

音伝播特性に対する機械学習を用いた照明柱の疲労き裂検出

東京工科大学	正会員	○天野 直紀
琉球大学	正会員	田井 政行
琉球大学	正会員	下里 哲弘
琉球大学	非会員	櫻井絵里加
株式会社 南伸	正会員	久米 仁司

1. 目的

インフラの老朽化は大きな社会問題となっている。特に照明柱、標識柱といった柱状の構造物（以降、照明柱）は膨大な数が設置されている。その疲労等に起因するき裂の発生はその後の倒壊の兆しを表す重要な事象である。このため、小さなき裂の発生を検出し、その進展を計測することができれば、安全の確保かつ効率的な補修などの対処が可能となり、インフラ対処のコストを大きく軽減すると期待できる。

既存のき裂の発生および進展の検出のための手法としては、磁粉探傷試験や超音波探傷試験がある。これらの手法では表面の塗膜を除去したり、比較的大型・高価な装置を精密に設置しなくてはならず、き裂の発生および進展の検出の手間や金銭的なコストが大きい。

本論文ではこれらの問題を解決しうる手法として、簡易な装置による音伝播を計測し、機械学習によるデータ分析手法を適用することでき裂の発生や進展に伴う特性の変化を見出すことを試みた。これにより、最終的に照明柱のき裂の発生および進展検出のコストを大きく軽減する手法を明らかにすることを目的とする。

2. 音伝播データの計測装置構成と試験体

予備実験では撤去された照明柱に対する計測・検出実験（き裂なし4本、き裂あり4本。塗膜の除去なし。発信音は可聴音ド262Hz）を行い、提案手法に基づいて良好な認識精度が得られた。この成果に基づいて本論文では市販されている安価な圧電スピーカー（SPT15）とMEMSマイク（SPU0414HR5H-SB）を用いた発信・録音装置を作成した。圧電スピーカーから可聴音（ド262Hz・ミ330Hz・シ494Hz）を発信し、発信前・発信中・発信後にMEMSマイクでそれぞれ録音（55kHzで256サンプリング）した。これらの機器はARDUINO MICROに接続し、計測データはARDUINOをUSB接続したPCで収集した。

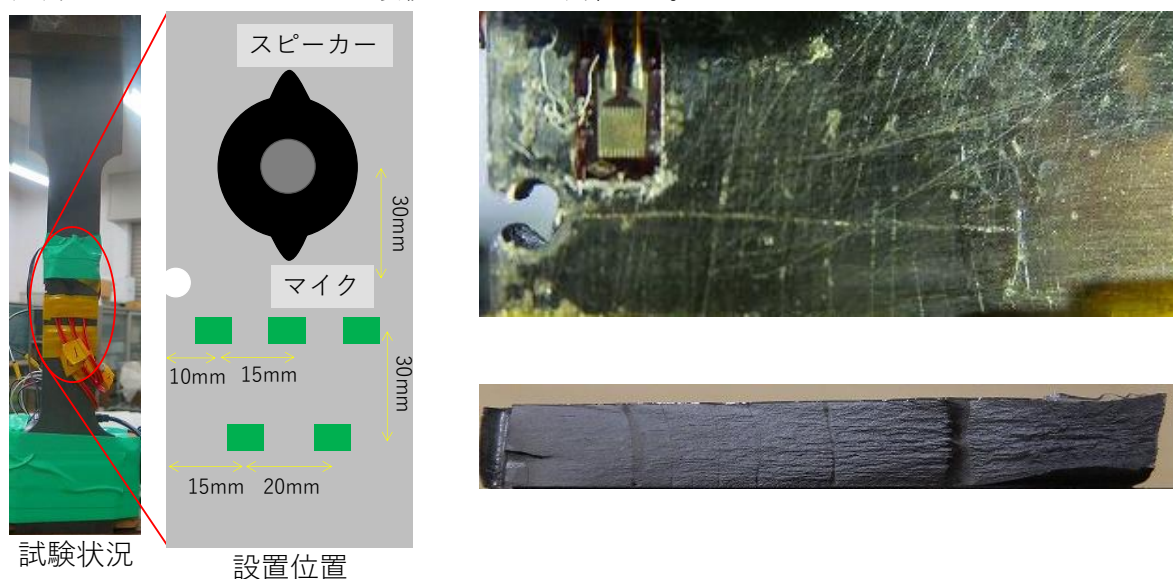


図 1 試験体とスピーカー・マイクの設置、き裂の進展状況、破面のビーチマーク

キーワード 照明柱, き裂, 検出, 進展, 機械学習

連絡先 〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1 東京工科大学 TEL 042-637-2111

本論文での実験では実験室内の試験体に対し、圧電スピーカー1つに対し、MEMS マイクを5つ設置して計測を行った。これは多様なデータを記録するためである。き裂の進展については 1mm, 5mm, 13mm, 15mm, 16mm, 18.5mm, 24mm, 33mm で計測を行った（破面のビーチマークより測定）。

機械学習には発したスピーカーID、録音したマイク ID、録音データのパワースペクトルを用いた。データ処理には Microsoft Azure Machine Learning Studio を利用した。以下のいずれの処理においても、データは 50%:50%でランダムに教師データとテストデータとに分割した。

3. 機械学習によるき裂の発生と進展の検出

まずき裂の有無を検出するという視点でデータ分析を行うこととした([1])。学習モデルとして Multiclass Neural Network Model を用いた。き裂の長さを連続性のないクラスとして扱い、いずれに分類されるかという意味で教師データを用いたトレーニングとテストデータに対する分類を行った。その結果をき裂のあるなしで集計したところ、全体としての正答率 (Accuracy) は 95.4%となった。

次にき裂の進展を検出するため、学習モデルとして Neural Network Regression を用い、教師データによりき裂長さと音響データとの関連を学習した。この学習モデルを用い、テストデータに対してき裂長さの予測を行った (図 2)。グラフは横軸がき裂長さ、縦軸が推定値を示す。

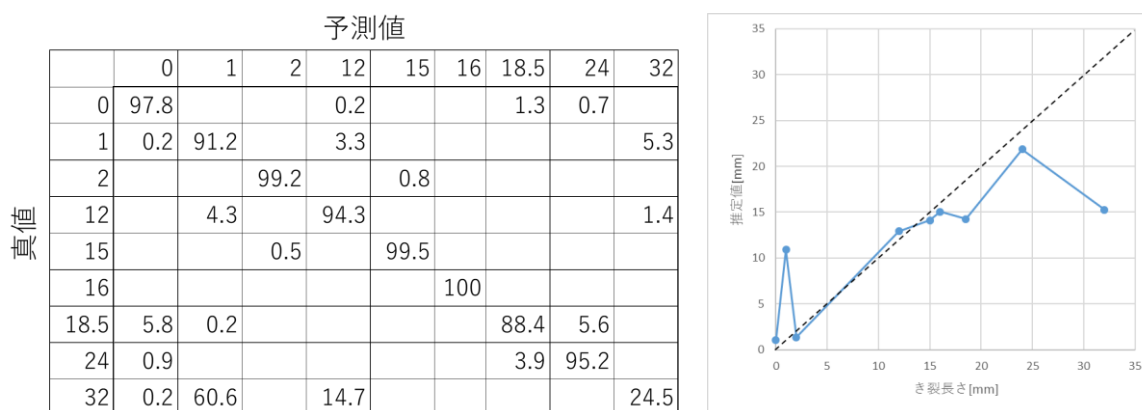


図 2 き裂の有無の検出・き裂進展の推定

長さの推定値としてみると 2mm~16mm まではほぼ線形で精度よく、24mm まではほぼ線形と見なしてもよいのではないかと考えられる。一方でき裂長さが 1mm, 33mm のときの推定値が大きく外れている。なお、このときの機械学習としての評価指標値は MAE=4.88, RMSE=7.44 であった。

き裂の進展を検出するという視点でこのグラフを見てみると、き裂長さが 2mm~24mm の区間では、全体として右肩上がりの直線となっており、き裂の進展を検出可能であることを示唆している。

5. おわりに

本論文では照明柱のき裂の発生と進展の検出を行う、低コストな装置と機械学習を用いた一手法の試みを報告した。き裂の有無については Accuracy が 95.4%という比較的高い数値が得られたことから、今後の改善によって十分な精度が得られる見込みがある。き裂の進展に関してはき裂長さが 2mm~24mm の区間では線形的な傾向が見られた。このことから実用的な進展の検出が可能であると期待できる。

き裂長さが 1mm のときの推定において大きな誤差が生じた原因は、き裂が小さすぎることから音響特性の変化が小さく、局所的に過学習が起きたのではないかと推測する。この点は計測条件から定まる計測精度の限界を示唆している可能性が高い。き裂長さ 33mm ではき裂が大きくなりすぎて、音響変化の性質が変わってしまったのではないかと推測する。これらの点は今後の検討課題であり、多様なデータを蓄積し、より適した機械学習アルゴリズムとスピーカー・マイクの選定等を行い、実用的な知見を獲得していく計画である。

参考文献

- [1] 櫻井絵里加, 天野直紀, 田井政行, 下里哲弘, 久米仁司, 音伝搬特性の機械学習を利用した疲労き裂検出の試み, 土木学会 西部支部沖縄会, 2018.1