

論文審査の結果の要旨

氏名：高 橋 徹

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：実測に基づいた自然風中における配電線機材の疲労損傷評価に関する研究

審査委員：（主査） 教授 北 嶋 圭 二

（副査） 教授 居 駒 知 樹 教授 近 藤 典 夫

教授 宮 里 直 也

本研究は、疲労損傷が散見され、送電線機材に比べて動的挙動についての知見が少ない配電線機材に着目し、任意の地点における配電線機材の疲労荷重振幅の推定手法を確立することを目的としたものである。本研究では、配電線機材の疲労荷重振幅の推定手法を確立するため、配電線機材における疲労荷重の特定および配電線機材における疲労荷重振幅の頻度分布の特定を行っている。さらに、特定した配電線機材の疲労荷重振幅分布と、任意の地点の風の頻度分布に基づき、任意の地点の配電線機材の疲労荷重振幅分布を推定する手法を提案し、配電線機材の単純モデルをもとに任意の地点の配電線機材の疲労荷重振幅分布を推定する手法の適用例について検討している。検討の結果、提案している推定手法を用いることで配電線機材の疲労評価が広域に簡便に行えることを確認し、本研究成果の社会的意義が高いことを示している。

本論文は、以下の通りまとめられている。

1章「序論」では、研究の背景、既往の研究、研究目的および本論文の構成についてまとめている。背景では、電力輸送設備として、送電と配電の違いについてまとめ、配電線機材の設計の現状および損傷事例について述べている。疲労評価に関する既往の研究では、風外乱に対する疲労評価を行っている研究について調査し、疲労評価は、周波数領域アプローチおよび時間領域アプローチの2つのアプローチにより評価が行われていることをまとめている。また、時間領域アプローチは、シミュレーション、風洞実験、フィールド実験等で計測された荷重または応力の時系列データをもとに荷重振幅、応力振幅の頻度分布を算出することから、より精度の高い分布を評価することが可能であることを述べている。一方、架渉線機材を対象とした既往の研究を精査し、配電線では疲労評価は行われていない現状についてまとめ、本研究の位置付けを明確にしている。研究目的では、配電線機材の現状および既往の研究の調査結果を踏まえ、任意の地点における配電線機材の疲労荷重振幅の推定手法の確立を目的としていることを示し、研究課題の妥当性と社会的意義が高いことを示している。

2章「不平衡張力の定義および不平衡張力の分析に用いる基礎手法」では、不平衡張力の定義、時間領域アプローチ、電線張力式およびレインフロー法についてまとめている。不平衡張力の定義では、不平衡張力は支持機材にて架線されている左右の電線の張力が平衡状態にない場合に生じることを述べ、異径間だけでなく同径間でも作用するといった特性をもち、現状の設計では考慮されていないことを述べている。時間領域アプローチは荷重や応力の時系列データをもとに振幅カウント手法を用いて荷重振幅と応力振幅の頻度分布を算出し、その頻度分布をもとに疲労評価を行う手法であることを述べ、その評価手順についてまとめている。また、電線張力を扱う上で一般的に用いられている電線張力式について示している。さらに、時間領域アプローチで用いられる振幅カウント手法としてレインフロー法について示している。以上、本研究で用いる用語と手法について章立てして事前に明確に示しておくことは、論文を作成するうえで適切であり、学術的に意義が高いと認められる。

3章「フィールド実験」では、フィールド実験の実験サイト、架線条件および測定方法を示し、フィールド実験結果に基づき配電線機材の疲労に影響する荷重の特定を示している。実験サイトは実際に疲労損傷が散見され、山岳からのおろし風を経験する栃木県那須町を選定し、1km離れた2つのサイトで実験を行ったことを示している。また、2つのサイトの径間、弛度、主風向と線路のなす角は異なることを示している。測定方法には、風速、風向、不平衡張力の測定センサ及びシステムをま

とめている。フィールド実験場では、風速は 30m/s を超え、主風向は北西側に卓越することを示し、配電線機材として厳しい風環境下でフィールド実験が実施できていると評価している。さらに、風速の乱れ強さは 0.2 で、地表面粗度区分 II に相当することから、風速の変動成分としても疲労損傷が散見されている配電線における強風地域の一般的なサイトであると評価している。不平衡張力の時系列データから、不平衡張力は風速に依存した繰り返し性の強い荷重であることを明らかにし、配電線機材の疲労に影響すると特定している。さらに、不平衡張力の統計解析結果から、不平衡張力の標準偏差と風速の 2 乗は比例関係となることを明らかにしている。以上、本章では、配電線機材の疲労に影響を及ぼす荷重が不明である背景のもと、フィールド実験を実施し、フィールド実験結果に基づき配電線機材に作用する疲労荷重が不平衡張力であることを特定しており、実験の新規性と独自性が高いと認められる。

4 章「不平衡張力の基準化」では、架線条件の異なる 2 つの場所で測定した不平衡張力について、架線状態（径間、弛度、風向と線路のなす角）によらず一律評価できる基準化方法を示している。径間および弛度に対する基準化として、電線張力式で表される径間と弛度から算出される係数によって実測した不平衡張力を除すことで基準化する方法を示している。風向と線路のなす角に対する基準化は、風向と線路のなす角の変化を電線の投影面積の変化として考えることで基準化する方法を示している。これらの基準化方法をもとに、基準不平衡張力として測定データを整理し、2 つの場所における基準化した不平衡張力が良好な一致を示した結果から、当該方法の妥当性について示している。本評価から、基準不平衡張力の標準偏差もまた、風速の 2 乗と比例関係であり、不平衡張力は電線に作用する線路直交方向風荷重によって生ずることを明らかにしている。以上、本章では、架線状態によらず一律に評価できる不平衡張力の基準化方法を確立しており、適用性と有効性が高い結果が得られていると認められる。

5 章「レインフロー法による基準不平衡張力振幅の評価」では、基準不平衡張力の時系列データからレインフロー法により基準不平衡張力振幅の頻度分布を算出し、その分布のモデル化を示している。レインフロー法を用いた基準不平衡張力振幅の算出手順について示し、基準不平衡張力振幅の頻度分布と風速の関係について評価し、基準不平衡張力振幅の平均値は、風速の 2 乗と比例関係となることを明らかにしている。また、電線の固有振動数を用いて、基準不平衡張力振幅の代表周波数を基準化する手法について示し、2 サイトの値が良好な一致を示した結果から、当該手法の妥当性を示している。本結果から、基準化した代表周波数は、風速によらず一定となり、電線の 1 次固有振動数の約 4 倍となることを明らかにするとともに、風速毎で変化する基準不平衡張力振幅を、不平衡張力用風力係数として無次元化し、風速階級毎による不平衡張力用風力係数の確率密度分布を評価することで、確率密度分布の平均値と標準偏差は、風速によらずほぼ 0.3 で一定となることを明らかにしている。この結果を用いて、不平衡張力用風力係数の確率密度分布を指数分布関数でモデル化している。以上、本章の検討方法と検討結果は、新規性および独創性が高く、社会的意義の高い結果が得られていると判断できる。

6 章「任意の地点の不平衡張力振幅の度数分布推定手法」では、本推定手法の概念から妥当性評価までを示している。不平衡張力振幅の度数分布の推定手法の概念および確率論に基づいた推定式の導出を示し、不平衡張力用風力係数のモデル分布および代表周波数の基準化結果から、任意の地点で 1 年間に発生する不平衡張力振幅の度数分布推定式を導いている。また、本推定手法の妥当性評価として、フィールド実験場における不平衡張力振幅の実測値と推定値を比較し、推定した不平衡張力振幅の度数分布が実測値と良好な一致を示すことを確認している。以上の結果から、本研究で提案している推定手法が妥当であると判断できる。

7 章「不平衡張力振幅推定手法の適用例」では、本研究で提案している不平衡張力振幅の度数分布の推定手法を用いて、機材の選定から寿命推定マップおよび等価疲労荷重マップを作成するまでの手順についてまとめている。また、本手法の適用例として、1 つの配電線機材の単純モデルをもとに実際に寿命推定マップおよび等価疲労荷重マップを作成し、不平衡張力振幅の度数分布の推定手法を用いることで配電線機材の疲労評価が広域に簡便に行えることを示しており、社会的意義が高いと認め

られる。

8 章「結論」では、本研究で得られた結果を総括してまとめている。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和3年2月18日