

E-2

Kernel-SVM を用いたワイヤロープ健全性評価への連続ウェーブレット変換による特徴量の算出 Calculation of Feature by Continuous Wavelet Transform for Wire Rope's Soundness Evaluation using Kernel-SVM

大塚賢哉¹, ○宮本響², 青木義男³Kenya Ohtsuka¹, *Hibiki Miyamoto², Yoshio Aoki³

Abstract: Discovering regularities from a single species of time-series data used in the abnormality detection technique, it is difficult to perform the identification of discrimination and deterioration degree of the damage factor of the wire rope is a technique for performing fault detection and prediction. In this study focused on correlation of time series data obtained from the plurality of kinds of sensors, the continuous wavelet transform(CWT) and principal component analysis(PCA) from the detected values at the wire rope flaw detector according to experiments using a multi sensor the feature amount extracted, by performing classification by kernel support vector machine(K-SVM), and consider the possibility of an abnormally detection technology and soundness evaluation method of the wire rope. In addition, compared with those obtained by extracting limit the frequency components in accordance with the strand pitch of the wire rope from the results of frequency analysis, obtained by extracting a feature amount and the feature amount using the wide frequency region obtained by CWT evaluated, indicating the effectiveness of the identification of discrimination and deterioration degree of the damage factor of the wire rope.

1. 緒言

ワイヤロープの健全性評価として、磁気センサを用いた漏洩磁束探傷法による損傷箇所の同定を行っている。しかし、ワイヤロープは細い鋼線が連なって構成されているため、損傷が小さい場合はワイヤロープを構成するストランド間に発生する漏洩磁束によって、損傷の漏洩磁束の同定は難しくなっている。また、ワイヤロープの主な損傷要因である素線破断では、ワイヤロープ表面にみられる外部素線破断と心網側にみられる内部素線破断の2種類の素線破断が存在するが、磁気センサのみで行われる現行の手法では、外部と内部の素線破断の違いを判別することが難しい。そのため、本研究では磁気センサ単一ではなく、光学式センサを組み合わせた複合センシングによる外部と内部の素線破断の損傷判別を行う。光学式センサは光の反射の違いから形状を計測するため、ワイヤロープ表面に損傷が存在する場合、損傷を同定することが可能である。これより、外部と内部の素線破断の判別要因として光学式センサを用いる。

また、異常検知技術に用いられている単一種の時系列データから規則性を発見し、異常検知及び予測を行う手法ではワイヤロープの損傷要因の判別や劣化度合の同定を行うことが困難である。そこで、本研究では複数種のセンサより得られた時系列データの相互関係に注目し、複合センシングを用いたワイヤロープの損傷検知システムによる損傷検知実験において検出された値から連続ウェーブレット変換 (CWT : Continuous

Wavelet Transform) と主成分分析 (PCA : Principal Component Analysis) を行うことで特徴量を抽出し、機械学習の手法の一つであるカーネルサポートベクターマシン (K-SVM : Kernel Support Vector Machine) による分類を行うことで、ワイヤロープの異常検知技術と健全性評価手法としての可能性を検討した。加えて、CWT によって周波数分析した結果よりワイヤロープのストランドピッチに合わせて周波数成分を限定し、特徴量を抽出したものと CWT で得られた広い周波数領域を用いて特徴量を抽出したもので比較評価を行い、ワイヤロープの損傷要因の判別や劣化度合の同定への有効性を示す。

2. SVM を用いた損傷判別

SVM を適用させるための前処理として特徴量の導出を行う。先行研究⁽¹⁾では損傷検知実験で得られた実験データ $h(x)$ から正常パターンを抽出し、相互相関係数を用いて特徴量の抽出を行ったが、正しく判別することは難しかった。これはワイヤロープが複雑な構造体であることから測定データが多くノイズを含んでいることが原因の一つと考えられる。そこで、距離(時間)成分を残しつつ、周波数成分の解析を行うことのできる CWT を用いて損傷の特徴量の抽出を行う。 $h(x)$ のマザーウェーブレット $\psi(x)$ による CWT は式 (1) となる。

$$X = (W_{\psi}h)(b, a) = \text{def} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{|a|} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \cdot h(x) dx \quad (1)$$

1 : 日大理工・院(後)・精機 2 : 日大理工・学部・精機 3 : 日大理工・教員・精機

ここで、 X は c (周波数 [1/mm]) \times d (距離 [mm])の結果を得る。今回得られた結果はストランドピッチである 54 [mm] 付近の周波数に限定した 54 \times 1800 の行列と損傷の周波数が特定できない場合に高い冗長性を得るために周波数をストランドピッチの 4 倍まで広げた 216 \times 1800 の行列を作成した。このデータはセンサによって個体差が生じているため、相関行列を用いてデータの一般化を行った。このままの行列では SVM を用いて 2 クラス分類をすることが難しいため、周波数の情報 c を PCA を用いて次元圧縮を行い、K-SVM による分類の特徴量の導出を行った。

PCA を次元低減に使用する場合は、 $j \times k$ 次元 (j 行 k 列)の変換行列 W を作成する。これにより、サンプルベクトル x を新しい k 次元の特徴部分空間に写像できる。この k 次元の特徴部分空間は元の c 次元の特徴空間よりも次元が低い。

$$\begin{aligned} x &= [x_1, x_2, \dots, x_c], x \in \mathbb{R}^j \\ &\downarrow xW, W \times \mathbb{R}^{j \times k} \\ z &= [z_1, z_2, \dots, z_k], z \in \mathbb{R}^k \end{aligned} \quad (2)$$

線形モデルによる分類は直線で分類するため、損傷判別には不適である。そこで、カーネル関数を使って入力空間を高次元の特徴空間と呼ばれる内積空間に写像して、特徴空間上でマージンが最大となるように超平面を決定することで分類を行う方法を用いた。今回、カーネル関数にはラジアル基底関数 (RBF) カーネルを用いた。

3. SVM による分類結果

磁気センサで得られたデータにはマザーウェーブレットとして Paul のパラメータ 8 を使用し、光学式センサで得られたデータには Mexican Hat を使用して CWT の解析を行った。また、2 種のセンサで K-SVM の解析を行う場合はそれぞれのセンサの周波数を 1 次元まで低減し、組み合わせを行い磁気センサと光学センサでそれぞれ 1 軸を設け、2 次元にすることで特徴量とした。本研究では CWT で得られた結果の周波数成分をストランドピッチの長さ (54 [mm]) に限定したものとストランドピッチの 4 倍の 216 [mm] まで広げたものを用いた周波数成分による比較評価を行う。

評価ラベルは正常を 1、損傷箇所を 0 としたものを作成した。損傷ラベルは目視で確認した損傷箇所から前後 30[mm]をポイントとし、計 240 ポイントを作成した。外部素線破断での各分類結果と損傷ラベルを図 1~3 に示す。

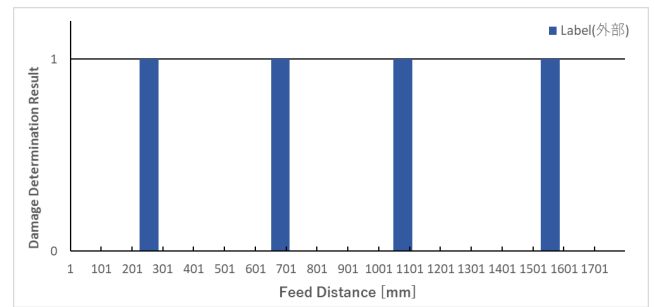


Figure1. Damage determination label of external breakage

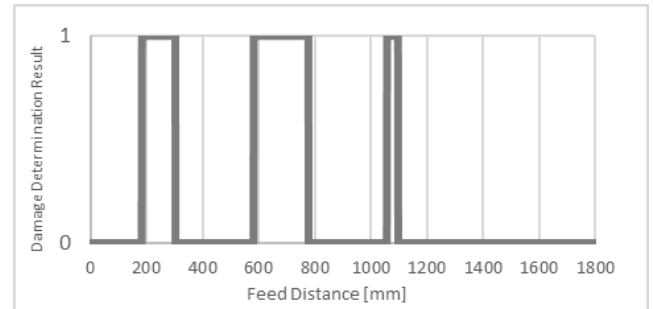


Figure2. Damage determination result of external breakage (magnetic & optical No.6 PCA-1, Frequency1~216[1/mm])

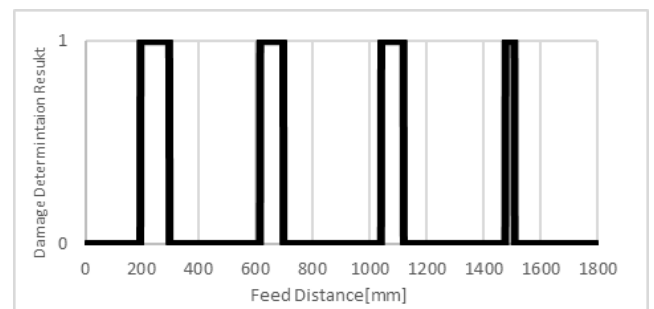


Figure3. Damage determination result of external breakage (magnetic & optical No.6 PCA-1, Frequency1~54[1/mm])

4. 結言

K-SVM による分類に使用する特徴量として、本研究で用いた CWT と PCA より算出した特徴量を用いた手法の中で周波数成分を限定することで精度と損傷の検出数は向上した。これより、対象のワイヤロープに応じて CWT の周波数成分を限定することで損傷要因の判別を行うことができる可能性を示すことができた。

5. 参考文献

- [1] 青木義男, 安富淳哉:「GMR センサアレイ型ワイヤロープ検査機: 複数センサー配置による損傷劣化の種別と位置の特定」, 検査技術, Vol.20, No.6, pp.1-5, 2015
- [2] 大塚賢哉, 青木義男:「ワイヤロープの健全性評価への Kernel-SVM と複合センサデータの応用」, Dynamics and Design Conference 2019 講演論文集, No.435