

送電線の振動モードにおける幾何学的非線形性や構造連成特性

電力中央研究所 正会員 ○松宮 央登
 電力中央研究所 非会員 西原 崇
 京都大学 正会員 八木 知己

1. はじめに

送電線のギャロッピングによ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。既報[1]では、1質点3自由度系(2次元系)を対象に時刻歴応答解析を行い、空力非線形性に起因するリミットサイクル振動特性やエネルギー収支に基づく応答振幅評価手法を示した。一方で、実送電線では、線路方向の3次元的な応答分布を考慮する必要があり、送電線(ケーブル構造物)特有の構造特性も把握する必要がある。山口ら[2]は、送電線に正弦波外力を与えて特定の振動モードを励起させることで、ケーブル構造物の幾何学的非線形性を調べた。本研究では、モード減衰を負値にすることで、特定の振動モードを大振幅まで励起させる方法を試み、励起された各振動モードの非線形性や自由度間の構造的な連成特性を考察する。

2. 解析手法および解析条件

解析対象の単導体送電線(径間長:400m, 線種:ACSR410mm²)を図1に示す。本研究では、電線をケーブル要素(トラス要素)(80要素, 1要素あたり5m)でモデル化し、ねじり自由度は考慮していない。その他の構造諸元を表1に示す。既報[3]で開発した時刻歴応答解析手法を拡張して、励起対象の振動モードにモード減衰-1%を与えて、直接積分法による時刻歴応答解析を行い、その振動モードを励起した。本研究では、水平方向の面外モードと、鉛直方向の面内モードの、各1,2次モードを励起対象にした(図2)。面内2次(疑似1ループ)は弛度があるケーブル構造物特有の振動モードである。

3. 面外モードの励起解析結果

面外1次モードの励起解析結果(y-z面分布)を図3に示す。ここでは、次第に大きくなる応答波形から1サイクル毎に波形を切り出し、全振幅が指定値となったサイクルにおける最大・最小振動形状(対象モードの振幅が最大・最小となる時刻の分布)を抽出した。振幅が大きくなるに従い他のモードが付随して、自然と幾何学的非線形性を考慮した振動形状になっていると考えられる。

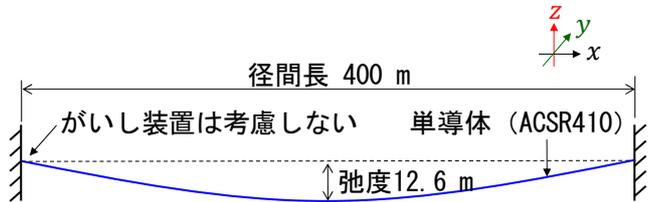


図1 解析対象の単導体送電線

表1 構造諸元

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
構造減衰	0.156Hz と 1.0Hz において減衰定数 0.1%となる瞬間比例型 Rayleigh 減衰
初期張力	26387 N

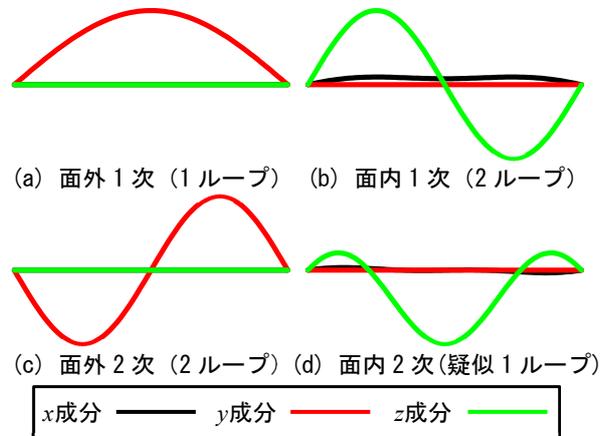


図2 励起対象の固有振動モード

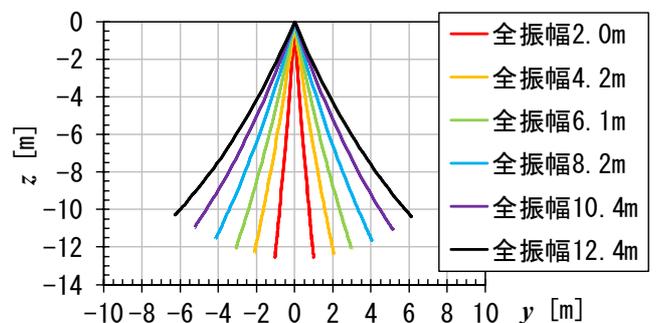


図3 面外1次モードの励起結果(各振幅に対するy-z面分布)

キーワード 送電線, ギャロッピング, 幾何学的非線形性, モード減衰

連絡先 〒270-0021 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

面外モード(1,2次)において、各振幅になるサイクルの最大・最小振動形状を、対象モードの振幅の最大値で規格化した一般化変位分布を図4に示す。水平方向の変位分布形状は振幅に依らずに一致する。一方、線形解析の振動モード(図2)に含まれない鉛直方向の変位が発生しており、振幅に伴い大きくなる。

4. 面内モードの励起解析結果

面内モードでは、励起した振幅が大きくなっても面外方向の変位(水平変位)は生じず、面内方向の変位(鉛直変位)のみが発生した。面内モード(1,2次)において、各振幅になるサイクルの最大・最小振動形状を、対象モードの振幅の最大値で規格化した一般化変位分布を図5に示す。振動形状が振幅に伴い変化しており、正側・負側(鉛直上方・下方)の振動で対称な分布形状とならないことがわかる。

各振幅に対する固有振動数 $1/T$ [Hz] (T :各サイクルの周期[s])を図6に示す。各モードで増減傾向は異なるが、固有振動数(周期)が振幅に依存して変化する。また、面内2次モードの径間中央での鉛直方向の一般化変位の1サイクルにおける変化を図7に示す。面内モードでは振幅の増大に伴い、振動波形が完全な正弦波にはならず、鉛直上方側に変位する時間が長くなる傾向が確認できる。

5. まとめ

モード減衰を負値にすることで、特定の振動モードを大振幅まで励起され、送電線特有の振動モードへの幾何学的非線形性の影響や自由度間の構造的な連成特性が確認できた。他の振動励起方法との比較を進めると共に、振幅に伴うモード形状や固有振動数の変化が、ギャロッピング応答特性へ与える影響を評価する。

参考文献 1) 松宮央登, 西原崇, 八木知己: 4 導体電線のギャロッピングにおける非線形振動特性, 第24回風工学シンポジウム論文集, pp.301-306, 2016. 2) 山口宏樹, 宮田利雄, 伊藤学: 正弦波外力を受けるケーブルの時間応答解析, 土木学会論文報告集, 第308号, 1981. 3) 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.

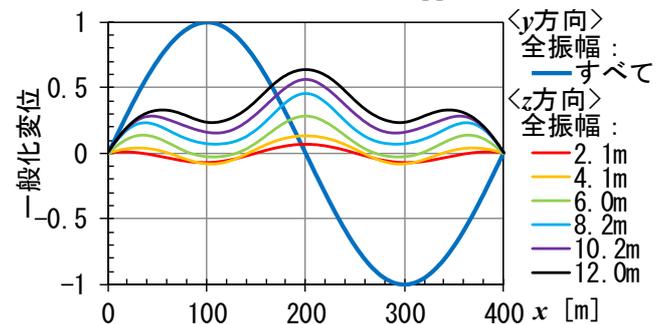
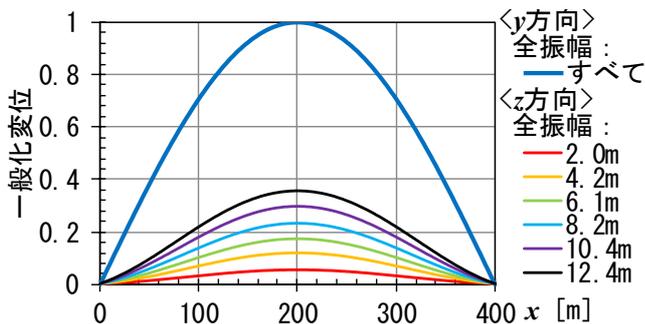


図4 面外モード形状の振幅依存性 (左: 面外1次, 右: 面外2次)

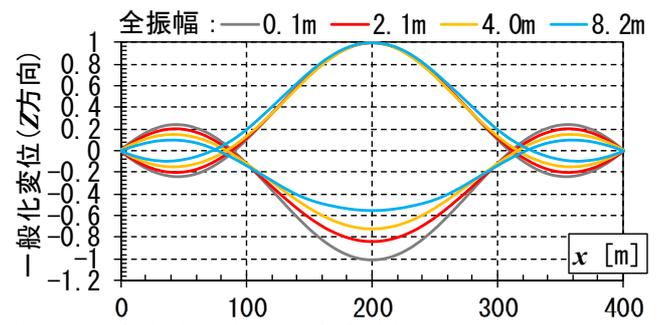
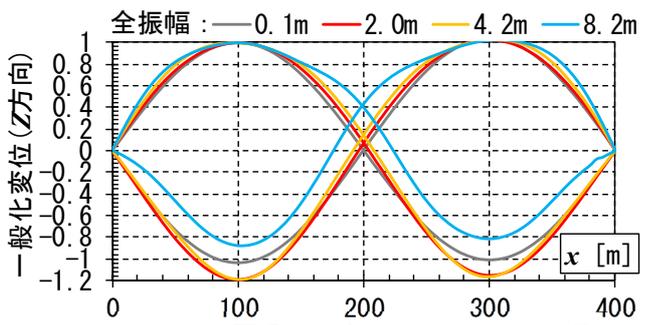


図5 面内モード形状の振幅依存性 (左: 面内1次, 右: 面内2次)

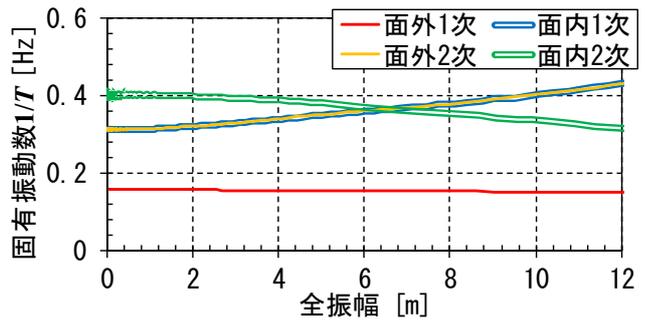


図6 各モードの固有振動数特性の振幅依存性

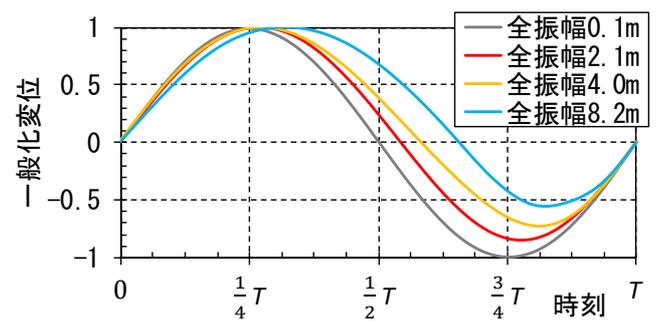


図7 1サイクルでの鉛直変位の変化(面内2次)