

回転式打音検査データを用いた SOM 図による健全度評価に関する基礎的検討

九州大学大学院 学生会員 ○二村 俊輔
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. 目的

近年、老朽化したコンクリート構造物の劣化・損傷に伴う耐久性の低下が数多く報告されており、それらを放置すると重大な事故の発生につながる危険性があるため、打音法などの非破壊検査法を用いた構造物の診断が幅広く行われている。しかし、通常の打音法における評価は検査員の能力に依存しており、テストハンマーによる検査では定量的な損傷度の評価は困難である。これまでに著者らが行ってきた検討で、入力荷重と発生音圧の比（振幅比）が打音の最も有効な特徴量であり、振幅比を考慮した打音データを用いることで、健全・欠陥個所の識別や欠陥レベルの推定が可能な自己組織化マップ（SOM 図）が描けることが確認されている。しかし、この方法を採用するには、インパルスハンマーかテストハンマーと加速度計を併用した検査が必要であり、簡易な打音法の利点が損なわれてしまうと言わざるを得ない。

本研究では回転式打音検査法で計測した打音データだけを用いた SOM 図を作成し、インパルスハンマーによる打音を用いた SOM 図と比較することで、回転式打音検査法で簡便性の利点を損なうことなく定量的な損傷度評価を行うことの可能性について検討してみた。

2. 回転式打音検査法の特徴

回転式打音検査は、図-1 に示すようなロッド先端に金属性の回転部を取り付けた検査器をコンクリート表面に押しあてながら回転させ、多面体の角部が回転・衝突する際に発生する打撃音を利用して、コンクリート内部の欠陥を調べる方法である。本手法の特徴として、通常のテストハンマーの振り下げ・衝突試験に比べて、打撃力のばらつきを大きく低減できることが挙げられる。また回転式打音法は、打音が異なる範囲を迅速かつ容易に把握できる作業効率が高い方法であることも挙げられる。

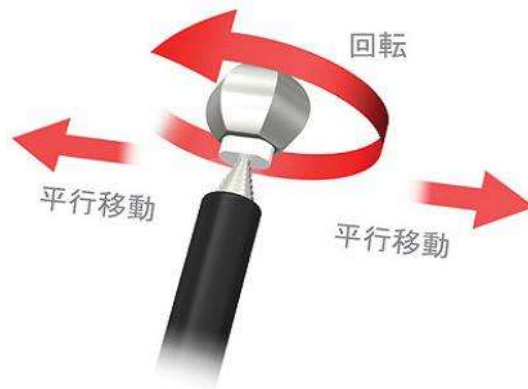


図-1 回転式打音検査器

3. 欠陥度評価

3. 1 自己組織化マップによる打音データの識別

自己組織化マップ（Self-Organizing Map, SOM と称す）は、Kohonen によって開発された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層で構成されており、出力データは視覚化するために2次元配列で表示される。SOM は教師なし競合学習に該当し、多次元の入力データの特性を分析し、類似性が高いデータは近く、低いデータはお互いに遠く配置することで、2次元の SOM 図上にデータ間の類似性を可視化することが可能である。本研究では、SOM に用いる入力データとして、全9橋を対象とした健全15箇所、欠陥14箇所の計29箇所で計測された結果を用いた。インパルスハンマーに関しては、打撃力のばらつきの影響を低減させるために、音圧の時刻歴波形を最大荷重で除した値を用いたが、回転式打音のデータに関しては、荷重補正を行わずに音圧の計測データにフーリエ変換を行っている。今回は得られた0.5kHz～10kHzの範囲の周波数スペクトルから0.1kHz毎にサンプリングした100個のデータ（100次元ベクトル）をSOMの入力値とした。なお、初期学習率係数は0.2、初期近傍サイズは30、学習回数は1万回とした。SOM 図ではユニット間の類似度がグレー色の濃淡で示され、類似度が低いユニット間は濃く表示される。

キーワード 打音検査法, 自己組織化マップ, K-means 法, 回転式打音検査法

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744 ウェスト2号館1102号室 TEL092-802-3370

3. 2 K-means 法による自己組織化マップの分類

健全から欠陥へと推移する欠陥度や欠陥状態の違いに関して、SOM によるグレーマップで打音データ間の分類を行うことは困難である。そこで学習済みの SOM 図を用いてさらに明確に区別するために、K-means 法の適用を試みた。本研究では、クラスタ数を 5 に設定し、学習済み SOM データのクラスタリングを行った。図-2(a) に回転式打音の結果、(b) にインパルスハンマーの結果をそれぞれ示している。図中には、試験時の検査者による健全・欠陥の判定結果を H・D で付記している。図-2(b) のインパルスハンマーを用いた結果より、最大スペクトルの値は欠陥が大きくなるほど大きく、健全になるほど小さくなるのが把握されているが、どちらの図においてもクラスタ 1 が最も健全で 2, 3, 4, 5 の順に欠陥度が大きくなるように分類されており、荷重補正を行っていない回転式打音法でも良好に識別できることが明らかとなった。

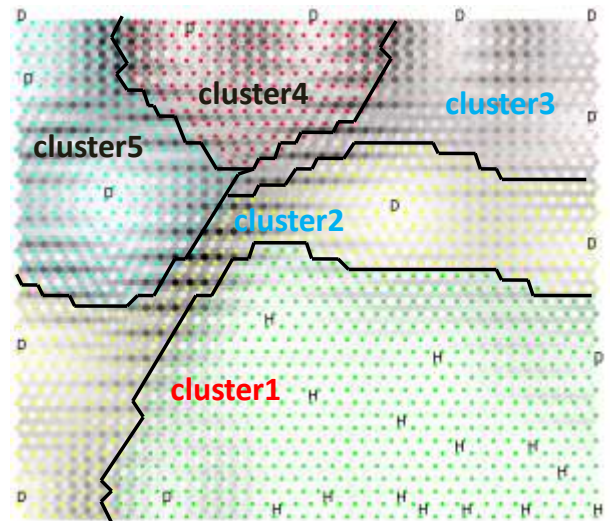
4. 欠陥判別の妥当性の検討

荷重補正を行わない回転式打音による欠陥レベルの識別能力について検討するために、5 段階のクラスタを欠陥 (大)・欠陥 (小)・健全の大きな 3 グループに分け、荷重補正を行ったインパルスハンマーの結果と比較した。ここでは、クラスタ 4・5 を欠陥 (大)、クラスタ 3・2 を欠陥 (小)、クラスタ 1 を健全と簡易に区分し、両者の結果の整合性を調べた。

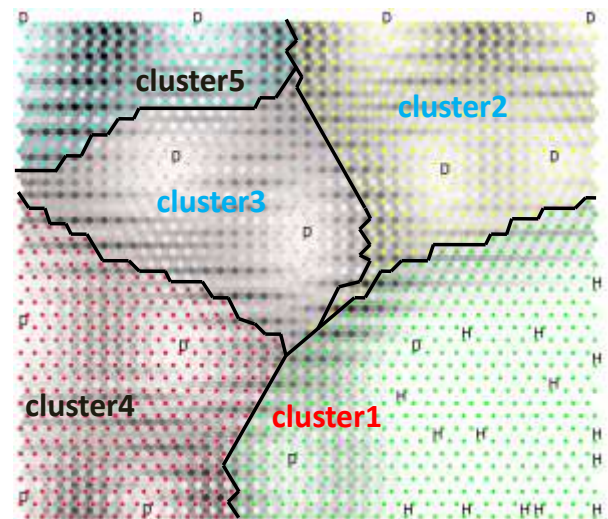
表-1 は、欠陥 (大)・欠陥 (小)・健全の 3 グループに分けられた打音データの調査箇所名を示しており、両者で同じ区分と評価されたものは黄色で示している。この表より、健全グループに区分されたデータ 17 個は、両手法で完全に一致 (健全箇所 15 箇所、欠陥 2 箇所) しており、いずれの手法を用いても健全と欠陥の識別は確実にできることがわかった。しかし、欠陥レベル (大)・(小) の判定に関しては、両手法の適合度が 40% 程度であり、欠陥レベルの正確な評価にはさらなる改善が必要であることが明らかとなった。

5. まとめ

本研究では、荷重補正を行わない回転式打音データを用いた自己組織化マップ図による欠陥の有無、欠陥レベルの推定精度について考察を行った。その結果、回転式打音データだけで健全箇所と欠陥箇所の識別は十分に可能であり、打音データのみを特徴量とした同手法が簡易な打音検査の利点を損なわない作業効率に優れた検査法となりうることを確認できた。しかし、欠陥レベルの評価には関してはインパルスハンマーによる結果との相違が見られ、改善の余地があることがわかった。今後の課題として、荷重補正を行わない回転式打音データだけを用いて定量的な欠陥レベルの判定が可能な識別法の確立が挙げられる。



(a) 回転式打音検査器



(b) インパルスハンマー

図-2 K-means 法の結果

	欠陥				健全
	欠陥(大)		欠陥(小)		
	クラスタ5	クラスタ4	クラスタ3	クラスタ2	
回転式打音検査器	shinbashi-D2	kagibun-D2	imakawa-D1	kagibun-D1	健全15箇所
	nuyama-D1	musashi-D2	imakawa-D2	musashi-D3	musashi-D1
	yoshi-D1		shinbashi-D1	nuyama-D2	neriwara-D1
インパルスハンマー				kinoshita-D1	
	musashi-D2	shinbashi-D1	kagibun-D1	yoshi-D1	健全15箇所
	nuyama-D1	imakawa-D1	kagibun-D2	nuyama-D2	musashi-D1
		imakawa-D2		musashi-D3	neriwara-D1
		kinoshita-D1	shinbashi-D2		

表-1 各分類ごとの調査箇所名