

機械学習を利用した打音法によるコンクリート浮き部検出に関する基礎研究

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○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・剥離点検において最も多く用いられている手法に叩き点検がある。しかし経験豊富な点検技術者の高齢化により、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、これまでの打音法に用いられた機器は高価でかつ処理や判定に専門的な知識が必要であったため、汎用的に広く利用されていない。そこで本研究では打音収録に必要な最低限の性能を有し、浮き・剥離判定の機械学習による自動判定化に向けた安価な打音検査機器を開発した。本研究の機械学習は、点検時に健全な周波数波形を教師データとし、浮き・剥離部を検出させるところに大きな特徴がある。本研究では、機械学習による欠陥検出能力の精度を次の2つの実験で検討する。【実験1】では鉄筋間剥離と表面への剥離伸展長さを、【実験2】ではコンクリート内の剥離の大きさと深さをパラメータに、浮き・剥離判定精度の検証をそれぞれ行った。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

【実験1】 健全な供試体を1体、剥離部を模した供試体を表-1に示す9体、計10体作製した。剥離部は鉄筋腐食によって生じるひび割れを模している。供試体の寸法は、縦300mm×横300mm×厚さ100mmで、φ16mmの丸鋼を鉄筋間隔100mmでかぶり50mmの箇所に、2本平行に配筋した。

【実験2】 表-2には供試体の浮き部（剥離上部コンクリート）がたわみ振動したと仮定したときの1次固有振動数を(式1)により用いて求めたものを示した。

$$f = \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \times \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (\text{Hz}) \quad \dots \text{(式1)}$$

各パラメータは、 f ;固有振動数(Hz)、 L ;浮き大きさの1辺(m)、 E ;弾性係数(N/m²)、 I ;断面二次モーメント(m⁴)、 ρ ;供試体密度(kg/m³)、 A ;面積(m²)である。

開発機器は、10kHzの波形データまで計測可能であるため、表-2の10kHz以下の領域にあたる21体と、10kHzより値が大きい領域から3体、健全な供試体1体、計25体を作製した。供試体の寸法は、縦150mm×横150mm×厚さ150mmである。

表-1 【実験1】の供試体欠陥パターン

	剥離の長さ(幅は一定)		
	50mm	100mm	150mm
A.表面まで剥離伸展	A-50	A-100	A-150
B.深さ25mmまで剥離伸展	B-50	B-100	B-150
C.鉄筋間の剥離のみ	C-50	C-100	C-150

表-2 【実験2】の供試体欠陥パターン

剥離の大きさ \ 深さ	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
10mm×10mm	153.29	306.59	459.88	613.18	766.47
20mm×20mm	38.32	76.65	114.97	153.29	191.62
30mm×30mm	17.03	34.07	51.10	68.13	85.16
40mm×40mm	9.58	19.16	28.74	38.32	47.90
50mm×50mm	6.13	12.26	18.40	24.53	30.66
60mm×60mm	4.26	8.52	12.77	17.03	21.29
70mm×70mm	3.13	6.26	9.39	12.51	15.64
80mm×80mm	2.40	4.79	7.19	9.58	11.98
90mm×90mm	1.89	3.79	5.68	7.57	9.46
100mm×100mm	1.53	3.07	4.60	6.13	7.66

(kHz)

なお【実験1】及び【実験2】の剥離は、厚さ1mmのポリエチレンシートを用いて再現した。養生方法はそれぞれ封緘養生を行った。

2.2 機械学習による浮き部判定方法の概要

本研究では機械学習による浮き部欠陥を自動で判定できるソフトを開発した。機械学習には様々な手法があり、比較的サンプルが少ない場合においても利用できる利点から、K近傍法を採用した。点検対象構造物の健全部で教師データを現地で集め、その

キーワード：機械学習、打音法、鉄筋腐食、剥離、教師データ、点検手法

連絡先：〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 研究棟 L-32 TEL: 03-5859-8359

データを基準とした判定が直ちに可能である。K 近傍法により健全部の教師データと近い波形と判断された場合は”Good”，判断されない場合は”Bad”，即ち浮き・剥離部の可能性が高いと判定される。

2.3 教師データの最適な数

本実験における判定に必要な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。健全な供試体を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2, 5, 9, 13個の4ケースで比較を行った。それぞれのケースの教師データを取得した後、健全な供試体を10回ずつ叩いた。この予備実験をそれぞれ4セット行った。【実験1】では教師データ数9個で、【実験2】では教師データ数13個で、それぞれ約90%の確率で判定できたことから、最適な教師データ数と判断しそれぞれ実験を行った。

2.4 打音装置による判定方法

打撃および収録方法は、【実験1】及び【実験2】で共通である。図-3に打音装置を示す。健全な供試体から9個及び13個の教師データを記録した後、コンクリートの剥離部を模した供試体を打撃・収録する。なお判定精度を確認するため、剥離部を模した供試体1体につき10回ずつ機械学習により自動判定させ、コンクリートの剥離部を模した供試体を打撃した際に、”Bad”と判定する確率を求めた。

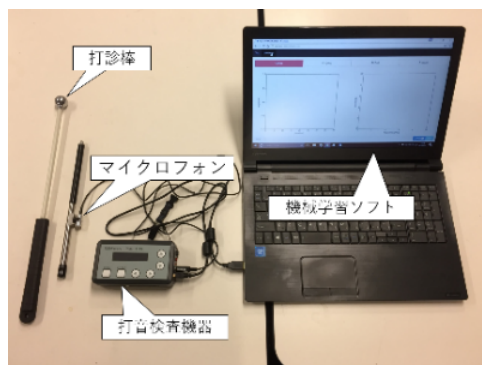


図-3 使用機材

3. 実験結果及び考察

【実験1】及び【実験2】の欠陥判定精度の検証結果を、表-3及び表-4にそれぞれ示す。

表-3 【実験1】の結果

	剥離の長さ(幅は一定)		
	50mm	100mm	150mm
A.表面まで剥離伸展	100%	100%	100%
B.深さ25mmまで剥離伸展	100%	100%	100%
C.鉄筋間の剥離のみ	100%	100%	100%

表-4 【実験2】の結果

剥離の大きさ	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
10mm × 10mm			60%		
20mm × 20mm					
30mm × 30mm				60%	
40mm × 40mm	100%				
50mm × 50mm	100%				30%
60mm × 60mm	100%	100%			
70mm × 70mm	100%	100%	100%		
80mm × 80mm	100%	100%	100%	100%	
90mm × 90mm	100%	100%	100%	100%	100%
100mm × 100mm	100%	100%	100%	100%	100%

【実験1】では、伸展度合い・剥離の長さの違いによらず全てのパターンで、100%の確率で欠陥を検出できた。最も検出しにくいと予測されたC-50の固有振動数は、剥離の大きさが116mm×84mm、深さが50mmで、約5.7kHzとなり、後述する【実験2】の結果からも分かるが、表-2における検出可能な領域であった。

【実験2】では表-2の10kHz以下の21パターンは100%の確率で欠陥を検出できた。しかし10kHzを超える3パターンの浮き部の検出確率は60%以下であった。機器の波形処理性能が10kHzであるため、10kHz以上のたわみ振動をする浮き部は理論上検出できない。本実験のK近傍法の閾値は判定指標の1.2倍に設定しており、1.2倍以下の値だと”Good”，1.2倍を上回る値だと”Bad”と判定させた。10kHz以下の試験体は2.6～12.7倍であるのに対し、10kHzより値が大きい領域の3体は約1.2～1.5倍の値を示していた。したがって、供試体が小さく、かつ叩き方による誤差等が原因で閾値を超えたと考えられる。この誤差が閾値に与える影響は小さいため、閾値の設定倍率を2.0程度に再設定することが望まれる。理論上判定できない浮き部の誤診を避け信頼性を確保するための処置として必要であると考えている。

4. まとめ

- (1) 表-2に示した10kHz以下の領域に該当する浮きであれば、開発した打音装置と機械学習法により自動で判定できる。
- (2) 健全なコンクリートを”Good”と判定する能力を向上するために、教師データの取得方法・数及び、K近傍法のプログラムに改善の余地がある。

謝辞

本研究の一部は公益財団法人 東京都中小企業振興 公 H28 年度先進的防災技術実用化支援事業より助成を受け実施いたしました。