

第 1 章

1

研究の変遷

第1章 研究の変遷 目次

電力中央研究所 研究顧問 中村 秀治
電力中央研究所 名誉研究顧問 坂本 雄吉
我孫子研究所 材料構造部 主任研究員 清水 幹夫
前我孫子研究所 研究コーディネーター 上席研究員 前野 陽治

1 - 1 送電鉄塔・架渉線の耐風設計	9
1 - 2 ギャロッピングの数値解析技術	12
コラム1：UHV 赤城実規模試験線	14



中村 秀治（1971年入所、2002年3月退職）
電力鋼構造物の耐震、耐風、維持管理等に関する諸問題を中心に、現場実測、室内試験、解析コードの開発、耐震座屈設計指針案や風荷重指針案の取りまとめなどを行ってきた。現在は、広島大学で土木構造工学講座を担当して指導に当たる一方、経年鋼構造物の残存耐力評価法の確立に向けた研究を行っている。2002年4月から、広島大学大学院教授。
(1-1執筆)



坂本 雄吉（1952年東北電力(株)入社、1965年より出向、1988年3月退職）
架空および地中送電線路の電氣的、熱的および機械的問題の研究に、UHV送電線路建設技術部長として赤城および塩原実験場の試験設備の建設に、また電線路雪害対策プロジェクト・チーム主査として架渉線の着雪およびその防止対策の研究に従事。現在、(株)工学気象研究所最高顧問。
(1-1執筆)



清水 幹夫 1991年入所）
耐震部で地盤の液状化を研究する予定であったが、直後に発生した台風9119号を機に、以降今日まで送電線の振動解析に携わる。この間に開発した解析コード「CAFSS」は、広く一般に普及している。
(1-2執筆)



前野 陽治（1968年入所、1999年6月退職）
入所以来、送電鉄塔の耐風設計研究等、電力施設の構造力学的諸問題に従事。1980年頃にUHV送電鉄塔の動的安定性の研究に従事した後、1992年から数年間局地風研究の推進役を担当。現在、(株)シー・アール・エス取締役。
(コラム1執筆)

1 - 1 送電鉄塔・架渉線の耐風設計

1-1-1 国内・国外の動向

送電線路の耐風設計は送電線路が建設されるようになって以来の課題であるが、なお課題を抱えつつ現在に至っている。それは単に強風に対してばかりでなく、風によって引き起こされる種々の現象、例えば、

- ① カルマン渦によって生ずる架渉線の振動（微風振動とも呼ばれる）
- ② 架渉線の撚線構成や着氷雪によって水平方向の風速成分によって揚力が生じてしまうことによる自励振動（ギャロッピングと呼ばれる）
- ③ 多導体のような場合に風下側の素導体が風上側のものの後流域に入って、位置によって抗力および揚力が異なることに起因する振動（サブ・スパン振動またはウェーク振動と呼ばれる）
- ④ 山の風下側での強風や強風のもとでの鉄塔と架渉線の連成系の共振

等々が生じ得るからである。

このため送電技術者は、設備が大型化するとともに、条件の厳しい箇所に建設を余儀なくされるため、実に多岐に亘る問題を経験することとなった。一方で、これらに対する対応策の検討が技術を進歩させたことも確かである。

一般には送電鉄塔の耐風設計は、各国でそれぞれの規程または基準として制定されており、一部の国では構造物一般についての規程・基準に準拠しつつ、送電線路の特性を詳細に加味したものとなっている。すなわち、

- i) その長い巨長に亘って強風に曝される地域を通過し、
 - ii) 比較的張力が大きく、
 - iii) その張力が風圧力や着氷雪の重量のような外力によって敏感に大きく変化し、
 - iv) 1基あたりでは比較的重量の小さい多数の鉄塔が設計、建設されなければならない、
 - v) 4脚を有する四角鉄塔の場合は、不同沈下により下部の部材に大きな2次応力が発生すること
- 等々の理由で、送電鉄塔自体のための別の規程・基準を定めている例が多い。

例えば、ASCE（米国）ではビルディングおよびその他の構造物についての荷重基準 [ASCE 7-98]⁽¹⁾とは別に、送電線路についての荷重指針 [ASCE No.74]⁽²⁾を制定しており、また鉄塔設計の指針 [ASCE No. 52] も制定している。カナダでも CSA 標準 CAN/CSA-C22.3, No. 1-01 “ 架空システム ”⁽³⁾を制定している。これらには各国の風速マップが示されており、多くは10分間またはその他の平均時間を有する平均風速に基づいたものである。ただし、ASCEでは最近の上記の2つの標準の改訂案では突風風速に改めている。またドイツではその Hornisgrinde における長期の観測結果に基づいて、独特の径間長の関数としての架渉線風圧の低減率を導き、その設計標準 DIN-VDE⁽⁴⁾で使用している。

また、世界の電気事業の標準化機関である IEC では、英国、フランスおよびイタリアでの長年の共同研究、および、その後の CIGRE (SC22) の研究に基づいて、技術報告書 “ 架空線路の荷重と強度 ” (IEC60826-1991)⁽⁵⁾を刊行している。本報告書は、荷重および強度を共に確率論的に扱い、信頼性理論に基づく設計法の立場をとっており、風荷重決定の基盤になるデータは10分間平均風速であるが、平均時間3～5秒の突風風速に変換するのに、主に Engineering Science Data Unit (英国) でまとめられた方法を使用していて、1より小さい突風応答係数を採用している。さらに、EPRIでも同様な趣旨で送電線路の信頼性設計に関する報告書を刊行しているが、ここでは風速を極値統計で求めるのではなく風荷重を極値統計で求めることを提唱し、荷重・強度係数設計法を IEC より強く提唱している。⁽⁶⁾

なお、これらの標準・基準類では大気境界層の中での強風現象（例えば大竜巻、ダウン・バースト、サイクロン、ハリケーン、台風、カタバ風等々）およびそれらへの対処法が十分に反映されていないことから、最近 CIGRE の SC22 はその下部に WG16 “ Meteorology for over head lines ” を編成し、特に High Intensity Winds に関する報告書の作成に着手している。これらは主に不安定大気条件に関連する現象および特異地形に関連する渦現象に伴うものである。

翻って我が国における技術の変遷を振り返って見ると、

古くは逓信省制定の電気工作物規定があり、これが多少の改訂を経て今の「電気設備の技術基準」⁽⁷⁾に引き継がれている。本技術基準は純粹に決定論的手法に基づくものであって、ほとんど全国一律に同じ風荷重および被氷荷重を使用し、破壊強度に対して一律の安全率をとった強度と比較して部材断面を決定するように定めている。しかし、わが国は国土が北から南に長く伸び、気象条件が著しく異なることから、送電線路に発生する条件が地域によって大きく異なる。そこで、これに合理的に対処するため、電気共同研究会に大型鉄塔研究委員会（電気共同研究会、大型鉄塔研究委員会：送電用大型鉄塔、1964）が設立され、その成果を踏まえて1972年に送電用鉄塔設計標準特別委員会が設立した。この委員会における7年間の議論の結果として、荷重を統計に基づいて定める準確率的な方法に基づく送電用支持物設計標準（以下、JEC-127）⁽⁸⁾が制定された。これが現在も基本的には使用されているが、制定後20年以上を経過し、当時としては新しいもので正しいと考えられていた事項にも、最近の知見に基づいて見直しの必要が論じられている。

1-1-2 当所の取り組み

以下に、当所の送電線路の耐風設計に対する取り組みを年代順に述べる。

< 500kV 武山試験線での観測 >⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

500kV 武山試験線の2号鉄塔において、強風時の挙動の観測が1968年～1969年にかけて実施され、1969年8月の台風9号通過時の震動観測結果がスペクトル解析され、報告されている。

< 多良間島における台風観測 >⁽¹¹⁾

これは当所が、故七里義男大阪大学名誉教授の提唱によって関西電力が京都大学防災研究所と共同で開始したものを引き継いだものである。この観測は台風の接近の頻度が比較的大きい沖縄県の、しかも地形が平坦で、風に対する地形の影響が小さい多良間島を選定して、多数の風車型風速計を配置して7年間に亘り行われたもので、その成果は当所報告書として発表され、JEC-127（1979）にも反映されている。

< 海外プラクティスの調査およびデータの机上解析 >⁽¹²⁾

上述の電気学会の送電用鉄塔設計標準の審議の一環として海外調査が実施され、当所もそれに参加するとともに過去の気象データの机上解析を行って、その結果を報告し、その成果がJEC-127（1979）に反映された。

< UHV 赤城試験線の動的試験 >^{(13)～(19)}

当所赤城試験センターにUHV試験線が建設されることに伴って、その2号鉄塔を中心として動的試験が実施された。同試験線が建設される過程において、

- i) 基礎が完成した段階
 - ii) 2号鉄塔の建設が終了し、架渉線が架設されていない段階
 - iii) およびすべての架渉線が架設された後の段階
- のそれぞれにおいて、種々の振動試験が行われ、その結果が報告されると共に、その結果が動的応答の数値シミュレーション・モデルの構築に反映され、実線路の風応答および地震応答の検討に使用された。また同試験線の強風時の応答観測結果も報告されている。

< 耐局地風設計研究 >^{(20)～(23)}

1991年9月の台風19号により、九州、四国地方を中心に、基幹送電線を含む送電設備に重大な被害が生じ、社会的に大きな影響を与えた。電気事業連合会の委員会が被害分析した結果、地形影響により風速などが著しく強められる局地風の実態把握と予測手法の開発、ならびに局地風に対する送電設備の合理的設計法の確立が必要となることが判明した。

本研究は、上記背景の下に電気事業連合会の依頼を受けて、将来、地形条件や気象条件の苛酷な場所を通過することが多くなると予想される基幹送電線の、信頼度確保と設計合理化を目指して、1992年度下期から6力年半の計画で実施された。電力会社側はこれと並行して全社の共同研究を設定し、九州・四国試験線の建設と観測を行い、当所はそのデータ解析にあたった。また、当所は所内に学識経験者と全電力が参加する局地風対策研究推進委員会（委員長：大熊武司神奈川大学教授）及び3つの分科会（風観測分科会、風解析予測分科会、風応答特性分科会）を設置して、全電力大での研究の総合的推進を図った。

1999年3月をもって本研究は予定通り終了して、研

究成果を電気事業連合会に報告すると同時に、「特殊地形における送電用鉄塔の風荷重指針（案）」を明らかにしたが、技術的に特筆すべき点は次の通りである。

1. 等価静的風荷重に基づく鉄塔設計法の体系化
2. 最新のコンピュータシミュレーション技術の活用
3. 地形影響を受けた風に関する観測結果の活用

< 苓北火力線の耐風対策検討 >

1999年9月24日、台風18号の通過により九州地方中部で鉄塔損壊事故発生した。被害規模は、人吉新水俣新線（110kV）、日奈久分岐線（66kV）、人吉八代線（110kV）、苓北火力線（500kV設計）における倒壊、断線、碍子破損などであった。

直ちに九州電力(株)内に送電線耐風対策検討委員会が設けられ、10月21日に第1回委員会が開催された。各分野の専門家が、事故時の気象状況、損壊鉄塔箇所の風速、被害設備の設計、製作、施工、保守管理状況を調査し、設備被害に至った原因を詳細に解明し、復旧対策を明らかにすることとなった。第3回委員会をもって結審したが、当所は本委員会に以下のように寄与し、結論を導くのに貢献した。

1. 気流解析で現地の風速推定に寄与
2. 風応答解析で苓北火力線のトリガー鉄塔と最弱部材の特定に寄与
3. 耐荷力解析で限界風速の推定に寄与
4. 溶接継手部の低サイクル疲労試験で、苓北火力線No.162の倒壊が疲労破壊ではないことを確認

< 耐風設計合理化研究 > ^{(24)~(26)}

耐局地風設計研究の成果に基づいて、一般地形を対象に従来の耐風設計を合理化できる可能性が明らかになってきたので、1999年4月から3年間計画で、当所は新たに耐風設計合理化委員会（委員長：大熊武司神奈川大学教授）を設置して既往の設計基準類の見直しを視野に入れた検討を開始し、設計風速算定と設計風荷重算定の合理化を2本柱として研究開発を進めた。

本研究の最終成果は、「送電用鉄塔の風荷重指針（案）・同解説」にまとめられているが、概要は次の通りであった。

1. 風向別基本風速の策定

風向別基本風速の策定にあたり、気象官署における

観測値を成因別（台風と非台風）に整理するとともに、台風データについては、台風モデルを用いたモンテカルロシミュレーションによる値を、気象官署観測値でキャリブレーションする方法を新たに提案した。

また、基本風速の再現期間は、風向特性と構造物の荷重効果を考慮し、設計軸力に対する年超過確率0.02を目標として150年と定めた。この方法により、気象官署位置の風向別基本風速を求めた後、大領域の気流解析結果（日本列島を北海道、東北、関東・中部・近畿、中国・四国・九州の4領域で解析）を官署間の内挿に用いて8風向の基本風速マップを作成した。

2. 設計風速算定法の合理化

一般地形を含む設計風速は、8風向の風向別基本風速に対象地点の地表面粗度、小地形の影響および気象学的増速効果を考慮して定めることとした。また、小地形の影響を考慮するための簡易増速率算定法および気流解析コードなど評価に必要なツールを整備した。さらに、2山地形に関する風洞実験を行い、気流解析との比較により解析コードの妥当性を示すとともに、多数の実地形シミュレーションにより気流解析コードを利用する際の留意点を明らかにした。

3. 設計用風荷重算定法の合理化

等価静的風荷重の基本的考え方は、「特殊地形における送電用鉄塔の風荷重指針（案）」に準じているが、風荷重の非同時性低減係数を新たに提示し、荷重の精緻化を図った。また、架渉線風応答に関する風洞実験および赤城試験センターにおけるフィールド実験を行い、風荷重算定式、非同時性低減係数の妥当性を確認するとともに、信頼性の向上を図った。

4. 試設計

本風荷重評価法の合理化効果を確認するため、日本全国の任意の地点をランダムに抽出し、従来法（JEC-127および電技）と新手法による試設計を行った。その結果、過去に鉄塔被害が発生したような、海岸周辺における特殊地形箇所では従来法より設計軸力が大きく評価されたものの、その他の地域については、約7割程度が従来法よりも小さくなることがわかった。本手法では、風向特性、地形効果、地表面粗度、構造物の動的特性を考慮できることにより、実況に応じた設計を可能としたことが主な理由と考えられる。

1-2 ギャロッピングの数値解析技術

1-2-1 国内外の動向

着氷雪した架空送電線の風による自励振動現象は、慣例的に送電線のギャロッピングと呼ばれている。送電線のギャロッピングは、電線の混触による短絡事故、スパーサ、碍子、さらには鉄塔部材などの周辺設備の疲労破壊の原因となり得る。したがって従来から、発生条件の解明⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾や、観測による挙動評価⁽³¹⁾、および経験的な振幅予測法に基づく設計式の提案⁽³²⁾など、ギャロッピングを対象とした種々の検討がなされてきた。

ところで、こうした自然現象を把握し、対策を提案する上で、現象の再現や予測、および対策の効果検証を数値的に可能とする解析的検討、特にシミュレーションは、極めて強力な手段といえることができる。シミュレーションによれば、現象の再現や、関係する要因をパラメータとした感度解析ができる他、実験と比較して安価で容易に対策の効果を確認することができる。このため、ギャロッピングの振動特性評価、応答予測およびシミュレーションなどの解析的検討も、少なからずなされてきた。

国内では、古くは五藤⁽³³⁾、あるいは大月⁽³⁴⁾の研究をシミュレーションの試みとして挙げることができ、特に前者を基本とした応用例⁽³⁵⁾もみられる。これらは、はじめてシミュレーションによりギャロッピング現象を再現した例として評価できる。しかし、いずれも対象構造物である送電線の基本的な振動特性を十分に考慮していないことから、現実的なシミュレーションをなし得ず、現象の本質的な解明や実用化には至らなかった。送電線の基本的な性質を、ケーブル構造物の厳密な運動方程式に基づいて考慮した解析的検討は、国内では山口⁽³⁶⁾、大熊⁽³⁷⁾、そして筆者が行っている。

山口⁽³⁶⁾によるケーブル構造物を対象とした精緻な解析例は列挙に暇がないが、送電線のギャロッピングに関するものとしては、多導体送電線を対象とした解析⁽³⁸⁾を挙げることができる。ここでは、等価単導体に簡略化した4あるいは6導体の有限要素モデルを用い、平均風速の作用下にある静的な横振れ状態について複素固有値解析を行い、ギャロッピングの発生モードと振動数を求めて

いる。また、大熊⁽³⁷⁾は、等価単導体に置き換えた4導体の有限要素モデルに対し、一様流および乱流中で、大変形を考慮したギャロッピングシミュレーションを行い、応答特性を評価している。

国外では、Richardson⁽³⁹⁾が、空気抵抗係数をFourier級数で記述し、1周期の振動におけるエネルギーの収支から、1自由度ギャロッピングの振幅予測式を導出した。また、正方形断面および着氷雪電線断面に対し、Raynold's数の影響を考慮したギャロッピングの振幅予測を行った。Desai et al.⁽⁴⁰⁾、Yu et al.⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾は、1質点系を対象とした鉛直およびねじれの2自由度、あるいは電線を対象とした鉛直、水平およびねじれの3自由度の連成振動を考慮したギャロッピングの運動方程式を導き、ギャロッピングの発生条件、リミットサイクルとその安定性の評価を解析的に行っている。また、Lilien⁽⁴²⁾は、有限要素法に基づくシミュレーション手法を、試験線や風洞実験で得られたデータを用いて検証している。

1-2-2 当所における取り組み

当所における電線挙動のシミュレーション技術の開発は、台風9119号による送配電設備の甚大な被害に端を発する。台風9119号により鉄塔の倒壊、折損事故が生じたことから、その後の対策に資することを目的として、電事連大の要請の下、電力各社が所有できる鉄塔および架渉線の解析プログラムを、当所が開発することとなった。開発に際しては、高精度で高速の計算を可能とすることはもちろん、全国の多種多様な架線形態の送電線路が解析対象となること、強風時における電線振動を大変形問題として扱うこと、および電力各社の計算環境で動作することが条件となった。したがって、解法には、複雑な形状を有する連続体構造物のシステムティックな解析に適した有限要素法を採用し、大変形解析のために幾何学的非線形性を考慮することとした。また、プログラム自体は、計算機のOSに無関係に動作する基本設計とした。

こうして、強風時における鉄塔-架渉線連成系の解析プログラムの開発が始まったが、その一方で、従来から

ギャロッピングの実用的な解析手法および決定的な対策法の確立が課題となっていた背景の下、1994年に中地域発変電・送電分科会に電線異常振動調査研究小委員会が発足（活動期間は約1年半）し、当所もこれに参加することとなった。この小委員会において、当所にはギャロッピングのシミュレーション手法の開発が要求されたことから、上記の鉄塔-架渉線連成系の解析プログラムに、着氷雪電線の空力特性を考慮して、ギャロッピングを再現できる機能を追加することとなった。

以上の経緯で、強風振動やギャロッピングなど、送電線路の振動解析手法の開発が進められたが、その過程で、高分子碍子の開発研究や依頼研究への適用により、段階的にプログラムの機能が検証された。まず、1995年には、高分子碍子型の絶縁アームおよび相間スペーサの開発研究⁽⁴³⁾の一環として、ポリマー相間スペーサを含む電線のスリートジャンプの解析を行い、試験線で得られた現場実験結果との比較により、機械的外力に対する応答解析機能を検証した⁽⁴⁴⁾。また、1997年には、鉄塔を含めてスリートジャンプの解析を行い、同じく試験線における実験結果から、連成系の解析機能を検証する⁽⁴⁵⁾⁽⁴⁶⁾とともに、中国電力殿の依頼により、実際の配電線を対象としたパフティング解析を行い、現場観測結果との比較から、風応答解析機能を検証した⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾。なお、この段階で解析プログラムは暫定的に「FU-SIN」と命名された。1998年には、ギャロッピングの解析機能が完成し、一部北海道電力殿の要請の下、一定風および変動風の下で着雪電線に自励振動が発生すること、および相間スペーサが機能することを確認した^{(49)~(51)}。ここで、解析プログラムには「CAFSS」というコードネームがつけられ、広く一般公開されるに至った。

こうして、ギャロッピングを含む電線の風応答解析が

概ね可能となったことから、当初予定されていた強風時における鉄塔-架渉線連成系の解析以外に、各電力からの依頼研究として、ギャロッピング事故や相間スペーサの効果検証、および低風圧電線の開発研究⁽⁵²⁾など、CAFSSを実務に適用する機会が急増した。

また、当時、それまでに蓄積されたギャロッピングに関する知見や、新たに開発された技術を総合的に評価することを目的として、電気学会の電力技術委員会の下に、架空送電線のギャロッピング現象・解析技術調査専門委員会が設置され、CAFSSの評価と、これを用いたパラメトリックスタディによる、ギャロッピングの要因分析がなされた⁽⁵³⁾。評価の過程で、最上試験線を対象としたギャロッピングのシミュレーションを行い、観測結果との比較から、CAFSSが現実的にギャロッピング現象を再現し得ることを確認した⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾。

以上のように、送電関係の開発研究、実務レベルの依頼研究、および委員会活動を通じ、現場実験、観測結果など実現象との比較、検証を踏まえて、当所におけるギャロッピングのシミュレーション技術は進化してきた。これまでにCAFSSは、電力各社の他、10社を超える電線メーカー等民間企業に配付され、150人以上のユーザーに使用されている。このことから、CAFSSが広く認知され、事実上、ギャロッピングシミュレーションの標準プログラムに成り得たと認識できる。

当所では現在、CAFSSの精緻化を進めるとともに、利用技術向上のための周辺プログラムの開発、総合マニュアルの編纂および講習会を行っている。また、合理的なギャロッピング対策の確立を目的として、所内研究および依頼研究において数値解析的検討を実施している。

コラム1：UHV 赤城実規模試験線

試験線の概要

群馬県赤城山の南面裾野斜面にある電中研赤城試験センターには、3基2径間（巨長600m）の大型送電線路が構内を東西方向に横断するように建っている。

鉄塔高さは100mに近く、重量は1基当たり300tに達する実規模のUHV（100万ボルト級）送電用試験線である（写真1）。

わが国におけるUHV送電研究のモニュメントとも言うべきこの試験線と、この試験線の建設時に行われた動的試験について簡単に紹介しよう。

わが国初の50万ボルト送電が始まった昭和40年代の後半には、電中研は既に次期UHV送電の調査・研究を行っていた。昭和53年に中央電力協議会の依頼により「UHV送電特別委員会」が設置され、100万ボルト級送電の実現に向けた本格的研究が開始された。

赤城実規模試験線は、UHV送電線路の①地震・強風に対する動的安定性、②環境対策、③建設・保守技術、の実証を行うことを目的として、昭和54年に着工し、昭和55年12月に架線工事が終了した。

設計は改定されたばかりの電気調査規格会標準規格「送電用支持物設計標準（JEC-127-1979）」に従っている。基礎の工事開始から架線終了まで1年以上かかっているが、その理由は工事途中で以下に述べる動的試験を実施し、基礎工事 試験 鉄塔組立工事 試験 架線工事 試験という手順で建設したからである。

動的試験

送電線路は静的に置きかえられた風・冰雪荷重に対して設計され、通常の場合、地震に対しては十分安全であるとされている。

しかしUHV鉄塔は大容量送電を行う基幹線としての重要性和、従来の鉄塔に比べて塔高や腕金の長大化、電線・碍子連の重量化などの構造的特徴を有しているため、その実用化に際しては特に地震荷重に対する安全性を実証する必要があると判断された。当時、大型の鉄塔の振動特性に関するデータは少なく、また数値モデル化手法も十分な検証を経たものは無かった。そこで図1に示すようなフローに従って、実規模試験線の動的安定性の実証を行うこととなった。

基礎や鉄塔の振動特性（固有振動数と振動形、減衰定数、等）を求めるための方法としては、常時微動観測やワイヤーを用いた自由振動試験など

も併用したが、なんと言っても起振機による起振試験が中心であった。

起振機（最大起振力10Hzで10t）は基礎の場合はコンクリート床版上に設置したが、鉄塔単体と連成系の起振試験では鉄塔を大きく揺すため、中央の2号鉄塔最上段パネル（地上高さ90m）に設置した。線路方向と線路直角方向、および捻りの3種類の振動を、起振機の平面内の位置を変えることによって生じさせた。

鉄塔の減衰定数は小さく（観測の結果、曲げ1次振動で0.3%程度）、共振領域での共振曲線は急激に立ちあがるため共振ピークを捉えることが難しく、0.01Hz刻みで振動数を変化させた。少ない計測回数では応答ピークを正しく捉えられないおそれもあったため、低次のピークでは計測を20回も繰り返すなど、綿密な計測が行われた。試験期間中起振機にトラブルが生じたり、赤城地方特有の雷に襲われて計測用センサーが壊れたりしたこともあって、起振試験期間は合計7ヶ月の長期に及んだ。実験従事者の間では、鉄塔が壊れるか起振機が壊れるか、人間が壊れるかという冗談が飛び出すほどであった。

とにもかくにも、一連の試験の結果、基礎と鉄塔単体、ならびに3基2径間連成系の振動特性と、構成要素間の相互作用が明らかにされると共に、それぞれの力学モデル化とそれに基づく数値シミュレーションによって、種々の知見が得られた。

地震応答観測も行い、委員会での討議も経て、総合的な結論として、「100万ボルト級の大型鉄塔を従来手法で設計しても、十分な耐震性能を有する」が得られ、UHV送電の実現に向けた大きな第一歩が踏み出された。

なお、中央の2号鉄塔での風応答観測や、2号と3号の径間において架渉線を地上からロープで引っ張る人工ギャロッピング模擬試験を行って、それぞれ有用な知見を得た。

このUHV試験線も間もなく架渉線が撤去され、その四半世紀にわたる歴史に幕を閉じようとしている。

参考文献

- 1) 電気学会雑誌「特集UHV交流送電、送電線」pp. 1003～1011、昭和57年11月号
- 2) 電力中央研究所報告「UHV赤城実規模試験線の動的試験」；7分冊 380053、381039、382051、382052、385051、183038、T86008



写真1 UHV 赤城実規模試験線

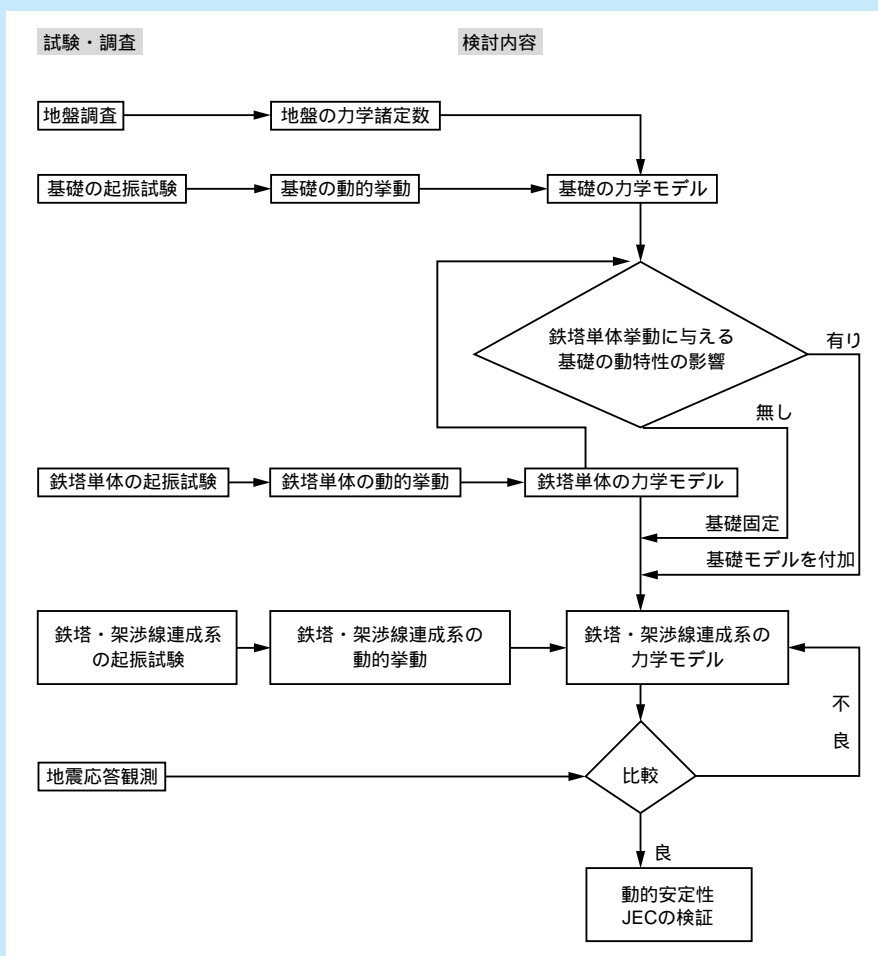


図1 動的安定性検討のフロー図