

着氷雪送電線のギャロッピングによる最大応答振幅の簡易推定

電力中央研究所 正会員 ○松宮 央登
 電力中央研究所 正会員 清水 幹夫
 電力中央研究所 非会員 垂石 早紀

1. はじめに

架空送電線において、着氷雪時にギャロッピングが発生すると、電線間が接近して短絡事故に繋がる可能性がある。事故発生時の原因究明などを行うため、有限要素法を用いた時刻歴応答解析ツールが開発され、電力各社に用いられてきた[1]。一方、事故を防ぐためには、適切な対策を施してギャロッピングの発生を抑えるか、ギャロッピング発生時にも短絡事故に至らないように電線間の離隔距離を確保することが必要になる。設計時や保守運用時には、膨大な設備数に対する評価が必要となり、耐ギャロッピング設計のためには、ギャロッピングにより発生し得る最大応答振幅をなるべく簡易に評価することが必要である。

本研究では、様々な架線条件を対象にした時刻歴応答解析結果に基づき、簡便に最大応答振幅を評価する方法を検討する。

2. 解析手法および解析条件

3次元非線形有限要素解析コードCAFSS[1]を用いて、時刻歴応答解析を実施した。解析対象の4導体電線の構造諸元を表1に、解析ケースを表2に、解析モデルの一例を図1に示す。電線はトラス要素（並進3自由度）に軸周りの回転自由度を加えたケーブル要素で、スパーサは梁要素でモデル化した。三角状の着氷雪（着氷雪高さ：直径の半分）を有する各素導体に作用する空気力は、準定常理論に基づき算出した。ここでは、4導体電線における風上側導体の後流の影響は考慮せずに、全ての素導体において単導体電線の定常空気力係数[2]により準定常空気力を算出した。各解析ケースに対して、初期着氷雪角（無風時の着氷雪角度、先端上向きが正）、平均風速（乱れ強さ一定：0.15）を変数として、時刻歴応答解析（評価時間600秒）を実施した。

解析結果の一例として径間内の1/2, 1/4地点における4導体電線の中心の軌跡を図2に示す。図2(a)はパフティングによる横振れ振動が

表1 構造諸元

線種	ACSR410, 4導体電線
着氷雪形状	三角状
着氷雪高さ	直径の半分
電線直径	28.5×10^{-3} m
電線質量	1.673 kg/m
電線伸び剛性	3.942×10^7 N
導体間隔	0.4 m
構造減衰	水平1次固有振動数と2.0Hzにおいて、減衰定数0.5%となるRayleigh減衰

表2 径間長と弛度・張力の組合せ

径間長	弛度	張力/条	SP 個数
100 m	0.58 m	35.3 kN	3 個
200 m	2.61 m	31.5 kN	5 個
300 m	6.27 m	29.4 kN	7 個
400 m	11.5 m	28.5 kN	10 個
400 m	12.6 m	26.1 kN	10 個
600 m	27.7 m	26.6 kN	14 個
800 m	50.8 m	25.8 kN	18 個

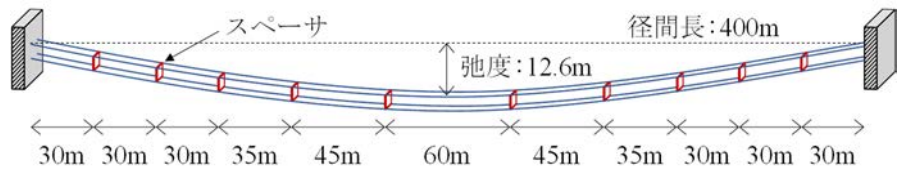
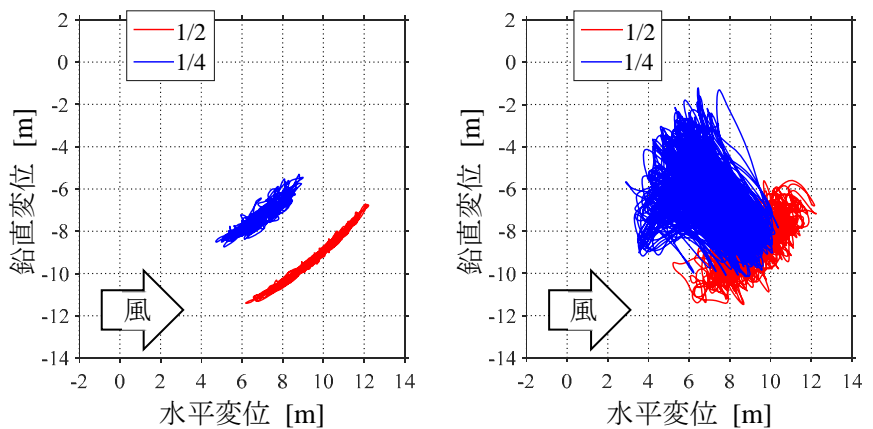


図1 解析モデルの一例（径間長 400m, 弛度 12.6m）



(a) 初期着氷雪角：-30度 (b) 初期着氷雪角：30度
 図2 電線軌跡の一例（径間長 400m, 弛度 12.6m, 平均風速 20m/s）

キーワード 架空送電線, 着氷雪, ギャロッピング, 無次元風速

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 一般財団法人電力中央研究所 TEL04-7182-1181

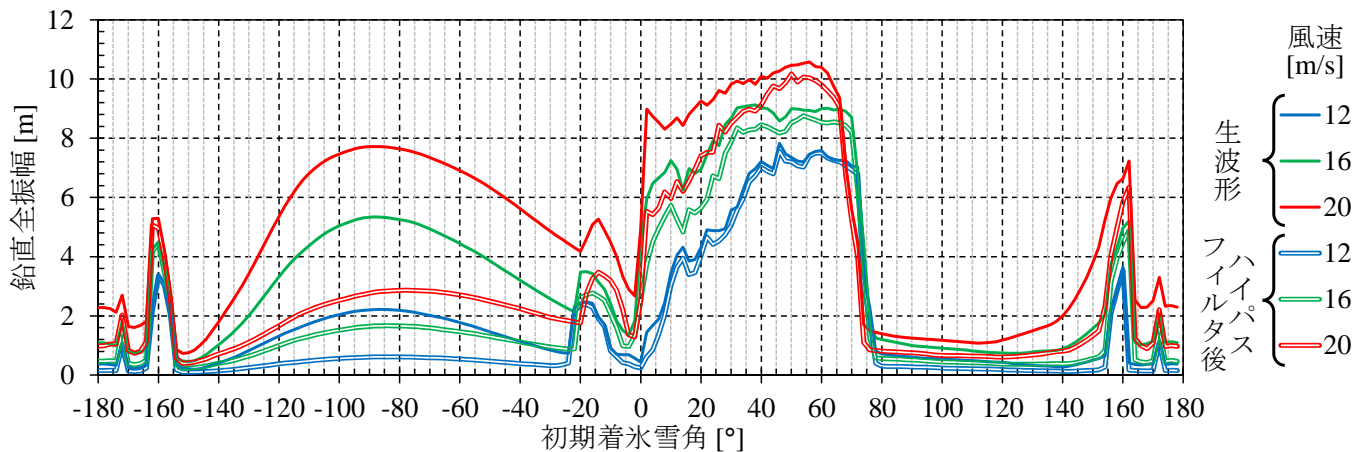


図3 初期着氷雪角・平均風速に対する鉛直全振幅（径間長 400m, 弛度 12.6m）

支配的な条件下での軌跡であり、電線支持点（座標(0,0)）を中心に円弧状の軌跡を描いている。一方、図 2(b) はギャロッピングが発生している条件下での軌跡であり、1/4 地点において面内方向の大きな振動が確認できる。パフェッティングでは、電線の応答に起因する共振成分の寄与は小さく、その多くは変動風による強制的な変位（準静的成分）となる。そのため、ある径間内の複数の線で着氷雪形状が概ね同じ場合には、あまり線間（相間）の接近に寄与しないと考えられる。そこで、時系列波形にハイパスフィルタを適用した後に鉛直方向の全振幅（最大値－最小値）を算出して、線間の接近に寄与する振動成分による最大応答振幅を推定する。ハイパスフィルタでは、最低次（水平 1 次）の固有振動数の半分の値をカットオフ振動数に設定した。

3. 解析結果

図 1 に示す解析モデル（径間長 400m, 弛度 12.6m）において、初期着氷雪角・平均風速を変化させた際の鉛直全振幅（径間内最大値）を図 3 に示す。初期着氷雪角が負の場合は、広い範囲でパフェッティングが発生しており、フィルタ処理することで鉛直変位全振幅が小さくなっている。一方、初期着氷雪角が正の場合には 0～80 度の範囲でギャロッピングが発生しており、フィルタ処理を行っても鉛直全振幅はあまり小さくならない。通常の着氷雪状態では、着氷雪は電線の風上側に発達するため、各風速に対して初期着氷雪角-90～90 度（2 度刻み）における最大値を発生し得る最大応答振幅と定義した。

各解析ケース・各風速における最大応答振幅を図 4 に示す。ここでは、横軸を無次元風速（風速/鉛直最低次固有振動数/電線外径）で表した。図に示すように、様々な解析ケースに対して無次元風速に対する最大応答振幅が概ね同じ値を示し、その値は無次元風速の線形式（近似式の傾き： $\alpha = 0.004611$ ）で表される。

4. まとめ

本研究では、着氷雪電線において、線間の接近に寄与する振動成分による最大応答振幅が、無次元風速の関数として簡易に推定できる可能性を示した。今後、4 導体電線以外に対しても最大応答振幅を評価するとともに、観測結果などに基づき、最大応答振幅の推定式の検証を行う。また、各無次元風速における最大応答振幅の発生確率を定義することで、確率論に基づき供用期間中に発生し得る振幅を評価できる方法を構築する。

参考文献 [1] 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・研究報告, N10027, 2011. [2] 松宮央登, 清水幹夫, 西原崇: 着氷雪時の単導体・4 導体送電線の定常空気力特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 56A, pp. 588-601, 2010.

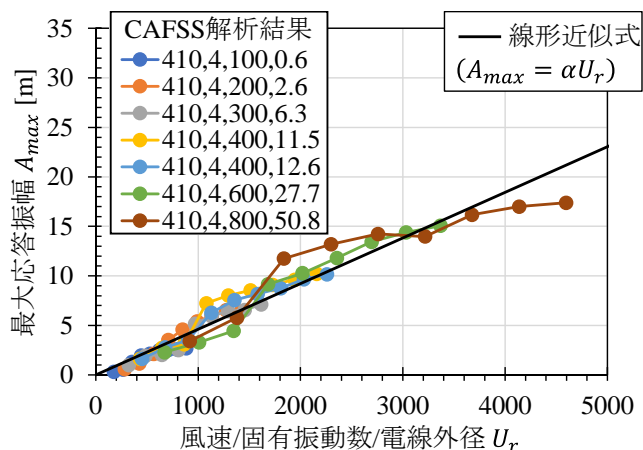


図4 無次元風速と最大鉛直全振幅の関係
（解析ケースを表す凡例内の数字は（線種, 導体数, 径間長, 弛度）, 風速 4～20m/s）