

機械学習を用いた送電用鉄塔の異常検知の基礎的検討

東京理科大学

学生員

○鈴木

昇志

東京理科大学

正会員

佐伯

昌之

東電設計株式会社

正会員

栗原

幸也

1. 研究背景と目的

架空送電設備は厳しい自然条件に晒されているため、電力の安定供給に支障をきたすことがある。例えば、ギャロッピングと呼ばれる現象は着氷した送電線に対して、ある風速の風が作用したときに、揚力などの空気力が発生し、送電線を大きく揺らす。他にも、送電線に付着した雪が一斉に脱落することによって送電線が大きく揺れるスリートジャンプという現象がある。これ等の現象により、送電線が近接・接触し、短絡を引き起こすことがある⁽¹⁾。また、これらの現象に地震を加えた3つの現象は他の現象と比べ甚大な被害を送電用鉄塔にもたらす可能性が高い⁽²⁾。

これらの現象による疲労、損傷等を調べるため巡視・点検が行われている⁽³⁾。これには膨大な費用を要しており、効率的な巡視・点検による省力化が求められている。

そのため、著者らはギャロッピング、スリートジャンプ、送電用鉄塔に被害を与える可能性がある地震動などの発生を検知するモニタリングシステムの開発を目指している。これまで基礎的検討として、300cm程度の支柱の先端にケーブル張力を与えた実験装置を準備しデータを確保した。そして、それらの加速度波形をNN(Neural Network)に学習させ、現象を判別できるか検証した⁽⁴⁾。

本研究では実際の点検の簡便さから、脚部付近における加速度センサの設置が望ましいと考え、支柱下部の加速度波形の分類を試みた。

2. データセットの説明

本研究の実験装置の概略図を図-1に示す。図-1中の H は支柱の高さで3.00m、 L_1, L_2 は支間長で7.20m、 H_{e1}, H_{e2} は水平張力で5.0kgfである。 h は加速度センサの設置位置で地上高さ0.10mとした。支柱にケーブルを架線しただけの常時微振動の加速度波形と、ケー

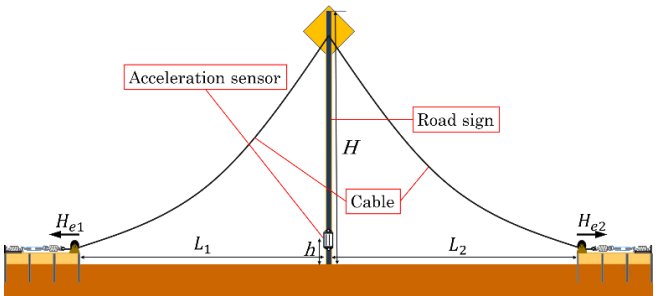


図-1 実験の概略図

ブルを人の手で揺らすことでギャロッピングとスリートジャンプを模擬して加速度波形を取得した。

取得した加速度波形のデータ数はそれぞれ常時微振動が216波形、ギャロッピングが132波形、スリートジャンプが100波形である。なお、これらのデータはサンプリング周波数125Hz、データ長2048点、計測時間16.384sで計測した。

3. NNモデルの実装

(1) 加速度の時系列波形を入力データとした分類

2. で説明したデータセットを正規化しNNモデルに入力して分類した。分類精度が高いNNモデルを構築するために、まず中間層を検討した。中間層の層数を1層から6層までの6パターン用意し分類精度を算出した。表-1に中間層の層数ごとのノード数の組み合わせと、その場合の正答率を示す。なお、エポック数を400で固定し、5分割のk分割交差検証をした。

表-1 中間層の構造ごとの正答率(%)

層数	1層	2層	3層	4層	5層	6層
ノード数の組み合わせ	1000	1000-500	1000-500-200	1000-500-200-100	1000-500-200-100-50	1000-500-200-100-50-20
正答率	64.7	68.0	71.3	76.3	73.7	71.3

キーワード：ギャロッピング、スリートジャンプ、機械学習
連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科：04-7124-1501

表-1 から中間層は 4 層(1000-500-200-100)の組み合わせが最も正答率の高いことが分かる。

次に、中間層は 4 つで固定し、エポック数を 100 から 500 で 100 ずつ変化させて正答率を算出した。その結果を表-2 に示す。表-2 より、エポック数 400 の場合が最も高い 76.3%の正答率であることが分かる。ここまでの検討から、最も高い正答率を算出した NN モデルは入力層が 800 次元、中間層 1000-500-200-100 次元、出力層が 4 次元の 6 層の構造であり、エポック数を 400 とした場合であった。以後、このモデルをモデル A とする。

表-2 エポック数ごとの正答率の変化

	エポック数				
	100	200	300	400	500
正答率(%)	63.1	66.6	69.3	76.3	69.8

(2) 加速度の包絡線を入力データとした分類

次に、他の特徴量として加速度波形の形状に着目し、包絡線を用いた。まず、加速度の時系列波形をフーリエ変換することでフーリエスペクトルを算出する。このフーリエスペクトルの正側の周波数成分の振幅を 2 倍し、負側の周波数成分を 0 に置換する。そして、逆フーリエ変換すると、時系列波形が複素数で出力される。その複素数の絶対値を時系列に並べ、包絡線を算出した。加速度波形を正規化した後の常時微振動、ギャロッピング、スリートジャンプの包絡線を図-2 に示す。

加速度波形を正規化した後の包絡線を入力データとし、モデル A にて分類した。その時の正答率は 70.4% となった。入力データを正規化後の加速度波形とした場合よりも正答率が下がった。そこで、より波形形状の特徴を強調するため、正規化を行わず包絡線を学習させた。その結果は 99.7%という高い正答率を示した。

この正規化を行わない場合の方が正答率が高くなる原因を調べるため、3 つの現象の RMS 値の平均を算出した。常時微振動が 0.0013[m/s²]、ギャロッピングが 0.0030[m/s²]、スリートジャンプが 0.0286[m/s²]となり、それぞれで大きく値が離れていることが分かる。つまり、モデル A は振幅の情報を主な特徴量として分類したと考えた。

しかし、正規化を行わない加速度波形を入力データとしてモデル A で分類すると、その正答率は 75.0%であった。正規化を行った場合の加速度波形を入力デー

タとした場合と比べ 1.3%正答率が下がった。このことから、振幅の情報のみで分類している訳ではないことが分かる。

今後の課題として、なぜ包絡線の場合は、正規化を行わないことで、高い正答率を示すのか検討する必要がある。

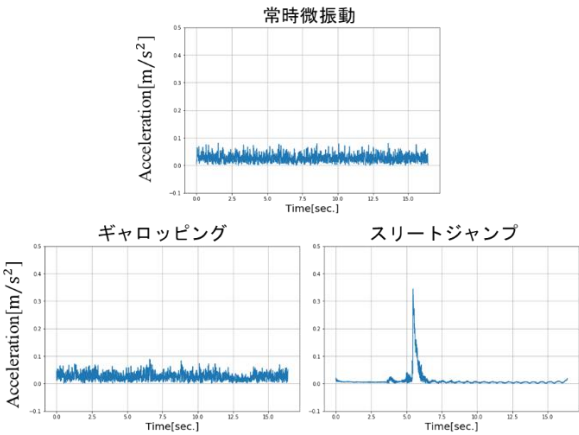


図-2 現象ごとの包絡線

4. まとめ

本研究では送電用鉄塔に発生する異常振動を基礎的に実験し、NN を用いて分類を行った。NN の特徴量は正規化を行わない加速度波形の包絡線とすることで高い精度の分類が期待できる。しかし、実務では振幅の情報は誤報に繋がる場合があるので、実現場の状況を踏まえた高い分類精度のモデルの構築をする。

参考文献

(1) 電力中央研究所報告：「送電設備の雪害対策研究の現状」，電中研 TOPICS, Vol.5, pp.2-11 (2011 年 1 月)
(2) 電気共同研究：第 65 巻第 3 号
(3) 電力中央研究所 研究報告書：「送電用鉄塔の腐食等に対する健全性評価技術に関する研究 -第1期（2012～2014）の成果-」，電力中央研究所報告，2016/10
(4) 鈴木昇志：「送電用鉄塔の異常振動検知手法の検討」，令和 2 年電気学会 電力・エネルギー部門大会，No.49(2020)