自己組織化マップを用いた耐火煉瓦の内部欠陥の評価法に関する基礎的考察

J

九州大学大学院	学生会員	○渡邊	達郎
九州大学大学院	学生会員	福井	雄気
九州大学大学院	正会員	園田	佳巨
、光オートメーション株式会社	非会員	上野	正人

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 者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とは否めない. この欠点を克服するため、種々の試みが行われているが、定量的な評価が容 易である音圧の大きさに着目した研究が多く、周波数特性まで総合的に考慮 した健全度診断の例は少ない.本研究は、打音法による耐火煉瓦の内部欠陥 の評価に自己組織化マップ(SOM)を適用したものである.すなわち、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の情報をもとに、 SOM を用いて健全と欠陥の判別及び劣化レベルの判定が可能か、検討を行 った.また、打音検査後に供試体を切断することで欠陥状況と SOM の配置 との関連性の検討を行った.

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で、両端から2cm の位置を金属棒で単純支持している.図-1中の円形領域内は、ハンマーに よる打撃時に異音が発生したため欠陥部であると推測される.まずは供試体 の音圧特性と周波数特性を把握するために、供試体表面を2cm間隔で格子 上に区切り、その格子点を入力荷重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離れた位置で打音を収録した.その際のサ ンプリング周波数は48kHzとし、100個の打撃点それぞれに対し、5回打撃 を行った.

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極めて音圧が大きく,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比をそれぞ れの打撃点について計算した.本研究では,次式のように0.1秒までの振幅 の絶対値の和を最大荷重で除し,打撃力のばらつきを考慮した.

実効値比 =
$$\frac{\int_{0 \sec}^{0.1 \sec} |A(t)| dt}{F_{\max}}$$

ここで、A(t)は時刻tにおける音圧、 F_{max} は打撃力の最大値である.この 式で得られる実効値比は、振幅の最大値が大きいほど、また、振幅が減衰し にくいほど大きくなる傾向を有している.次に、100 個の打撃点において算 出した実効値比をもとに作成したコンター図を図-3 に示す.この図より、



図-1 耐火煉瓦供試体



図−2 時刻歴波形





図-1 に示した打音不良区域とコンター図中の実効値比の大きい位置が一致 する結果となり、実効値比を用いて欠陥部の判別が可能であることが確認さ れた.

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-4 に示す. 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,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 付近に卓越周波数 が存在していることから,これらの周波数帯の音が欠陥情報を有することが 推察された.しかし,個々の欠陥位置で得られた打音の周波数特性を検討し た結果,欠陥の有無の判別は可能であるが,具体的な欠陥状態を判定するこ とは困難であった.

3.3 自己組織化マップ

周波数特性を用いて欠陥部を判別するために,化学分析などで測定スペクトルの評価に利用されている 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,入力層と出力(競合)層の2層で構成される.ここでは,SOM を作成する際に入力するデータとして,500Hz から 10kHz までの周波数スペクトルを 20Hz 毎にサンプリングした 476 個のデータ(476 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-5 に示す.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.さらに,SOM と図-3 との相関を取るために,それぞれの打点とコンター図の色を対応させ,実効値比の高い順に赤(打点 86),橙(打点 85),黄(打点 76),緑,水色,青で色付けしている.この図から健全部と欠陥部の区分が明瞭に行なわれていることがわかり,また,マップの右上エリアに,より実



図-5 自己組織化マップ



図-6 欠陥深さ分布



効値比の大きい打点が配置されていることから、左下から右上に行くにつれ、健全度が低下していると推定される.
次に、欠陥部の打点における欠陥状況を調査し、欠陥状況と SOM の配置の関連性の確認を行った.まず、供試体を 2cm
間隔でダイヤモンドカッターを用いて切断することにより欠陥部の広さ、深さ、厚さの調査を行った.図-6 に供試体を
切断して測定した欠陥深さの分布を示す.また、図中に記す点は図-5 で分類した色と同様の打点であり、実効値比が大
きかった点を示している.この図より、実効値比の大きかった点は欠陥の中心部に近い位置に分布していることが分かる.
これは、欠陥域の中心であるほど亀裂部分の振幅が大きくなるためと考えられる.また、実効値比が最大の打点 86 では
5mm、次に大きい打点 85 では 6mm、次に大きい打点 76 では 4mm の深さにそれぞれ亀裂が存在し、その深さはほぼ一定
であることが認められた.また、亀裂深さが同じ打点において実効値比が大きく異なるものも存在していたため、欠陥の
深さと SOM の配置の相関を判断することは現時点では困難であった.次に、欠陥厚さに関しての検討を行った.図-7 に
一例として、実効値比が最大の点と、3 番目に大きい点を通るラインで切断した断面を示す.実効値比が最大の点、3 番目の点ともに欠陥厚さは約 1mm 程度であった.他の殆どの欠陥は、厚さが 1mm に満たない状態であったため、打撃した
際に欠陥部分に大きい振幅が発生せずに実効値比も小さくなったものと考えられる.このことから、欠陥の厚さについて
は、一定の値以上になると有意な実効値比の差として検出され、SOM の配置において識別可能であると推測される.

4. 結論

打音の周波数特性を入力データとした SOM を用いて耐火煉瓦の健全度評価が可能で, SOM の配置を用いて欠陥の位置 と欠陥厚さを判別可能であることが確認できた.