

数値シミュレーションによる架空送電線及び送電鉄塔の異常振動データの生成

元東京理科大学 学生員 ○長岡 修司
 東京理科大学 学生員 鈴木 昇志
 東京理科大学 正会員 栗原 幸也
 東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. 研究背景と目的

全国に送電用鉄塔は約 24 万基存在する¹⁾。その中には、厳しい自然環境下にさらされているものもあり、電力を安定供給するためには送電機能の維持管理が不可欠となる。特に、冬季には雪が原因でギャロッピングやスリートジャンプといった送電ケーブルの鉛直方向大振幅振動現象が発生することがある。この現象によって電線の短絡事故や鉄塔、碍子装置の疲労損傷が発生する可能性があり、この現象の発生が予想された場合には該当する電線、鉄塔の巡視点検が行われている。

著者らは巡視点検の省力化を行うためのモニタリングシステムの開発を目指している²⁾。このシステムでは、送電用鉄塔に加速度センサを取り付けて振動を計測し、その加速度データを機械学習によって分類することで異常を検知することを想定している。本研究の目的は異常振動データの生成である。機械学習を行うためには大量のデータが必要となるが、上記の現象の発生は稀なことから実際の鉄塔からデータを得ることが難しい。そのため、電力中央研究所が開発した「CAFSS」³⁾を用いて、ギャロッピング発生時の鉄塔の加速度データを生成することを本研究の目的とする。

2. CAFSS による送電線及び送電用鉄塔モデルの作成

3次元非線形有限要素解析コード「CAFSS」を用いて送電用鉄塔とそれに対応する規模の送電線モデルを作成した。鉄塔は送電用鉄塔の中では比較的大規模で、塔高は 95.2 m、材料は構造用鋼管、形状は四角鉄塔とした。この鉄塔に対応する架空送電線は 4 導体送電線が用いられ、材料は ACSR410、径間は 400 m、弛度は 12.427 m とした。また電線には、両端 7.2 m に質量 119.525 kg の碍子装置、電線 10 か所に質量 2.0 kg の径間スペーサを設置した。

作成した送電用鉄塔、送電線モデルそれぞれ単体で実固有値解析を行った。その結果、鉄塔モデルの線路方向の一次固有振動数は 1.411 Hz となった。また、4 導体送電線の水平 1 ループ 1 次固有振動数は 0.159 Hz となった。この結果から、実際の鉄塔、送電線の固有振動数と矛盾しない値であることが確認された。

3. 電線モデルのギャロッピング解析

上記の 4 導体送電線と送電用鉄塔を接続した状態のモデルでギャロッピング解析を行うと、本研究で使用する一般的な PC では解析時間が長くなる。そのため 4 導体送電線モデル単体でギャロッピング解析を行い、ギャロッピングが発生しやすい条件を定め、解析の時間短縮を図った。ここで 4 導体送電線の両端は固定端とした。また、著者らの目的から、ギャロッピングによる鉛直方向の変位によって短絡が発生することが問題となるため、ここでは鉛直方向に 4 m 以上変位するものをギャロッピングとした。

4 導体送電線モデルに対して表-1 の条件を満たすよう初期着氷角と迎角を変えた 9 通りのギャロッピング解析を行った。その結果、初期着氷角 0 度かつ吹上角 0 度で迎角 0 度、初期着氷角 0 度かつ吹上角 10 度で迎角 10 度、初期着氷角 20 度かつ吹上角 0 度で迎角 20 度の 3 通りの条件で鉛直方向の大振幅振動現象が見られ、ギャロッピングの発生が確認できた。特に初期着氷角 20 度、吹上角 0 度の条件では鉛直方向に約 8 m の変位を確認できた。図-1 に電線の径間中央における変位(軌跡)を示す。

キーワード 送電鉄塔, 架空送電線, ギャロッピング, CAFSS

連絡先 〒278-0022 千葉県野田市山崎 2641 5 号館 2F 構造工学研究室 TEL 04-7124-1501

表-1 解析条件

平均風速	10 m/s
乱れの強さ	0.15
初期着氷雪角	-20, -10, 0, 10, 20 度
吹上角	0, 10 度
迎角	0, 10, 20 度
電線地上高さ	70 m
応答値の出力時間間隔	0.05 s
解析時間	240 s

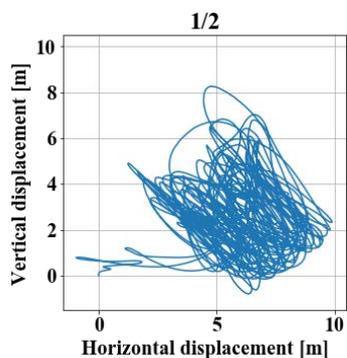


図-1 電線中央の軌跡

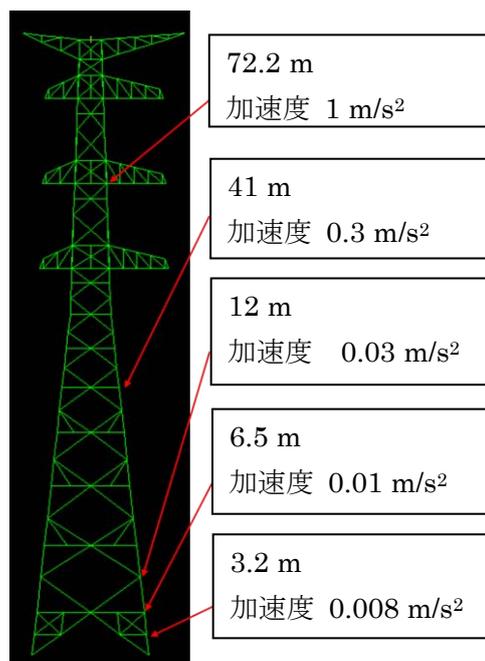


図-2 鉄塔部材の加速度

4. 送電鉄塔と送電線を接続させたモデルでのギャロッピング解析

4 導体送電線と送電用鉄塔を接続したモデルに対して、3章のギャロッピングが発生した条件でギャロッピング解析を行った。ここで使用するモデルは、鉄塔に対して12本電線を接続させたモデルを用いる。また、電線両端の一方は鉄塔と接続させもう一方は固定端とし、12本のうち一本の電線のみ風を与えた。その結果、3通りの条件すべてでギャロッピングの発生が確認されなかった。このような結果になった原因として、電線を鉄塔と接続させたことで電線の両端のうち一方が固定端ではなくなったため張力が変化したことが考えられる。そのため、元の3通りの条件から初期着氷角を少し変化させ、ギャロッピングの発生が確認されるまで繰り返し解析を行った。その結果、初期着氷角15度かつ吹上角0度で迎角15度の条件でギャロッピングの発生が確認された。

図-2に鉄塔上部、中部、脚部3点で得られた線路方向の加速度を示す。鉄塔上部の加速度の振幅は1 m/s²以上あるのに対して中部では0.3 m/s²程度、地面から12 m地点では0.03 m/s²程度、地面から6.5 m地点では0.01 m/s²程度、地面から3.2 m地点では0.008 m/s²程度と地面に近づくにつれ加速度の振幅が小さくなることが分かった。また、ギャロッピングが発生した場合、発生しなかった場合に比べて、鉄塔脚部の加速度の振幅が5倍程度大きくなり、加速度波形にも振幅の増減が多いという特徴がみられた。

5. まとめ

機械学習で用いる鉄塔脚部の加速度データを生成するために、3次元非線形有限要素解析コードである「CAFSS」を用いて、鉄塔に電線を接続させたモデルでギャロッピング解析を行った。その結果、鉄塔の加速度データが得られた。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、電力中央研究所の清水幹夫博士には「CAFSS」の操作について丁寧にご指導していただきました。ここに深く感謝して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 松宮 央登：4導体送電線のギャロッピング現象の解明と制振対策に関する研究，京都大学 2016-03-23
- 2) 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)
- 3) 清水幹夫：送電線のギャロッピング解析コードCAFSSの機能拡張とその適用事例，電力中央研究所，N10027，2011-05