

## 論文の内容の要旨

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

電力輸送設備の形態は、主に送電と配電に分類される。送電は発電所で作られた大容量の電力を変電所まで長い距離にわたり輸送するものである。配電は変電所から電力需用者へ電力を送るもので、市街地から山岳・沿岸部に至るまで網の目のように布設される。この送配電線の布設方法には、地中埋設方式と架渉線方式があるが、架渉線方式は屋外に布設されることから強風や雪等の自然現象への対策が必要となる。送電線は、径間が数百メートルで支持物には鉄塔が多く用いられている。配電線は、径間が数十メートルで支持物にはコンクリート柱や鉄柱が多く用いられている。さらに、これら架渉線機材の強度設計は主に風、地震、雪等の想定した最大外力によって生ずる応力が材料耐力を超えないという考えのもと行われている。一方で、これら設備の中で、配電線と柱を固定する配電線機材が、風が強い地域に設置された際、線路方向に作用する変動張力により疲労損傷する事例が報告されている。この配電線機材について疲労設計の必要性が求められるが、疲労設計手法は確立されていない。疲労設計を行うには、疲労に影響する力の特定および、その力の頻度分布が必要となるが、配電線機材については、それらは十分に解明されていない。

本研究では、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薄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する。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う。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について提案し、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する。

本論文は、8章から構成されている。

1章は序論として、背景、既往の研究、本研究の目的、本論文の構成について述べている。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調査し、配電線機材では疲労評価は行われていない現状についてまとめている。本研究の目的では、配電線機材の現状および既往の研究の調査結果をふまえ、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ている。

2章は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として、不平衡張力の定義、時間領域アプローチ、電線張力式、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、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。

3章のフィールド実験は、実験サイト、架線条件、測定方法を示し、フィールド実験結果をもとに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。

4章の不平衡張力の基準化は、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。

5章のレインフロー法による基準不平衡張力振幅の評価は、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方法について示し、2サイトの値が良好な一致を示した結果から、当該方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している。さらに、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  $C_u$  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した結果、確率密度分布の平均値  $C_{u,ave}$  と標準偏差  $\sigma_{cu}$  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た。この  $C_{u,ave} \cong \sigma_{cu} \cong 0.3$  という関係から、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。

6章の任意の地点の不平衡張力振幅の度数分布推定手法は、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した結果から、本手法の妥当性を示している。

7章の不平衡張力振幅推定手法の適用例は、本研究で提案した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、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、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いる。

8章は結論であり、本研究で得られた結果を総括して述べている。本論文の独自性は、不明であっ

た配電線機材の疲労に影響する荷重について、実機によるフィールド実験結果から、不平衡張力は配電線機材の疲労に影響する荷重と特定したことである。独創性は、電線張力式を用いて架線状態（径間、弛度、風向と線路のなす角）によらず一律評価できる不平衡張力の基準化方法を提案し、レインフロー法により算出した基準不平衡張力振幅をもとに不平衡張力用風力係数を導き、その不平衡張力用風力係数の頻度分布を指数分布関数によりモデル化したことである。有用性は、既存の風速の頻度分布と不平衡張力用風力係数の頻度分布モデルに基づき、任意の地点の不平衡張力振幅の度数分布推定手法を提案し、配電線機材モデルをもとに推定手法の適用例を示したことである。

今後、本手法により配電線機材の疲労について簡便に広域的に評価されることが期待される。