

打撃応答特性を自己組織化マップに適用したコンクリート内部の欠陥評価

長岡工業高等専門学校	学生会員	○野内彩可
長岡工業高等専門学校	正会員	村上祐貴
長岡工業高等専門学校	非会員	井山徹郎
長岡工業高等専門学校	非会員	池田富士雄
長岡工業高等専門学校	非会員	外山茂浩

1. はじめに

平成24年12月に発生した中央道笹子トンネルでの天井版崩落事故を契機に道路法が改正され、平成26年7月に5年に1回の頻度を基本とした近接目視による定期点検の実施が義務付けられた。ここでは、必要に応じて打音検査等を併用することが示されており、これより、今後打音検査の需要が高まると推測される。しかしながら、生産年齢人口の減少が加速するわが国では、高度な専門知識と技能を有する技術者や技能者の数が減少しており、市区町村においては橋梁保全業務に携わる専門職員がいない自治体が存在するなど、熟練した技能や経験を要する打音検査による評価が困難な状況になりつつある。

そこで本研究では打音法に着目し、インパルスハンマと加速度センサを用いて打撃試験を行い、打撃の加振特性を考慮した周波数応答面積を自己組織化マップ (SOM) に適用することで、コンクリート内部の欠陥形状の評価について検討した。

2. 実験方法

試験体概要を図-1に示す。試験体は長さ900mm、幅900mm、厚さ180mmの床版形状を模した試験体である。試験体内部には内部欠陥を模した円盤状の人工欠陥(厚さ5mmのスチレンボード)を欠陥深さおよび欠陥直径を変化させ、計16個埋設した。欠陥位置は境界条件の影響を考慮し、同一直径の欠陥を試験体中心から対称の位置に配置した。この試験体では、試験体を裏返して打撃試験を行うことで、欠陥深さ90mm以深での打撃試験のデータも取得している。また、比較のため、人工欠陥を埋設していない健全床版試験体も作成した。多欠陥床版試験体および健全床版試験体は各2体作成し、以降それぞれの試験体を多欠陥床版A、B、健全床版A、Bと称する。

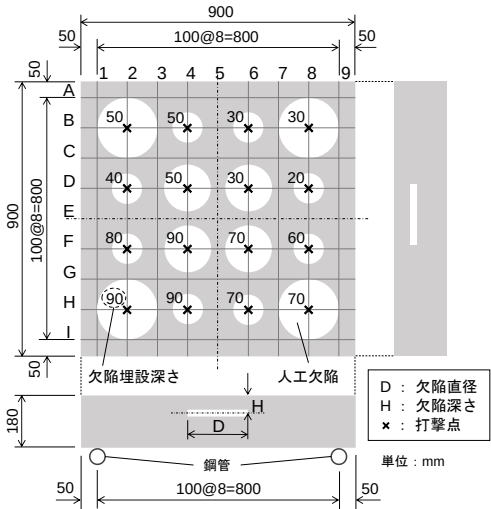


図-1 試験体概要 (多欠陥床版試験体)

図-1に示すようにメッシュを引き、その欠陥直上の交点を打撃点とした。打撃点は座標で表すこととし、例えば試験体中心部を打撃した場合の打撃点はE5となる。打撃の入力にはインパルスハンマ(周波数範囲:0~8kN, 打撃面の直径:5mm)を用い、打撃による表面振動の測定には加速度センサ(周波数範囲:2Hz~10kHz)を用いた。測定範囲は0~10kHz、データ数は2048とし、5回の打撃による平均を測定値として採用した。測定した入出力データはFFTアナライザによって高速フーリエ変換後、パソコンに記録した。

試験体は両端部から50mmの位置をφ50mmの鋼管で支持し、加速度センサは打撃点から30mm離れた位置に設置した。なお、加速度センサは厚さ0.4mmの粘着テープを用いて試験体表面に密着させた。

3. 実験結果

自己組織化マップ (Self-Organizing Maps, 以下SOM) とは、Kohonenによって提案されたニューラルネットワークアルゴリズムの1つである。SOMを用いた先行研究として

キーワード 非破壊検査, 打撃応答特性, 周波数応答関数, 自己組織化マップ

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888番地 長岡工業高等専門学校 TEL 0256-34-9276

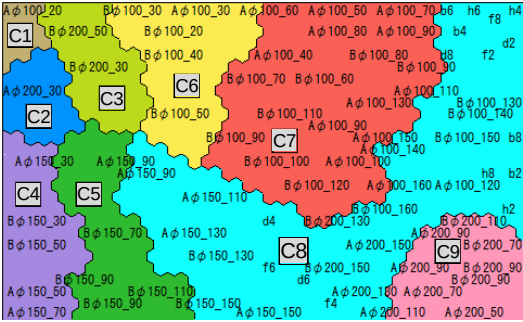
川端らは、供用中の橋梁の橋台部においてインパルスハンマとマイクロフォンを用いて打音試験を行い、音圧スペクトルに実行値比を乗じた入力スペクトルを入力データとして自己組織化マップに適用することで劣化診断が行えることを確認している。しかしながら、欠陥の大きさ、深さ、厚み等が同時に打撃応答特性に影響を及ぼすため、打音情報から欠陥情報を正確に診断できるまでには至っていない。

そこで本研究では、加速度センサの応答スペクトルをインパルスハンマの入力スペクトルで正規化した周波数応答関数をSOMに適用し、欠陥の大きさや深さを適切に評価可能かどうか検討した。

図-1 に示す多欠陥床版試験体A、B および健全床版試験体B に対し、各試験体2回打撃試験を行った。SOMに適用する入力データには、周波数応答関数グラフの面積である周波数応答面積を用いた。なお、事前実験により0～1 kHzの極低周波帯に境界条件の影響が表れやすいことが明らかとなったため、入力データ区間を1～8 kHz までとし、0.1 kHz 間隔で周波数応答面積を算出することで、計70 次元の入力データを作成した。また、ここで用いた周波数応答面積は2 回の打撃試験の平均値である。

SOM によるクラスタリング結果を図-2 に示す。SOM は縦軸・横軸の意味を有しておらず、グリッド上の順序はデータ内の近傍を反映している。また、SOM により生成されたクラスタは、入力データの類似性に基づいてクラスタリングされるため、各クラスタには欠陥情報が紐づいていない。本実験の場合、打撃点毎の欠陥情報(欠陥の直径や深さ)が既知であることから、各クラスタと欠陥情報の関連付けを行った。表-1 に各クラスタに分類された打撃点の欠陥直径と深さの一覧を示すように、各打撃点は欠陥直径および欠陥深さによって分類されている。特に欠陥直径の違いは明確に現れており、欠陥直径が小さいほど、欠陥の深さが深いほど、健全と同じクラスタに分類された。

次に各クラスタを特徴付ける特徴量について検討を行った。ここで表-1 に示す特徴属性とは、クラスタリングに寄与した周波数応答面積のうち、マップ全体の平均からの各クラスタの平均の偏差の値が大きい区間について抜き出したものである。C3 の特徴属性に着目すると、3800～4000 Hz の周波数帯が特徴として強く表れている。これはφ200 mm、欠陥深さが50～130 mm の欠陥の卓越周波数(周波数応答関数の加速度振幅が最大値を示した周波数)の周波数帯と一致する。C4 とC6 についてもC3



多欠陥：大文字、健全：小文字（打撃点）
例：Bφ200_30（多欠陥床版B：φ200 mm、深さ30 mm）

図-2 SOMによるクラスタリング
(多欠陥床版・健全床版)

表-1 各クラスタの特徴量

クラスタ (色)	欠陥形状	特徴属性 (Hz)
C1 (茶)	多欠陥A：φ100mm、深さ20mm	5200～5500
C2 (青)	多欠陥A：φ200mm、深さ30mm	3300～3600
C3 (黄緑)	多欠陥B：φ200mm、深さ30、50mm	3800～4000,7900
C4 (紫)	多欠陥A・B：φ150mm、深さ30～70mm	6200～6400
C5 (緑)	多欠陥A・B：φ150mm、深さ70～110mm	6300～6500
C6 (黄)	多欠陥A・B：φ100mm、深さ20～60mm	7600～8000
C7 (赤)	多欠陥A・B：φ100mm、深さ50～130mm	7600～8000
C8 (水色)	多欠陥A・B：φ100、150、200mm、 深さ90～160mm、健全：全て	7500～7700
C9 (ピンク)	多欠陥A・B：φ200mm、深さ50～110mm	4800,7700～7800

例：特徴属性 5200Hz は 5100Hz～5200Hz の周波数応答面積を示す。

と同様、各欠陥直径における卓越周波数の周波数帯の特徴量が強く表れている。また、C4 とC5 を比較すると、同一直径でも欠陥の深さによりクラスタが分かれ、深さが90～160 mm の欠陥の打撃応答特性は健全と同じクラスタに分類された。

これらのことから、本実験の範囲内においては、周波数応答面積を入力データとしてSOMに適用することで、欠陥深さ20～90 mm の範囲内において、欠陥の深さや大きさを適切に分類することができた。

4. まとめ

本実験の範囲内においては、周波数応答面積を入力データとしてSOMに適用することで、欠陥深さ20～90 mm の範囲内において、欠陥の深さや大きさを適切に分類することができた。

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論文集, Vol.33, No.1, pp.1763-1768, 2011