

## 学位論文題名

架空2導体送電線のギャロッピングシミュレーション手法  
の開発とギャロッピング基本特性の解明に関する研究

## 学位論文内容の要旨

架空送電線は自然現象の影響を強く受ける。北海道のように冬季間厳しい気象条件に見舞われる地域では、特有の問題を克服しながら電気の安定供給に努めてきている。積雪寒冷地の送電線の問題の一つにギャロッピングがあり、問題を抱えている電力会社では現在でも確実な事故防止対策がないため苦慮している。このような背景から、本研究では主として2導体送電線のギャロッピングシミュレーション手法の開発を行った。

第1章ではギャロッピングの概要と研究の変遷についてまとめた。ギャロッピングについての研究は古くから着手されていて、風洞を利用した空気力学的特性などの研究、試験線や実線路を利用した現象解明と事故防止対策についての研究、運動方程式の解析やシミュレーション計算による理論的研究などが実施されている。しかし、研究の発表件数が少ないのは、現象自体の発生頻度が少ないことと発生場所が限定されていることなどが考えられる。北海道電力(株)における筆者等によるギャロッピングの研究は、単導体送電線の着雪防止技術の開発と関連させて開始され、その後、2導体送電線の導入のための検討と建設後の事故防止対策の検討など長期間にわたって継続されてきている。他の研究と比較して筆者の研究の特徴的なことは、シミュレーション計算法の開発とこれを利用した理論的検討である。

第2章では、開発した二つのシミュレーション手法である等価単導体法と2導体法の計算法についてまとめた。前者は、2導体を等価的に単導体に置き換えてシミュレーションする方法であり、後者は、2導体の境界条件をそのまま扱ってシミュレーションする方法である。等価単導体法では、2導体を束導体として見た場合の捻回特性から逆算して単導体のねじれ剛性を求めているので、元来非線形性のある量を線形的に扱っているので簡易手法の域を脱しないが、ギャロッピングの基本特性を検討する手段としては有効な手法である。これに対し、2導体法の場合は境界条件を考慮しており、その考え方は、素导体スペーサ取り付け点は2導体として扱い、素导体スペーサ間の電線は単導体として扱って運動方程式を導出するという方法を取り入れた。

第3章では、開発した2つのシミュレーション方法の有効性を示すため、具体的例について検討を加え、ギャロッピングの基本特性について説明した。等価単導体のシミュレーションでは、電線の捻回周期についてはねじれ剛性と慣性モーメントを変化させて調整し、上下方向周期については電線張力を変化させて調整することで、両方の周期の関係がギャロッピング発生条件において重要な役割を果たしていることを示した。また、捻回運動が完全に無い‘デン・ハルトーク理論’の例も含めてシミュレーションした結果、捻回運動を伴うと風圧係数に関して広い領域で不安定性が生じ、ギャロッピングの基本的特性として捻回運動の重要性を明確化することができた。これらは、試験線などで得られている観測結果とも合致することである。2導体法のシミュレーションでは、等価単導体法と同様にパラメータを種々変えながらギャロッピングの基本特性がどのように表現できるのかを

調査した。その結果、次の事項が得られた。

- ① 電線に付着する着氷雪の向きによって振動状況が異なることを模擬できる。これは理論的考察や等価単導体の結果とも合致する。
- ② 電線張力を変えて振動周期の比較をすると振動論とも合致する結果が得られた。
- ③ 素導体スペーサ数や素導体間隔を変えると捻回運動に違いが生じて振動状況も異なってくる。この結果は捻回運動の重要性を示すものである。
- ④ 隣接径間の相互の電線の動きの振動状況に対する影響度を調査するためのシミュレーションを実施した結果、実際の懸垂径間の動きと整合する結果が得られた。

2 導体法シミュレーションによる他の検討例として、土木・構造分野で行われた斜張橋ケーブル振動の研究、および、線路定数を導入した松林のギャロッピングの研究との比較をした。本研究が開発したシミュレーション方法でもケーブル振動の解析で解明された垂直方向振動（面内振動）のモードの遷移を表現することが可能であることを示した。また、松林が提案した線路定数がケーブル振動で提案されている定数と関連性があること、疑似基本周期はケーブル振動の研究で解明されたモード遷移点の周期にほぼ一致することを示した。これらのことは、シミュレーション（数値実験）で他の研究で提案されていることを証明したことになり、シミュレーション手法の有効性を示す事実であると考えられる。

第4章では事故防止対策の一つである相間スペーサ取り付け時の検討を行った。事故防止対策は現在まで多種多様な装置が考案されているが、確実に効果があるものは確認されていないため実務面では電線短絡事故防止を優先する意味合いで、相間スペーサの取り付けが進んでいる。しかし、それを取り付けた場合どのような振動状況になるのかは十分に調査されていないため、2 導体法シミュレーション法を使って考察を加えた。その結果、次の事項が得られた。

- ① 風圧係数の上で捻回運動が大きい領域では、相間スペーサを取り付けると、径間全体の捻回運動が小さくなるのでギャロッピングが押さえられる可能性がある。
- ② 振動発生に対する揚力係数の影響が大きい領域では、相間スペーサを介して3相全体が大きく動く可能性がある。
- ③ 3相が同時に動く状態でも、隣接径間の動きが同位相の関係が生じる時は、振幅が小さくなる。
- ④ 振動を起こしやすいように電線弾性定数を小さく選定すると相間スペーサ取り付け点間の電線が大きく動く振動が得られた。この事実は、条件によっては、相間スペーサ取り付け点の間のサブスパンで振動が起きる可能性を示している。

第5章は、本論文の結論であり、各章で得られた新知見をとりまとめており、補遺には、本論文の記述事項の一部に関する補足細説明や計算式の補足説明などがまとめられている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長谷川 淳  
副 査 教 授 佐藤 浩一  
副 査 教 授 五十嵐 悟

学 位 論 文 題 名

## 架空2導体送電線のギャロッピングシミュレーション手法 の開発とギャロッピング基本特性の解明に関する研究

架空送電線は自然現象の影響を強く受ける。北海道のように冬季間厳しい気象条件に見舞われる地域では、特有の問題を克服しながら電気の安定供給に努めてきている。積雪寒冷地の送電線の振動問題の一つに低周波数で大振幅のギャロッピングがあり、これによって引き起こされる可能性がある瞬時停電は、エレクトロニクス機器が多数使用されている現代社会にあって広範囲に影響を及ぼすことも予想されることから、問題を抱えている電力会社では苦慮している。しかし、ギャロッピングの研究が最初に発表されてから長期間経過しているにもかかわらず発表論文の件数は必ずしも多くない。これは、現象自体の発生頻度が少ないことと発生場所が限定されているためであると考えられる。

本論文は、このような背景のもと、簡便にシミュレーションで現象解明ができるように、主として2導体送電線のギャロッピングシミュレーション手法の開発と現象の基本的事項の考察を行った。

開発したシミュレーション手法は、等価単導体法と2導体法の計算手法である。等価単導体法は2導体を等価的に単導体に置換してシミュレーションする手法で、簡易的にギャロッピングの発生の可能性を検討するため利用することができるものである。2導体法は境界条件を厳密に考慮する手法で、等価単導体よりは実際の状況を正確に模擬できるものである。この手法では、境界条件が多数入った非線形偏微分方程式を扱っており、それを差分法を用いた数値計算を駆使して結果を求めている。また、開発した手法の有効性を示すため、以下に記す具体的事例の考察を行い、他の研究や実際の観測結果と整合性のとれる結果が得られることを説明している。

- ①風圧係数上での不安定領域をシミュレーション例で求め、他の研究で提案されている結果と整合することを示したり、2導体の捻回運動がある場合の方が無い場合より広い範囲で不安定になることを明らかにした。
- ②電線の上下方向周期と捻回方向周期の関係とギャロッピングの発生条件の関係を調べ、実際に観測された現象と整合性のある結果を出すことができた。
- ③シミュレーションで発生する振動モードについても考察を加え、他の分野のケーブル振動に関する研究と同様な結果が得られることを明らかにした。
- ④事故防止対策の一つである相間スペーサ取り付けの場合の振動発生状況の調査を行い、厳しい条件設定でも、相間短絡事故の防止が図られる可能性が有ることを示した。

これを要するに、著者は、送電線のギャロッピングのシミュレーション計算手法を開発し、その適用の可能性を明確化したものであり、ギャロッピング事故防止に貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。