

ウェアラブルデバイス計測に基づく打音法の高度化に関する検討

東京工業大学 学生会員 ○小林 将吾, 正会員 竹谷 晃一, 正会員 佐々木 栄一
正会員 伊藤 裕一, 正会員 阿久津 絢子

1. はじめに

多くの構造物が老朽化を迎え、事故防止のために定期点検の必要性が高まる中、低コストかつ簡便な点検として打音法が広く用いられている。しかし打音法の精度は検査員の技量に依存するため、データの数値化や判断の自動化が求められている。近年ではロボット技術による全自動検査手法が注目されているが、コストや運用保守の面から導入が難しいケースが多く、検査員による検査が依然として主流である。そこでウェアラブルデバイスを用いて誰でもできる打音法が開発されているが、熟練検査員の技量に相当する検査精度やノイズ耐性、検査効率に課題がある¹⁾。

そこで本研究では、ウェアラブルデバイス計測によって熟練検査員のレベルを代替できるレベルの打音法の実現を目指した。ウェアラブルデバイスを用いた計測手法を複数考案し、各手法の特徴を比較検討した。また熟練検査員の技量に相当する深さ 10cm までの空隙欠陥を対象とし、ニューラルネットワークを用いた欠陥判別を行い、その精度を検証した。

2. ウェアラブルデバイス計測手法の特徴比較

ウェアラブルデバイスの測定方法を複数提案し、測定実験により応答特性を比較した。ウェアラブルデバイスの構築にあたっては、軽量性の確保、打音検査時の作業性の確保の2点を重視した。構築した5種類のデバイスを図1に示す。

計測は東京工業大学緑ヶ丘実験棟のコンクリート壁面で行った．使用した機器を表 1 に示す．より確実に応答を得るためには，図 2 に示すように，打撃位置とマイクの位置関係を考慮する必要性が高いことが分かった．すなわちマイクの向いている方角に打撃点があると，応答を得やすい傾向が見られた．一方音圧周波数分布については，図 3 に示すように手法による差はほとんど見られなかった．よって衝撃振動による影響は，周波数分布にはほとんど現れないことが分かった．

3. 固定マイクとの特徴比較

ウェアラブルマイクと固定マイクの計測を比較することで、特徴量にどのような差があるかを調べた。

実験対象は、図4に示すように、直径5~30cmの発

キーワード 打音法, ウェアラブルデバイス, 自動欠陥判別, 衝撃荷重特徴量

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-M1-23 緑が丘 1 号館 5F 東京工業大学 佐々木研究室

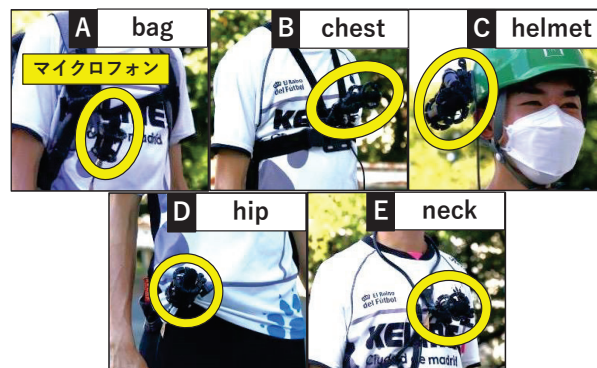


図1 計測手法案

表 1 計測機器

マイクロフォン	378B02(PCB)
インパルスハンマー	086D03(PCB)
データロガー	NR-600(KEYENCE)

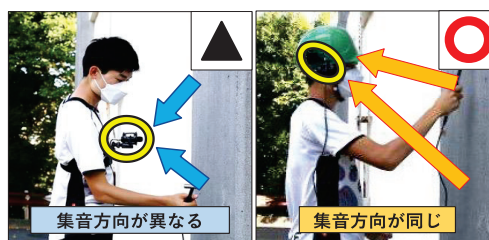


図2 集音方向と音圧応答の関係

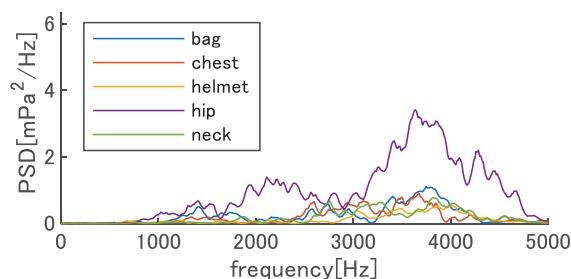


図3 各手法の PSD 分布

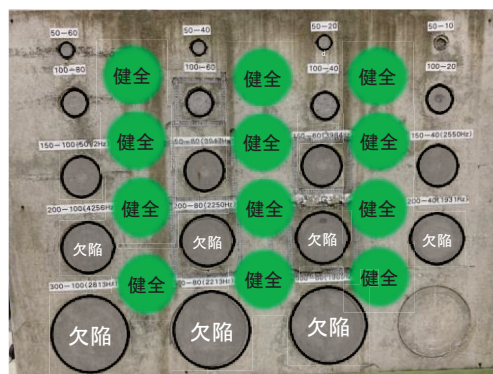


図4 実験対象

泡スチロールを深さ 2~10cm に埋設して空隙欠陥を模擬した、コンクリート供試体を用いた。測定方法は、ウェアラブル手法として応答の良かった helmet 型、bag 型を採用した。衝撃荷重と音圧に加え加速度データも測定した。

図5のように、直径が大きくなるほど、ウェアラブル測定手法の方が音圧応答は大きくなることが分かった。また周波数分布は、図6のように深さが浅いほど差が生じることが分かった。

4. ニューラルネットワークを用いた欠陥判別

ニューラルネットワーク（以下 NN）を用いて欠陥判別を行った。

4.1 学習データの測定と特徴量評価

3章と同じ試験壁を用いて、helmet 型の計測手法で 18 箇所の欠陥(N=1007)、12 個の健全点(N=880)から打撃データを得た。そして計 77 個の特徴量（衝撃荷重、音圧、

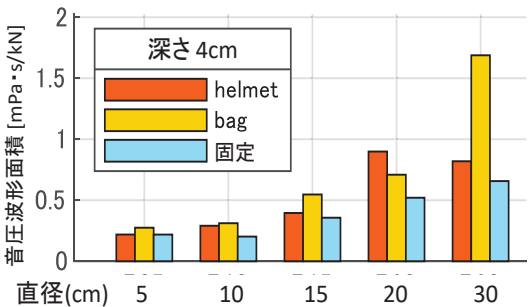


図5 固定マイクとの比較結果

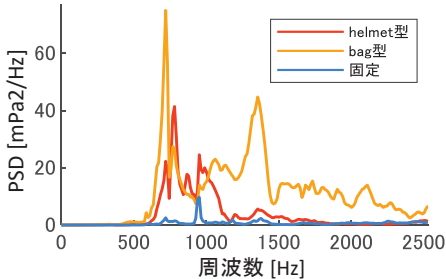


図6 PSD 分布(深さ 4cm, 直径 30cm)

表2 NN の構成

層構成	入力層/全結合層: 2 / 出力層
活性化関数	全結合層: Tan-Sigmoid 出力層: Softmax
学習関数	SGDM
ミニバッチサイズ	256
学習率	0.0008
モーメントム	0.90
学習終了条件	分類精度0.95に到達
損失関数	交差エントロピー
入力データ	特徴量ベクトル
出力データ	欠陥/健全 (2)

表3 欠陥判別正答率（％，全箇所平均）

	helmet型計測(4.2章)	荷重特徴量のみ(4.3章)
欠陥部	94.2	89.9
健全部	78.1	85.8
全体	86.7	88.0

加速度) について、欠陥分類における重要度を竹谷ら²⁾の方法に基づき評価し、上位 24 個の特徴量を NN の学習に用いることとした。

4.2 NN による欠陥の分類

欠陥判別に用いた NN の構造を表2に示す。交差検証により分類の正答率を求めた。表3に全箇所平均正答率を示す。欠陥部では約 95％，健全部では約 80％の正答率となった。

4.3 ウェアラブルデバイス計測打音法の効率化

ウェアラブルデバイス計測打音法の改善のアプローチとして、衝撃荷重特徴量に着目した。その主な理由としては、

- 1) 4.1 の特徴量評価で上位を占めていた
- 2) 音圧応答に比べ、耐ノイズ性が高い
- 3) 携行品が荷重計付きハンマーのみで利便性が向上が挙げられる。すなわち精度・利便性の向上が見込める。
- このような背景により、衝撃荷重特徴量のみを用いた欠陥分類を試みた。

4.2 章と同じ学習データから、4 つの衝撃荷重特徴量（平均衝撃荷重、力積、最大衝撃荷重、衝撃荷重継続時間）を用いて学習を行った。交差検証の結果を表3に示す。この結果、健全部の分類精度が約 7％向上した。また欠陥部はほぼ同じ精度となり、欠陥部を含めた全体としては約 90％の正答率が得られた。よって衝撃荷重特徴量のみを用いた欠陥分類が有効であることが示された。

5. おわりに

本研究では、ウェアラブルデバイス計測手法による打音法を比較し、各手法の特徴を検討した。打撃位置とマイクの位置関係を考慮する必要性が高く、直径が大きいほど固定マイクより優位であることが分かった。またニューラルネットを用いた欠陥判別では、特に欠陥部の正答率が高いことが示された。さらにノイズ耐性向上とデバイス簡素化を目的として、衝撃荷重特徴量に着目した判定を試み、健全部の判別精度が向上することを示した。

謝辞：計測は佐藤工業株式会社歌川紀之様のサポートにより実施されました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 北川真也，鍋谷雅司，高橋浩，伴亭，歌川紀之：健全診断ポータブルの開発-打音法によるコンクリートの診断-，佐藤工業株式会社技術研究所報，34号，pp.9-15，2009
北川真也，鍋谷雅司，高橋浩，伴亭，歌川紀之：健全診断ポータブルの開発-打音法によるコンクリートの診断-，佐藤工業株式会社技術研究所報，34号，pp.9-15，2009
2) 竹谷晃一，佐々木栄一，范書舒，伊藤 裕一：時間・周波数領域の特徴量評価とニューラルネットワークを用いた打音法の感度向上と効率化，AI・データサイエンス論文集，2巻(2021)J2号，pp.721-732，2021