

# ニューラルネットワークを用いた内部欠陥の評価法に関する基礎的考察

九州大学工学部 学生会員 ○井上 健太  
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨  
九州大学大学院 学生会員 渡邊 達郎

## 1. 緒言

耐火煉瓦は耐熱性に優れた性能を持つ材料であり、様々な耐火、耐熱工業用途に使用されている。耐火煉瓦の内部に空隙が存在すると、耐火煉瓦の一部が剥落することが懸念されるため、煉瓦内部の欠陥を判別する手法が必要とされている。そこで本研究では、簡易かつ低コストで実施可能な打音法で内部欠陥の判別の検討を行った。一般に、打音法は音の評価については検査員の感覚に依存しているため、検査結果に個人差が生じる。この欠点を克服するために様々な試みが行なわれているが、定量的な判断がしやすい音圧特性を用いた研究が多い。それに対して、周波数特性に特定の傾向を見出すことは困難であり、直接的に評価に用いられることは少なかった。そこで本研究では、音圧の大きさや減衰性、周波数特性を総合的に考慮した多次元情報をもとに、ニューラルネットワーク（以後 NN）を用いて、健全と欠陥の判別および健全度レベルの評価が可能か検討を行った。

## 2. 実験概要

実験対象は、図-1 に示すような台形断面を持つ耐火煉瓦供試体を 2 体使用し、両端から 2cm の位置を金属棒で単純支持している。図-1 (a) (b) に示す円形領域内はハンマーによる打撃時に異音が発生したため、予め欠陥部であると推測された箇所である。まず、図-1 (a) に示すように供試体表面を 2cm 間隔で格子状に区切り、その格子点を打撃力の測定が可能なインパルスハンマーを用いて打撃し、打撃点から約 2cm 離れた位置で打撃音を収録した。サンプリング周波数は 48kHz とし、100 個の打点に対しそれぞれ 5 回の打撃を行なった。

## 3. 実験結果

### 3.1. 音圧特性

健全部(打点 15)と欠陥部(打点 86)の音圧時刻歴波形の一例を図-2 に示す。欠陥部では健全部に比べて音圧が極めて大きく、継続時間が長いといった特徴が確認された。まず音圧と減衰性を考慮した指標である実効値をそれぞれの打撃点について計算した。本研究では次式のように実効値を求めた。

$$\text{実効値}R = \sqrt{\left(\int_0^{0.1} a^2 dt\right)/0.1}$$

ここで、a:時刻 t における音圧の振幅を打撃力の最大値で除した値で、打撃力で除すことで、打撃力のばらつきを考慮している。この式で得られる実効値は、振幅が大きいほど、振幅が減衰しにくいほ

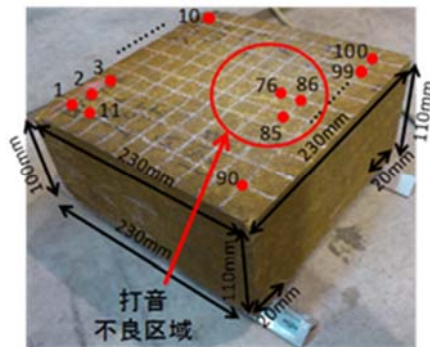


図-1 (a) 耐火煉瓦供試体 A

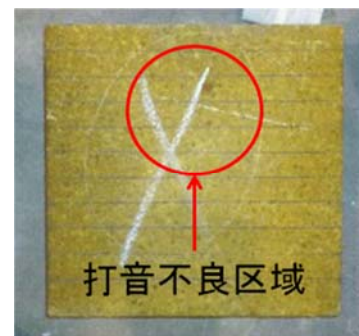


図-1 (b) 耐火煉瓦供試体 B

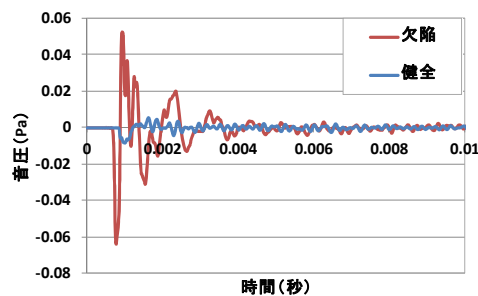


図-2 音圧時刻歴波形

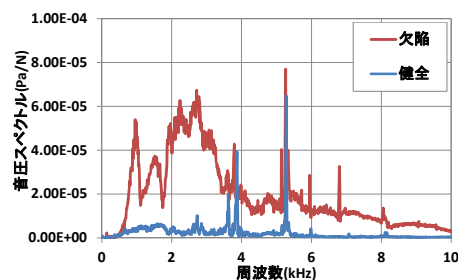


図-3 周波数特性

ど大きくなる傾向を有している。

### 3.2. 周波数特性

次に、実験により得られた時刻歴波形の0.1秒間のデータについて500Hzのハイパスフィルタをかけ、ノイズの影響を低減した上でFFT変換により周波数スペクトルを求めた。健全部と欠陥部における結果を図-3に示す。図-3より、健全部と欠陥部では周波数特性が異なることが確認できる。なお、実験環境におけるノイズには500Hz以上の周波数帯は存在していなかった。健全部、欠陥部で共通して4kHz、5kHz付近に卓越周波数が存在することから、これらが供試体の固有周波数であると考えられる。一方、欠陥部の周波数には健全部には存在しない低周波域と6kHz、7kHz付近に音圧が大きな周波数帯が存在することから、これらの周波数帯の音が欠陥の情報を有することが推察された。そこで、欠陥検出なども含めて様々な分野で適用例が多いNNを用いることで、欠陥の検出および欠陥の程度を推定できるか検討を試みた。なお、NNに用いるデータには、図-4のように10Hz毎の周波数スペクトルを250Hz毎の周波数スペクトルの概形に変換することで、入力データ量が過剰にならないように配慮した。

### 3.3 ニューラルネットワーク(NN)

音圧と周波数特性を総合的に判断するためにNNを用いて、健全と欠陥の判別および健全度レベルの評価を試みた。本研究では図-5に示す階層型NNを用いた。ネットワークの構成は、入力層と出力層の間に中間層を持つ多層構造とし、入力データとして500Hzから10kHzまでの周波数スペクトルを最大スペクトルで除し、最大値を1として正規化したものに実効値をかけ合わせた40個のデータ(40次元ベクトル)を用いた。供試体Aから教師データとして健全部15箇所、欠陥部5箇所を抽出し、健全「0」、欠陥「1」を出力値として学習させ、残りの打撃点データを未知データとして入力し、健全・欠陥の判断をさせた。図-6(a)に供試体Aにおける出力値のコンター図を示す。図-6(a)における白丸は教師データとして用いた打撃点を示している。この図より、打音不良区域とNNによる欠陥判定部が一致すると同時に、欠陥中心位置の出力値が1に近く、境界部に近づくほど0に近づいていることから、出力値の大きさが健全度レベルの評価が可能であると考えられる。また、図-6(b)に供試体Bの100打点を未知データとして入力した場合のコンター図を示す。図-6(b)より、異音と判断された箇所ですべてNNが欠陥と判断していることがわかる。これより、供試体Aのデータを教師データとして用いれば、他の供試体に対しても欠陥部の検出が可能であることが確認された。

### 4. 結言

音圧と周波数特性を合わせて入力データとしたNNを用いることで、耐火煉瓦の内部欠陥の有無を判別可能であることが確認できたが、欠陥の有無による「0」、「1」を出力値としているので、欠陥レベルの識別精度は明確でない。今後の課題として、健全度が異なる多数の学習データを用いて、出力値の改善を図ることで欠陥レベルの識別精度を向上させることが挙げられる。

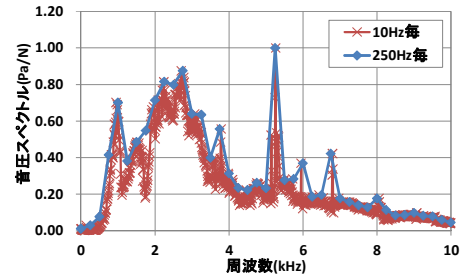


図-4 NNの入力データ

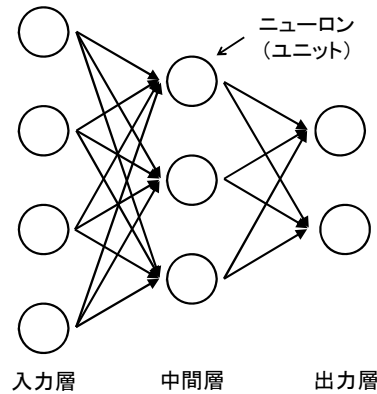


図-5 階層型ニューラルネットワーク

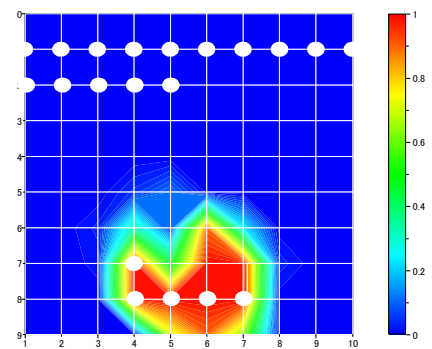


図-6(a) NNの出力(供試体A)

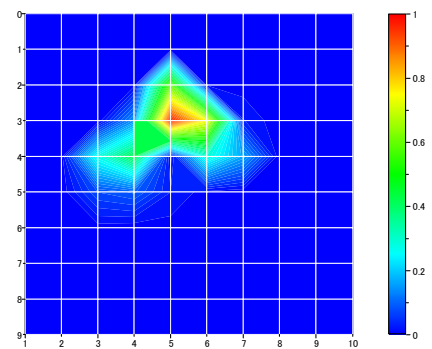


図-6(b) NNの出力(供試体B)