

学 位 論 文 題 名

関東地域の架空配電設備の耐震性に関する研究

学位論文内容の要旨

東京圏における過密化は年々その度合を深め、ウォーターフロント開発など湾岸部の沖積低地や埋立地まで開発の波が押し寄せている。この様な軟弱地震地帯の人口の増加に対応して、電力系統も年々整備が行われている。過密都市部における電力系統のうち高圧（27.5～2.2万ボルト）の電力線は、共同溝、専用洞道、直埋ケーブルなどで地下化されており、配電線などの低圧の電力線も一部は地下化がはかられているが、大部分は架空設備となっている。

近年、地中送電線をはじめとするライフラインの地下構造物の耐震性の研究・技術開発は目覚ましいものがあり、その耐震性は著しく向上しており、現在では異種構造物間の接続部や地下不整形地盤構造など特殊な課題に研究の中心が移りつつある。しかし、配電線などの架空設備は、停電などの供給支障となった場合の範囲を比較的限定されること、復旧までの時間が比較的短いことなどから、耐震性の研究・技術開発・対策は遅れている。特に、1985年9月19日に発生したメキシコ地震では、震源からはるか離れたメキシコ市の軟弱地盤上で、卓越周期2.0秒前後の長周期地震波が観測され、中層～高層の建物が大被害を受けたが、電力設備にも被害がみられ、配電設備の被害が目立った。

架空配電設備は、電気設備技術基準によりその設計条件が定められており、付着氷雪を考慮した風荷重および電線の不平衡張力により、静的に耐力が規定されている。従って、地震荷重による安全性の照査は行われていない。また、架空配電設備をその構成からみると、コンクリートまたは鋼製の配電柱とそれに装備される変圧器、高圧器、低圧線、通信線などからなり、固有周期が1.0～2.0秒の範囲にある。設備は前述の通り軟弱地盤地帯に設置することが多くなっていることから、メキシコ地震の長周期の地震動に対しても耐震性を検討することは重要な課題である。

わが国における架空配電設備の耐震性の研究は、地震被害の都度、当該被害に関する研究と対策が行われているが、設備全体について総合的、系統的な研究はほとんど行われていない。また、配電柱は関東地域だけで500万本と多数を数え、個々の設備について耐震性を検討することは不可能であること、配電設備の設計、施工、保守管理は電気技術者が分担しており、それらの技術

者の耐震性のマクロ的な評価や耐震性評価方法の標準を提示することは土木技術者の責務である。

本研究は以上の背景と経緯の下で行われており、都市基盤設備の一部を担う電力設備の耐震性の評価と向上を目的としている。

第2章では、国内外の主な地震による架空配電設備の震害事例を文献により調査し、被害の概要、特徴と要因を各地震ごとにまとめ、さらに各地震に伴って実施された対策を整理した。次に、既往の研究成果を同様に文献により調査し、その研究成果を被害形態ならびに耐震上の特性ごとに整理した。以上の調査結果を踏まえ、既往の震害対策にも拘らず架空配電設備に関する地震被害が発生している現状から、耐震上の課題を整理した。すなわち、①関東地域に発生が期待される地震動の想定、②支持物と地震の変形特性の把握、③支持物と地震の変形特性を考慮した架空配電設備の耐震性の評価、とくに架線の影響の把握、④地盤の液状化危険区域の推定である。

第3章では、メキシコ地震時の架空配電設備の被害から、メキシコ地震の地震動の特性とその発生原因について考察した。次いで、同様な地震動の発生の可能性について、関東地域の地震活動域・活断層の特性、地震工学的基盤面、加速度推定式について検討を加え、地震危険度解析により関東地域の地震工学的基盤面の再現期間別加速度を推定した。次いで、関東地域でメキシコ地震の様な長周期地震動の発生の可能性の高いと推定される沖積低地の地震モデルを設定し、重複反射法により地表面地震波の算定を行った。さらに、関東地域の沖積低地における表面波および観測地震波の検討を行った。その結果、軟弱地盤地帯とはいえメキシコ市ほどではない地盤構造から、メキシコ市で観測された地震動ほどの長周期の地震動の発生の可能性は低いと想定されている。しかし、埋立地など極く最近に造成された地盤ではこの限りではないことなど、注意が必要であると考えられる。

第4章では、第2章の結果、架空配電設備の被害は配電柱が設置されている地盤条件が支配的であることから、地盤条件、根入れ深さなど変化させて、供用されている配電柱を用いて水平繰返し載荷実験を行った。その結果、支持物と地盤の変形特性は R a m b e r g - O s g o o d 型の履歴曲線で表されること、従来から設計式として用いられている電気協会式は、支持物の径、根入れ長も考慮して実験結果と比較的よく合致することなど明らかとなった。

第5章では、架空配電設備の既往の研究は、配電柱が架線でつながれていない状態で行われており、架線の影響が配電柱の地震時挙動に及ぼす影響が課題とされていることから、架線を含めた配電柱の多質点モデルによる数値解析により、種々の条件の場合について架線の影響の検討を行った。架線はそれ自身の振動により支持物に及ぼす振動効果と、隣接支持物の挙動を当該支持

物に伝達する拘束効果があるが、特殊な場合を除けば振動効果、拘束効果ともその影響は比較的小さいことが明らかとなった。従って、基本的には架線を付加質量として支持物に付加した単柱モデルで耐震性を評価してよいことが明らかとなった。

第6章では、第5章までの検討を踏まえ、架空配電設備の被害形態ごとに耐震性評価基準を提案し、次いで、配電柱の種類、装柱形式、地盤条件をパラメータとして、東京沖積低地に想定される再現期間200年程度の地震動に対する耐震性を解析的に評価した。その結果、特殊な場合を除けば、支持物の折損、倒壊・傾斜、変圧器の落下のいずれについても問題ないものと考えられる。

第7章では、第2章の結果、架空配電設備の地震時被害の代表的な要因の1つに地盤の液状化があげられること、および配電柱は関東地域で500万本を数え、個別の液状化検討は実務的に不可能であることを踏まえ、大地震時に液状化の可能性の高い地域を、地形および既往の液状化履歴をもとに推定しマップ化した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	角田	與史雄
副査	教授	芳村	仁
副査	教授	土岐	祥介
副査	教授	小幡	守

関東地域においては近年沖積低地や埋立地の開発が進められ、軟弱地盤地帯の人口が増加している。それに対応して電力系統の整備が行われ、また都市部においては高圧の電力線を中心に地下化が進められているが、配電線などの低圧の電力線の大部分は架空設備となっており、関東地域だけでも配電柱の数は500万本に上っている。

架空配電設備の耐震性の研究は、地震被害を生ずる毎に被害原因の解明と対策について行われているが、設備全体の耐震性に関する系統的な研究はほとんど行われていない。一方、1885年のメキシコ地震では震源からかなり離れたメキシコ市の軟弱地盤上で長周期地震波が観察され、中高層建物に大きな被害が生じたが、配電設備にも多くの被害が見られ、貴重な教訓を残した。

本研究では、このような背景から、関東地域を対象として架空配電設備の耐震性についての総

合的な検討が行われている。

第1章では、研究の背景と目的について述べ、論文の構成を示している。

第2章では、国内外の主な地震による架空配電設備の被害について文献より調査し、被害の特徴と要因、および地震後の対策についてまとめ、さらに、配電設備の耐震性に関する既往の研究について調査し、整理している。次に、これらの分析により、本研究における重要課題として、①関東地域において発生が予想される長周期地震動の設定、②支持物と地盤の変形特性の把握、③支持物と地盤の変形特性を考慮した架空配電設備の耐震性の評価、とくに架線の影響の解明、④地盤の流動化危険区域の推定、の4課題を抽出している。

第3章では、架空配電設備に多くの被害を出したメキシコ地震の地震動の特性について考察し、これと同様な地震動の関東地域における発生と可能性について検討するため、関東地域の地震活動域、地震工学的基盤面加速度推定式に関する検討と、地震危険度解析による関東地域の地震工学的基盤面の再現期間別加速度の推定を行い、さらに関東地域において長周期地震動の発生の可能性が高いと推定される沖積低地の地盤モデルを設定し、重複反射法による地表面地震波の算定を行っている。その結果、関東地域ではメキシコ地震ほどの長周期地震動の発生の可能性は低いことを明らかにする一方、長周期成分を比較的多く含む地震波を用いて架空配電設備の耐震性の検討を行うことの重要性を指摘している。

第4章では、支持物と地盤の変形特性を調べるため、支持物の種類、地盤条件、根入れ深さなどを変化させて、実際に併用されている配電柱を用いて水平繰返し載荷試験および自由振動試験を行っている。その結果、支持物と地盤の変形特性は Ramberg-Osgood 型の履歴曲線により表すことができること、支持物の径および根入れ深さの相違の影響などの実験結果は、電気協会式による評価をすることができるなどを明らかにしている。

第5章では、架空配電設備の耐震性に対する架線の影響について、多質点モデルによる数値解析により検討している。解析には第3章で得られた関東地域長周期地震波を用い、各種の配電柱タイプおよび装柱形式、種々の地盤条件に対して解析が行われている。その結果、架線の影響としてはそれ自体の振動が支持物の振動に影響を及ぼす振動効果と、隣接支持物の振動を当該支持物に伝える拘束効果とからなるが、いずれの効果も特殊な場合を除き比較的小さいこと、従って架線を付加質量として支持物に付加した単柱モデルを用いて耐震性の評価を行ってよいことを見出し、その方法を提案している。

第6章では、これまでの検討結果をもとに、架空配電設備の被害形態ごとの耐震性評価基準を提案するとともに、配電柱の種類、装柱形式、地盤条件の各組み合わせについて、関東沖積低地に

想定される再現期間200年程度の地震動に対する耐震性を解析的に評価している。その結果、特殊な場合を除けば、被害形態のいずれに対しても大きな問題はないことを明らかにしている。

第7章では、架空配電設備の地震被害の重要な要因の一つである地盤の液状化について検討し、配電柱の数が膨大であるため、個別の検討が実務上不可欠であることを踏まえ、架空配電設備の設計および被害発生時に備える復旧計画のための液状化危険度マップを作成、提供している。

これを要するに、本論文は関東地域の架空配電設備の耐震性について総合的な検討を行い、多くの新知見を得るとともに、実務上有用な多くの情報を提供したもので、耐震工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。