

送電線のギャロッピング特性に関する数値解析的検討

電力中央研究所 我孫子研究所 材料構造部 正員 清水幹夫*

1. はじめに：送電線には、①狭い振動数帯域に複数の固有振動モードが存在する．②強い幾何学的非線形性により張力変動に伴い剛性が変化する．といった特徴がある．したがって、着雪した送電線の風による自励振動現象、すなわちギャロッピングの振動数およびモードは、過渡応答時に変化、遷移する場合があります¹⁾、その予測には時刻歴応答解析が必要不可欠である．ただし、負減衰となる振動の分析には、複素固有値解析がより直接的といえることができる²⁾．本検討では、応答予測および対策の合理化に資するため、典型的な着雪電線を対象として、複素固有値解析と時刻歴応答解析によって得られる振動モードの比較、検討を行った．

2. 解析モデル：解析に用いた構造モデルの諸元を表1に示した．これは、鋼心アルミより線410mm²（＝アルミの断面積）4本を束ねた4導体送電線を、固有振動特性が等価となる単導体に置き換えたものであり、ギャロッピングの発生件数が比較的多い典型的な送電線のモデルといえることができる．また、ギャロッピングの解析の際には、着雪電線の空力特性を考慮する必要があるが、ここでは既往の風洞実験結果に基づく図1の空気抵抗係数³⁾を用いることとした．なお、解析には筆者らが開発した有限要素法解析コード（通称CAFSS）を用い、風速は準定常空気力に換算した．

3. 複素固有値解析：複素固有値解析により、風を受ける着雪電線の負減衰モードの分析が可能となる²⁾．ここでは、径間全体に一樣分布して水平に作用する10m/sの一定風速を考慮し、静的解析に引き続き複素固有値解析を実施した．図2に解析結果として、減衰比が負となる6次以下の振動数とモードを示した．なお、複素固有値解析では構造減衰を無視した．図のモードは、ギャロッピング時に励起される可能性が高いと考えられる．

4. 時刻歴応答解析：上記の一定風速、および岩谷の方法⁴⁾により発生させた変動風速を外乱とした時刻歴応答解析を、時間刻み0.02秒で20000ステップ実施した．変動風速のパワースペクトル密度はカルマン型、平均風速は10m/s、乱れの絶対強さは3m/s、ディケイファクターは8とした．各風速は解析開始後0から時間に比例して増加し、101ステップで一定値あるいは平均値10m/sに達する条件とした．また、構造減衰は0.1Hzおよび0.3Hzで1%となるRayleigh減衰を仮定した．径間中央付近に作用する変動風速時刻歴を図3に、解析の結果得られた径間中央の鉛直変位の時刻歴を図4に示した．図より、一定風速を作用させた場合は、約200秒以降でギャロッピングはほぼ一定振幅の定常状態になるが、変動風速を作用させた場合は、風速に伴い変位振幅が増減することがわかる．

5. 振動モードの比較：図4を含む径間全体の鉛直変位に対し固有直交関数分解により支配的な振動モードを求めれば図5が、図4および径間1/4の鉛直変位に対し高速フーリエ変換によりパワースペクトル密度を求めれば図6が得られる．図2と図5、6の比較により、一定風速を作用させた場合、ギャロッピング時に支配的となるモードは、複素固有値解析で得られた3次モードのみであることがわかる．また、変動風速を作用させた場合は、同様に3次モードが支配的となるが、2次モードも20%の寄与率で励起されたことがわかる．

6. まとめと今後の課題：以上のように、複素固有値解析で負減衰となるモードには、ギャロッピング時、すなわち時刻歴応答解析時において支配的になるものと、励起されないものがあり、支配的なモードの寄与率は、風速条件により異なる可能性のあることが明らかになった．したがって、今後、より多様な条件下で同様の比較、検討を行い、各解析法の適用性を明確にしていくことが必要と考えられる．

参考文献 1) 清水幹夫：時間-周波数分析によるギャロッピング時における送電線の応答特性評価，電力中央研究所研究報告，U98058，1999． 2) 山口宏樹，他：多導体送電線のギャロッピング特性に関する考察，第15回風工学シンポジウム論文集，pp. 563-568，1998． 3) 古河電気工業株式会社：ギャロッピング防止技術に関する研究（平成3年度分），NL-92096，1992． 4) 岩谷祥美：任意のパワースペクトルとクロススペクトルをもつ多次元の風速変動のシミュレーション，日本風工学研究会誌，第11号，pp. 5-18，1982．

キーワード：送電線，ギャロッピング，有限要素法，複素固有値解析，時刻歴応答解析

*) 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 TEL070-5877-5534 FAX 04-7182-5934

表1 構造モデルの諸元

線種	ACSR410
径間長	400m
サグ比	3%
支持点高低差	0
断面積	$1.9232 \times 10^{-3} \text{m}^2$
外径	0.114m
ヤング率	$8.192 \times 10^{10} \text{N/m}^2$
ねじり剛性	627.2Nm^2
密度	$3.48 \times 10^3 \text{kg/m}^3$

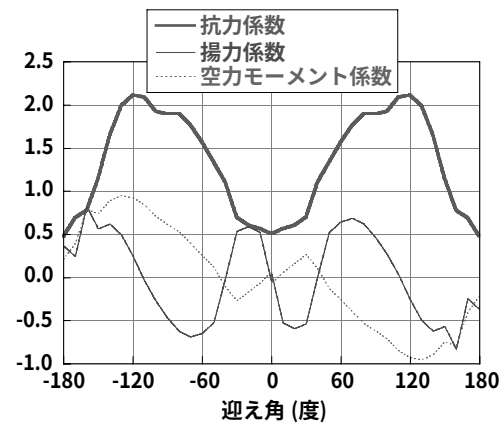
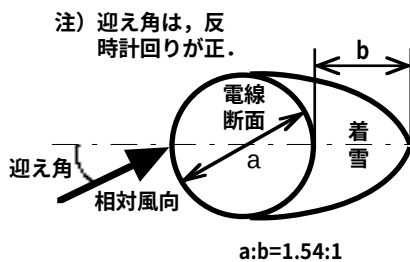


図1 着雪形状と空気抵抗係数

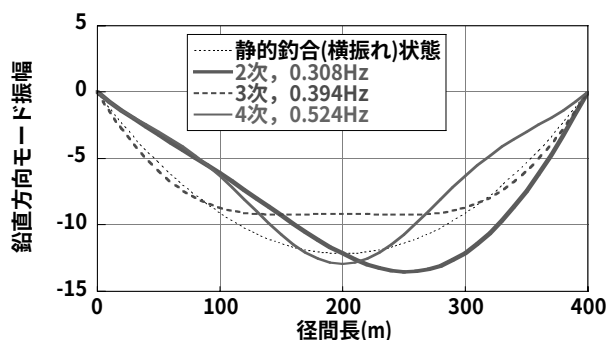


図2 複素固有値解析結果：減衰比が負となるモード

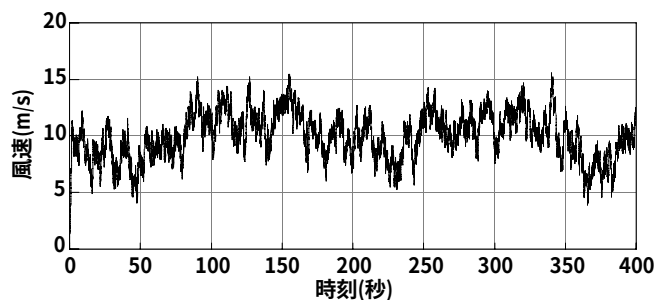


図3 径間中央近傍に作用する変動風速時刻歴

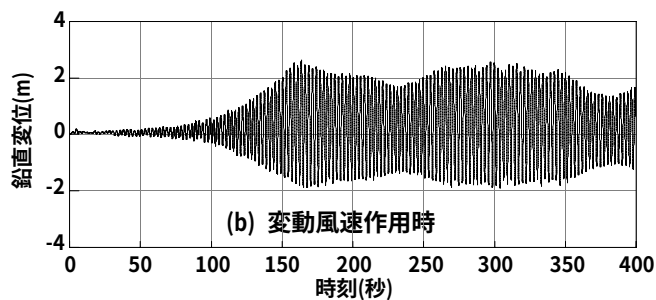
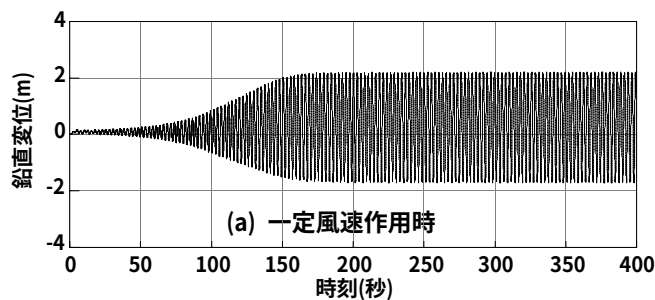


図4 時刻歴応答解析結果：径間中央鉛直変位時刻歴

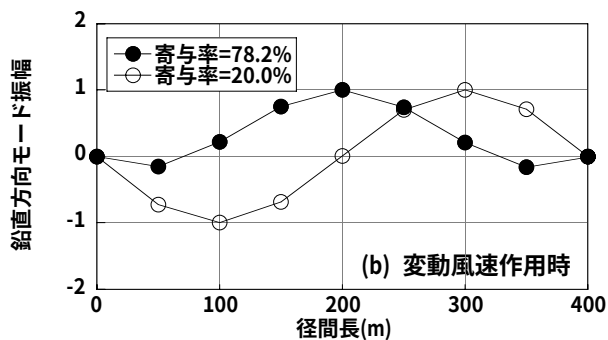
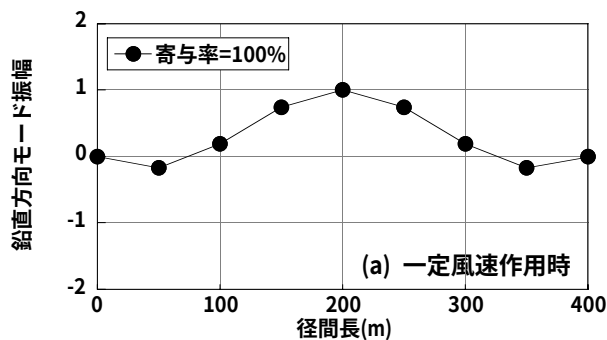


図5 鉛直変位時刻歴から求めた支配的な振動モード

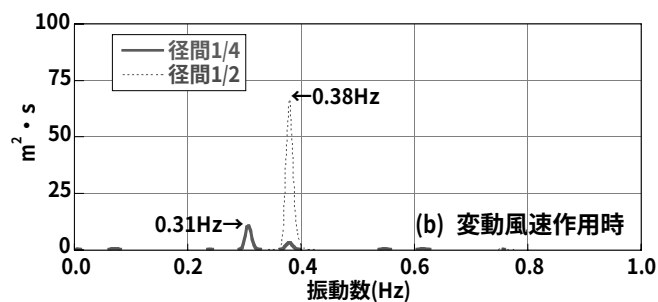
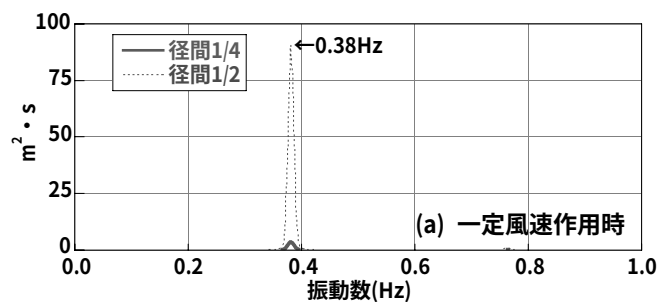


図6 鉛直変位のパワースペクトル密度