、例えば、**学習**の際には、 $m$  個の音圧データの FFT 分析を行った結果を、 $m$  個の  $n$  次元( $n$  周波数分)のベクトルデータ群と考え、似ているベクトルを分別し、自己組織化マップの中で領域分けをするプロセスを行う。学習後には、マップの中で距離が近いベクトルは似ているようになる(**図-1**では同じ形状、同じ色)。さらに、「欠陥」、「健全」などの属性をつけることにより、領域が分かれていることが確認される(**図-2(2)(4)**の赤色と青色の領域)。最後に、点検で得られた音圧データ(FFT 結果)がどの領域に属するかで、欠陥と健全を判定する技術である(**図-2(4)**の印)。

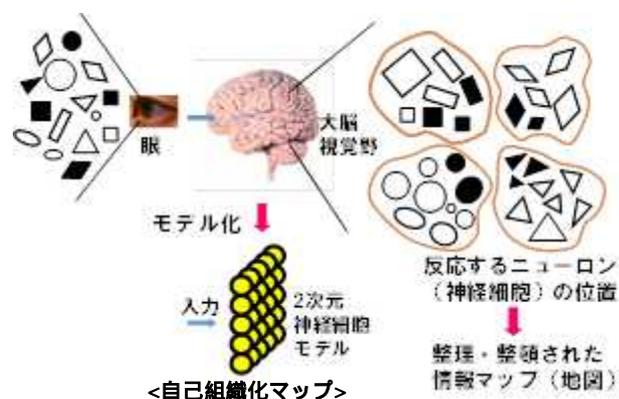


図-1 自己組織化マップ

学習後には、マップの中で距離が近いベクトルは似ているようになる(**図-1**では同じ形状、同じ色)。さらに、「欠陥」、「健全」などの属性をつけることにより、領域が分かれていることが確認される(**図-2(2)(4)**の赤色と青色の領域)。最後に、点検で得られた音圧データ(FFT 結果)がどの領域に属するかで、欠陥と健全を判定する技術である(**図-2(4)**の印)。

### 3. 打音法への適用

打音法への適用を **学習**、**データ収集**、**判定**の流れで説明する。

**学習**: 200mmの円柱状の発泡スチロール(厚さ25mm)をコンクリート内のかぶり60mmの位置に設置した円形空洞試験体を用いた。実験では、インパクトハンマーとフード付マイクロフォンを用い、インパクトハンマーにより加力した際に発生したコンクリートの振動音を収録した(**図-2(1)**)。欠陥を囲む24cm×30cmの領域について約2cm間隔で、208個のデータを取得した。1回の測定時間は43.7msで、その間のサンプリング数は2100である。周波数分析の結果、512個の周波数成分を有するFFTの結果が得られ、低周波数側から80個(0~3703Hz)のデータを抽出し、80次元のベクトルとし、さらにノルム1に正規化する。**図-2(2)**は学習初期の結果である。一つの昇目が一つのニューロンであり、全体で400ニューロン(20×20ニューロン)から成るマップを構成している。学習は200個のデータセットをランダムに約100回(総データ数200000個)用いて実施した。青色の領域が健全データに対する領域で、赤色の領域が欠陥データに対する領域である。学習後に欠陥部と健全部に領域が別れたことが分かる(**図-2(4)**)。

キーワード 打音法、非破壊検査、人工知能、自己組織化マップ

連絡先 \*1 〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山14-10 [TEL:046-270-3091](tel:046-270-3091)

\*2 〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1 TEL:029-853-5323

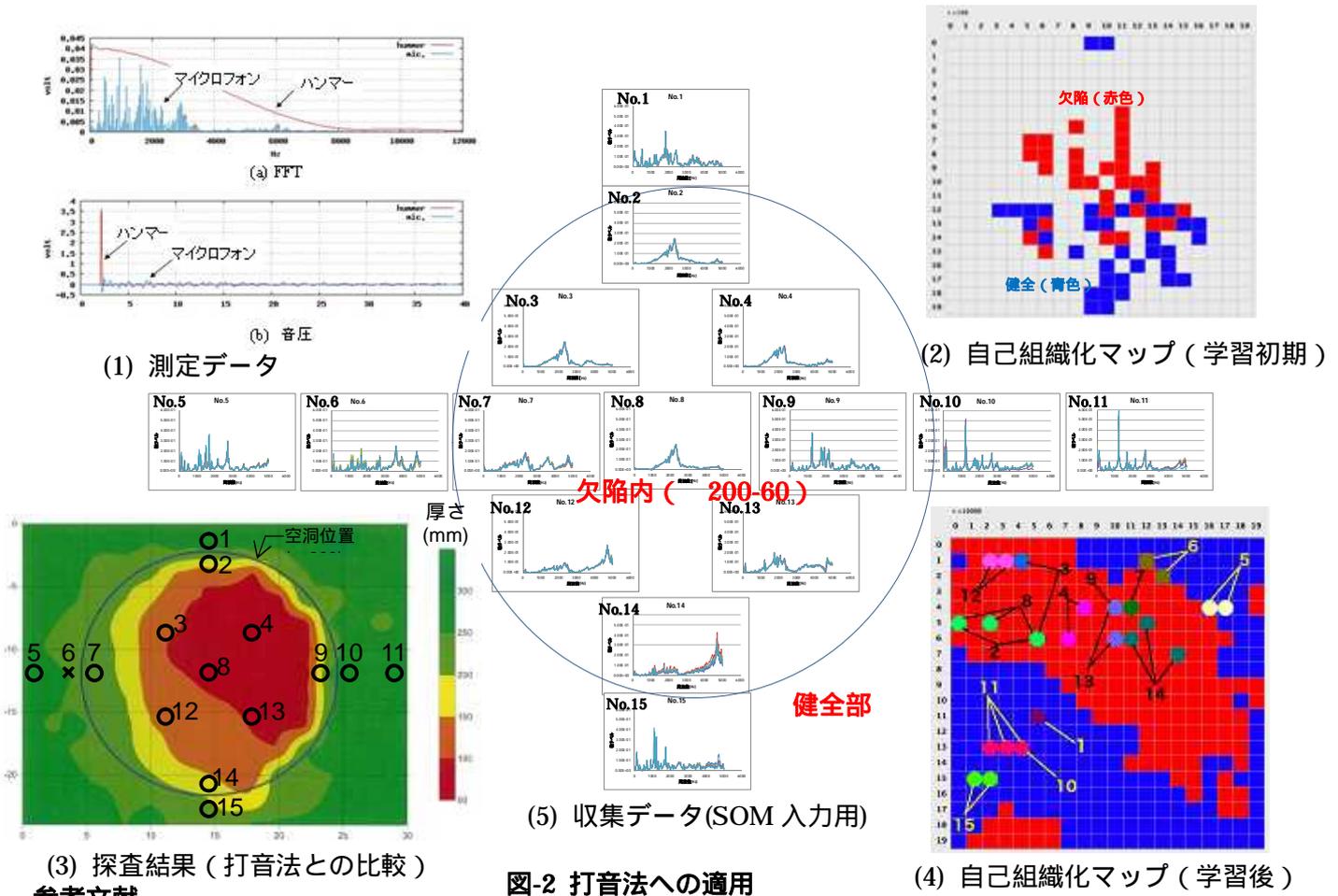
**データ収集：**次に、**図-2(3)**に示す、15 点の位置で、各々5 回の測定し FFT を行い、ノルムを 1 にした結果を測定箇所の位置に配置し、**図-2(5)**に示す。これらの結果から、5 回の試行で、ほぼ同じ FFT の結果が得られており再現性があること、欠陥の内部と外部（健全部）では、FFT の形状がかなり異なり、欠陥内部（No.2,3,4,8）では板曲げの固有振動が見られることが分かる。ただし、フード付マイクロフォン（135）と比較し、欠陥が同程度の大きさであり、内部のデータ（No.9）も外部の健全領域の影響を受けていることが分かる。

**判定：**それらのデータが、マップ上のどこに配置されるかを**図-2(4)**に示す。No.6 の健全位置のデータ以外は、それぞれ、健全位置のデータは青色の領域に、欠陥位置のデータは赤色の領域に属しており、テストデータはほぼ正しく判定されていることがわかる。

**従来法との比較：****図-2(3)**に、従来の健コン診断ポータブルの探查結果（厚さ評価：空洞のかぶりを評価しているため、赤色やオレンジ色が空洞となる）と SOM の結果（判定結果を実領域上に配置，○が正解，×が不正解）を比較する。厚さ評価では、空洞部と欠陥部の境界付近では、境界位置が不明瞭になるが、SOM の結果では、境界は境界の FFT の結果と照合しているため、境界でも判別が可能となっている。このように、SOM では、結果として得られるマップにおける境界のデータと実空間における境界のデータが、類似した位置関係で表示されるため、得られた結果の物理的な意味合いが明確になる（トポロジカルマッピング）。

4. まとめ

円形空洞試験体の打音データを SOM を用いて学習させ、そのマップを用い、15 点のデータの判定を行った。その結果、ほぼ、境界でも欠陥と健全の判別ができることが分かった。今後、実際の欠陥でも同様な判別ができるよう、学習計画を立てる予定である。



参考文献

1) 川端健太, 別府万寿博, 園田佳巨, 福井雄気: 打音法によるコンクリート構造物の劣化診断への自己組織化マップの適用, コンクリート工学年次大会論文集, Vol.33, No.1 pp.1763-1768, 2011.07.

2) Tevno Kohonen: "Self-Organizing Map(Second Edition)", Springer-Verlag Berlin Heiderberg, 1995.