

機械学習を利用した打音法のコンクリート浮き部検出精度に関する研究

芝浦工業大学大学院 正会員 ○佐相 駿実
 芝浦工業大学 正会員 勝木 太
 (株) ポート電子 日比野 克彦

1. 背景と目的

現在、コンクリートの浮き・剥離の点検では、叩き点検が一般的に用いられるが、経験豊富な点検技術者の高齢化による点検技術者の不足が大きな問題となっている。この問題を解決するため、コンクリートの打撃音をマイクロフォンで集音・解析し、機械に判定させる打音法の実用化に向けて、多く研究が積み重ねられてきた。しかし、一般的な打音検査に用いる打音機器は高価で、処理や判定に専門的な知識が必要である。本研究では一般的な打音機器と比べて安価になるよう、コンクリート表面から発生する打撃音の収録に必要な最低限の性能を有し、浮き・剥離の自動判定が可能な機械学習を用いた打音機器を開発した。既に、浮きを模した供試体を作成して、供試体の浮きの中心部を叩いた場合を検証し、一定以上の大きさの浮きであれば、機械学習を用いて浮きを検出できることを確認している。しかし実際の点検時、浮き部の中心にハンマーが当たるとは限らない。本研究では、浮き部と健全部の境界を叩いた場合や、浮き部の中心以外の場所にハンマーが当たった場合の、浮きの検出精度と判定について検証した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

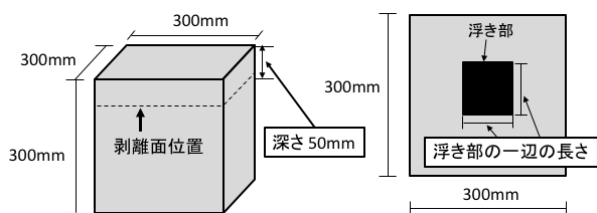


図-1 供試体1のイメージ図

本研究では、1辺が300mmの立方体の供試体(供試体1)と、500mm×500mm×200mmの供試体(供試体2)の2種類とした。供試体1のイメージ図を図-1、供試体2の浮き部の配置図を図-2にそれぞれ示す。供試体は全てコンクリート製とした。各供試体には欠陥部の他に教師データ取得のための健全部が確保された。供試体1では厚さ2mmの正方形のスチレンシートで浮き部を模擬し、浮きの大きさは、

1辺の長さが40mm, 70mm, 80mm, 90mm, 100mmの5種類とした。供試体2では厚さ20mmの円形の発泡スチロールで浮き部を模擬し、浮き部の直径は50mm, 80mm, 100mmの3種類とした。なお、表面から浮き部までの長さは全て50mmとした。

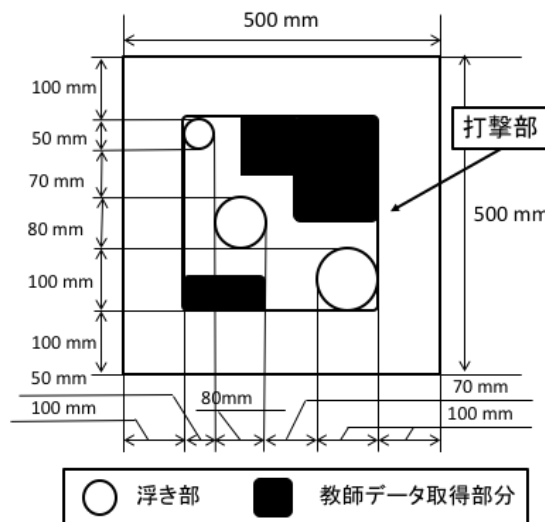


図-2 供試体2の浮き部の配置図

2.2 使用機材と判定メカニズム

本研究では機械学習により浮き部を自動で判定するためのソフトウェアを開発した。ソフトウェアには安価なハードウェアで計算処理ができ、少ない教師データ数での判定が可能であるよう、機械学習のアルゴリズムにK近傍法を採用した。データは、時間波形を高速フーリエ変換(FFT)して周波数波形に変換した後、音圧(dB)の特徴量を周波数帯で390分割して、分割された特徴量を掛け合わせた、390次元の座標を持つベクトルデータとした。測定データから最も近い座標にある教師データAと、2番目に近い教師データBとの距離を1として、教師データBと測定データの距離を判定基準距離(スコア)とした。スコアの値から浮きの有無を判断する閾値を本研究では1.6とした。また、取得可能な周波数は、異常音の卓越周波数を取得できる2-10kHzとした。取得可能な周波数を限定することで機材の価格を抑えた。

キーワード コンクリート, 非破壊検査, 機械学習, 打音法, 点検手法, 叩き点検

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 研究棟L-32 芝浦工業大学勝木研究室 TEL03-5859-8359

2.3 実験手順

本研究では、最初に最適な教師データ数を決定するための予備実験を行なった。供試体の健全部を1回打撃することにより、1個の教師データが得られる。取得する教師データ数を5個から13個の9ケースで比較した。それぞれのケースの教師データを取得した後、供試体の健全部を10回ずつ叩いた。この予備実験をそれぞれのケースで4セット行った。予備実験の結果、供試体1、供試体2、共に教師データ数7個が最適となった。予備実験の結果に基づき、それぞれの健全部で教師データを7個ずつ取得し、浮き部の中心(中心部)、中心と境界の中間(中間部)、境界の内側10mm、境界直上、境界の外側10mmをそれぞれ10回ずつ打撃した。スコアが閾値以上の場合“浮きあり”、スコアが閾値未満の場合“浮きなし”とし、“浮きあり”と判定した確率を記録した。また、取得された波形とスコアも記録した。供試体1の打撃部の写真を図-3に示す。

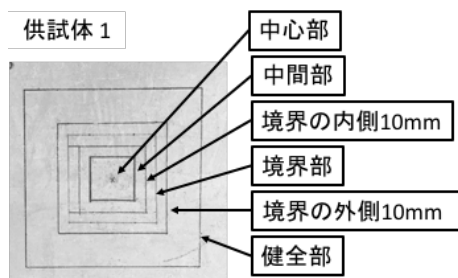


図-3 供試体1の打撃部の写真

3. 実験結果及び考察

実験結果を表-1に示す。供試体1で1辺の長さが40mmの浮きの場合、図-4に示す教師データと図-5に示す測定データの卓越周波数が同じ場所で確認できる。しかしながら1辺の長さが70mmよりも大きな浮き場合、図-6、図-7に示すように、教師データと測定データの波形の形状が異なる。このように波形の形状が明らかに違う場合のスコアは閾値を越える。機械学習ソフトの特性上、波形の形状が異なると、ベクトルの値が大幅に変わるため、スコアが大きくなりやすくなると考えられる。また、検出可能な浮き部の場合、表-2に示すように中心から離れるほどスコアの値が下がる傾向がある。浮き部の中心を叩くと単純なたわみ振動をするが、浮き部と健全部の境界に近づくにつれて振動が複雑となり、単純なたわみ振動をする場合に比べて振幅も小さくなるため、卓越周波数が2-10kHzの間にいくくなる傾向があると考えられる。なお供試体1の1辺の長さが90mmと100mmの浮き部と、供試体2の直径100mmの浮き部、それぞれの境界の外側10mmで“浮きあり”と判定されている。これは、浮き部が健全部により拘束されているため、大きな

浮きの場合には健全部の打撃振動の影響を受け、浮き部に振動が生じ、その振動音を集録している可能性がある。

表-1 浮きの検出確率

	供試体1					供試体2		
	浮き部の1辺の長さ (mm)					直径 (mm)		
	40	70	80	90	100	50	80	100
中心部	0	60	70	100	100	0	100	100
中間部		30	50	60	100	0	70	100
境界の内側10mm		10	30	30	60		0	100
境界の直上	0	20	0	20	50	0	0	100
境界の外側10mm	0	0	0	10	30	0	10	60
健全部	0	0	0	0	0		0	

%

表-2 スコアの平均値

	供試体1					供試体2		
	浮き部の1辺の長さ (mm)					直径 (mm)		
	40	70	80	90	100	50	80	100
中心部	0.98	1.62	1.77	2.61	5.89	1.00	2.64	5.23
中間部		1.37	1.60	1.89	3.10	0.89	1.79	5.85
境界の内側10mm		1.22	1.38	1.45	2.40		1.27	3.55
境界の直上	0.85	1.29	1.26	1.42	1.98	1.26	1.07	3.34
境界の外側10mm	0.79	1.03	1.11	1.34	1.37	1.07	1.01	2.20
健全部	0.85	1.05	1.10	1.02	1.10		0.80	

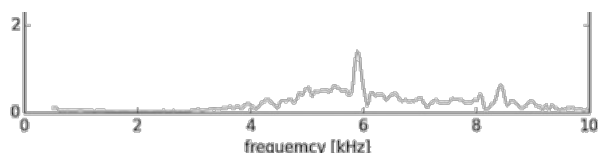


図-4 教師データの波形(浮き部40mmの供試体)

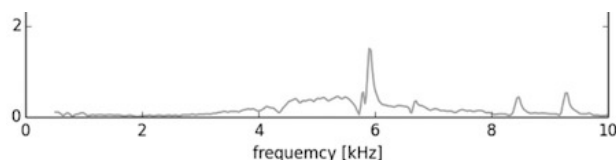


図-5 浮き中心部の波形(浮き部40mmの供試体)

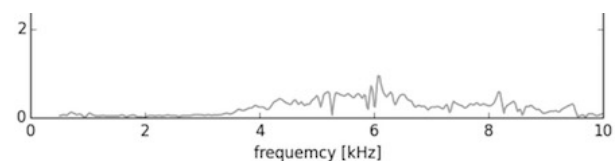


図-6 教師データの波形(浮き部70mmの供試体)

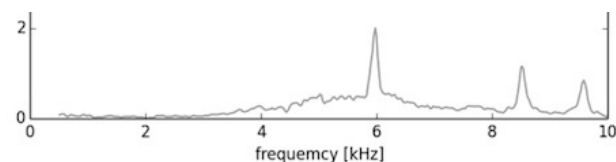


図-7 浮き中心部の波形(浮き部70mmの供試体)

4. まとめ

- (1) 機械学習では教師データで得られた波形の違いから欠陥を検出することが可能である。
- (2) 浮きの中心部から端部に行くに従って検出確率が落ちる傾向がある。