電力中央研究所

正会員 〇松宮 央登

変動風が作用した場合の着氷雪送電線のギャロッピング応答特性

1. はじめに

架空送電線において発生するギャロッピングに起因 する短絡被害を低減するためには,発生条件のみならず, その応答振幅を評価する必要がある.様々な架線形態を 有する送電線に対してギャロッピングの応答振幅を推 定するために,有限要素法を用いた時刻歴応答解析が実 施されてきた[1].しかし,最大応答振幅やその発生頻度 を特定するためには,各径間に対して発生し得る着氷雪 形状や風速などをパラメータとして多くの計算を実施 する必要がある.時刻歴応答解析を実施せずに,構造諸 元・着氷雪形状(空気力特性)・風速条件に対する応答 振幅を簡便に推定できる手法があれば有用である.

本研究では,送電線のギャロッピングに与える影響が 大きい因子に着目した簡便な応答振幅推定法の構築に 向けて,単導体電線を対象にした時刻歴応答解析により, 流入風の乱れや構造非線形性の影響を評価する.

2. 解析手法および解析条件

解析対象の単導体電線(径間長:400m,線種: ACSR410mm²)を図1に、構造諸元を表1に示す.本研 究では、電線をトラス要素(径間 80 分割)でモデル化 した. ねじり自由度は考慮せずに,着氷雪角度(頭上げ 正)を図2に示すような放物線分布で仮定した.図3に 示す空気力係数を有する三角着氷雪(着氷雪高さ:直径 の半分)を用いて、径間中央部での着氷雪角度は 20~ 50 度(1 度刻み)を対象にした. 既報[2]で開発した解析 コードを拡張して, 直接積分法 (Newton-Raphson 法) に より時刻歴応答解析を実施した.解析パターンを表2に 示す.変動風(平均風速15m/s,乱れ強さ0.15)条件下 における構造非線形を考慮した動的解析に加えて,一様 風(平均風速 15m/s, 乱れ強さ 0.0) での解析, 平均風速 に対するつり合い位置周りで構造線形性を仮定した解 析,各時間ステップの変動風に対して静的つり合い解析 を行う準静的解析を実施した.評価時間は 600 秒とし て、応答の最大値と最小値の差を全振幅とした.

University of Bristol 非会員 John Macdonald 八木 知己 正会員 京都大学 y ⋆ χ 径間長 400 m がいし装置は考慮しない 単導体(ACSR410) 弛度12.6 m 解析対象の単導体電線 図 1 構造諸元 表 1 パラメータ 値 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 0.156Hz と 1.0Hz において 構造減衰 減衰定数 0.5%となる瞬間 比例型 Rayleigh 減衰 初期張力 26094 N 60 中央部角度 20 ₩ 50 30 40 50 40 40 30 20 10 0 100 200 300 400 0 径間軸方向座標 [m] 放物線上に仮定した着氷雪角度の分布 図 2 3 2 抗力係数 1 0 Ŕ 揚力係数 輕-1 抗力係数 -2 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 0 迎角[度] 図 3 空気力係数(三角着氷雪) 解析パターン 主り

衣 2 所切バメ ノ			
パターン	風速条件	解析手法	構造モデル
1	変動風	動的	非線形
2	一様風	動的	非線形
3	変動風	準静的	非線形
4	一様風	動的	線形
(5)	変動風	準静的	線形

キーワード 架空送電線,ギャロッピング,バフェッティング,幾何学的非線形性 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 地球工学研究所 TEL04-7182-1181

①変動風・動的

3. 変動風条件下でのギャロッピング

パターン①から得られた全振幅の径間内最大値を,パ ターン③から得られた全振幅の径間内最大値,およびパ ターン②とパターン③から得られた全振幅の和の径間 内最大値と比較して、図4に示す.パターン②では、風 速が一定条件下での自励振動, すなわち, 純粋なギャロ ッピング応答が発生する.本解析では、いずれの着氷雪 角度においても振幅が一定となる定常応答に至った.送 電線のギャロッピング解析においては、一様風において も必ずしも定常的な応答が得られない場合もあるが,本 研究ではねじれ自由度を考慮していないことで安定的 な応答が得られた可能性がある.一方,パターン③では, 電線の振動に伴う相対風速・相対迎角の変化を考慮しな いため、自励振動であるギャロッピングは発生せず、風 の変動に伴うバフェッティングの準静的な成分のみ,つ まりは、共振成分が含まれないバフェッティング応答が 発生する.図4に示すように、パターン①の解析結果は、 パターン2とパターン3の解析結果の和で概ね表すこ とができることがわかる. パターン①で発生したギャロ ッピングは、径間中央での着氷雪角度が21~33度では 対称1次モード,34~40度では逆対称1次モード,41 ~49 度では対称 2 次モードで発生しており, パターン ②で発生した振動モードとも概ね対応する.

4. 構造非線形性の影響評価

ギャロッピング応答における構造非線形性の影響(パ ターン②とパターン④の比較)を図5に、バフェッティ ング応答(準静的成分)における構造非線形性の影響(パ ターン③とパターン⑤の比較)を図6に、それぞれ示す. ギャロッピング応答においては,応答振幅が大きい領域 で振幅への構造非線形性の影響が見られるが,発生する 振動モードは構造線形性を仮定した解析でも概ね再現 されている. バフェッティング応答においては, 構造非 線形性の影響はあまり見られない.

-鉛直 -様風・動的+③変動風・準静的:—— 水平 —— 鉛直 (2)-③変動風·準静的:---水平 --鉛直 10 9 Ξ 対称1次 8 冒 7 颩 逆対称1次 6 ŝ 5 旪 4 ¥ 3 2 画 対称2次 鉛 1 0 20 25 30 40 45 50 35 径間中央着氷雪角度 [度] 図 4 変動風条件下での応答振幅特性(径間内 最大值, 平均風速 15m/s, 構造非線形) ②一様風・動的・構造非線形:→ 水平 ┛┛┓ −様風・動的・構造線形 : ----水平 (4) ━ 鉛直 10 Έ 9 8 振幅 対称1次 7 平全 6 5 逆対称1次 4 Ķ 3 対称2次 2 亘 00000000000 夞 1 0000000 0 20 25 40 50 30 35 45 径間中央着氷雪角度 [度] 図 5 ギャロッピング応答振幅への構造非線形 性の影響(一様風・動的解析結果) ③変動風・準静的・構造非線形:→→水平 -----鉛直 5変動風・準静的・構造線形 :----水平 ┏─鉛直 Ξ 9 8 冒 7 澱 6 ŧ 5 ₽ 4 × 3 3988869889988998899889889⁸ 2 亘 涩 1 0 40 20 25 30 35 45 50 径間中央着氷雪角度 [度]

図6 バフェッティング応答振幅への構造非線

形性の影響(変動風・準静的解析結果)

5. まとめ

変動風条件下における送電線のギャロッピングの応答振幅が, 一様風条件下におけるギャロッピングの応答 振幅と、変動風によるバフェッティングの準静的成分の応答振幅の和により評価できる可能性が示された.ま た、平均風速が作用したつりあい位置周りで構造線形性を仮定してもある程度の精度で応答振幅が推定でき る可能性がある.線形性を仮定することで理論解の導出も可能となると考えられ、今後ねじれ自由度の影響を 確認するとともに、 簡便な応答振幅推定法の構築を進める.

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, 坂口剛, 西原崇, 雪野昭寛 : モード重ね合わせ法を用いた送電 線のギャロッピングの時刻歴応答解析,構造工学論文集, Vol. 59A, pp. 574-584, 2013.