

### 7) 風洞実験を活用した送電線のギャロッピング現象の解明

#### 背景

ギャロッピング現象の解明に必要な情報として、①電線に作用する風速、②着氷雪の形状と空気力係数、および③電線の応答が挙げられる。従来、試験線を対象とした現地観測などにより、これらの情報を得る試みがなされてきたが、風速の空間構造と着氷雪電線の空力特性とを併せて測定することは極めて困難であった。一方、風洞実験によれば、実験対象とする模型の諸特性を明らかにした上で、風速と応答とを同時に測定することが可能である。当所では、これまで、東京大学と共同で、着氷雪4導体および単導体の部分模型を対象とした空気力係数を測定しており、ギャロッピング現象解明に向けた技術的知見が蓄積されつつある。

#### 目的

4導体と単導体の着氷雪部分模型を対象とした風洞実験を実施し、風速、着氷雪の形状とその空気力係数、および応答変位を含む一貫性のあるデータを取得するとともに、これに基づいて、ギャロッピング現象を再現し、振動特性を解明する。

#### 主な成果

風洞実験には、東京大学の全径間風洞を使用した。空気力係数データを取得済みの着氷雪4導体および単導体の部分模型を4本のワイヤで風洞内に架設し、振動系を構築した。その上で、ワイヤ間隔を変えてねじり剛性を調整することにより、実際の4導体あるいは単導体送電線を想定した構造条件を設定して、風洞実験を実施した。

##### 1. ギャロッピングの再現

上記振動系に一定風を作用させ、その風速を徐々に増加、減少させた結果、ねじり剛性を低く設定した4導体、単導体においてギャロッピングが再現され、振動が定常的に継続する状態、すなわちリミットサイクルに至ることを確認した。また、ギャロッピングの発生時においては、模型のねじり角、すなわち着氷雪の迎え角が Den Hartog のギャロッピングの発生条件式<sup>\*1</sup>を満たすことを実証した。

##### 2. ギャロッピングの振動特性の把握

ギャロッピングの発生風速は、風速の増加過程と減少過程との間で異なり、風速と部分模型の変位との関係はヒステリシスループを描くことが判明した。また、リミットサイクルにおいては、振幅の増加に伴って、水平、鉛直およびねじりの各方向の卓越振動数が一致する、振り子状の振動モードが発達し、その振動数は、風速の増加に伴い増加することを明らかにした。

なお、本研究は、東京大学との共同研究として実施した。

#### 今後の展開

乱流作用下の風洞実験および流れの数値シミュレーションを行い、送電線のギャロッピング挙動をより詳細に解明する。

主担当者 地球工学研究所 構造工学領域 主任研究員 清水 幹夫

#### 関連報告書

「着氷雪4導体および単導体送電線の定常・非定常空力特性に関する研究」電力中央研究所研究報告 U03044

「着氷雪4導体および単導体送電線のギャロッピング現象の解明 その1」電力中央研究所研究報告 N04024

<sup>\*1</sup>:断面に対する風の迎え角を $\theta$ 、これに依存する抗力係数を $C_D(\theta)$ 、揚力係数を $C_L(\theta)$ とした場合、 $dC_L(\theta)/d\theta + C_D(\theta) < 0$ が満足される時、空力減衰が負となり、ギャロッピングが発生するという条件式。

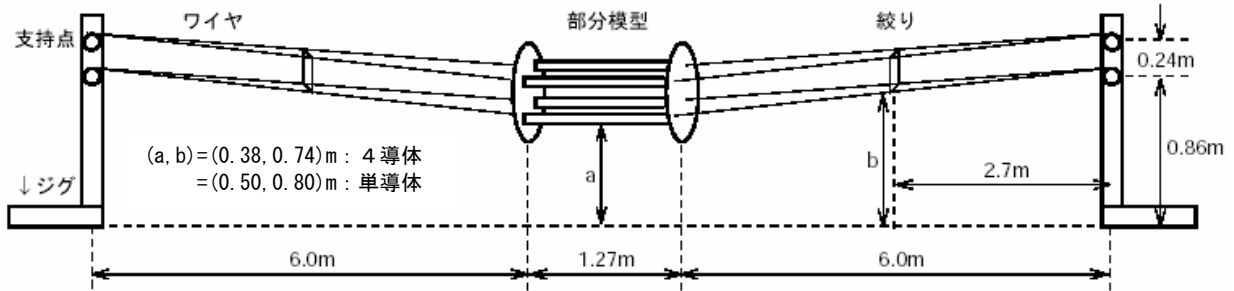


図1 部分模型の架設による振動系の構築

4 導体と単導体の部分模型を用い、「絞リ」によってワイヤの間隔すなわち系のねじり剛性を調整。

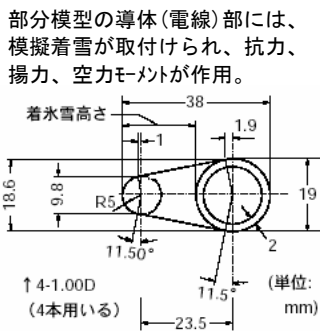


(a) 4 導体および周辺設備

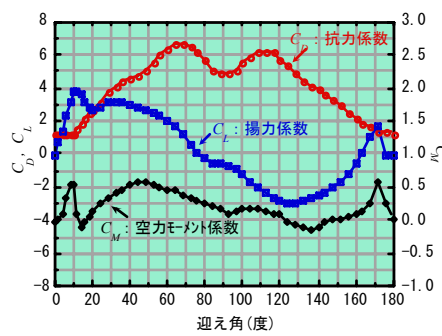
(b) 単導体

図2 部分模型の風洞内架設状況

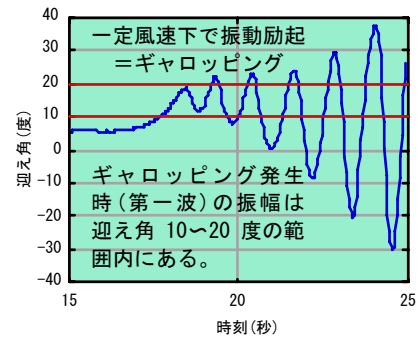
ピトー管により風速を測定。部分模型端板上のマーカーに対してカラーTRACKERにより変位を測定。



(a) 模擬着雪の寸法



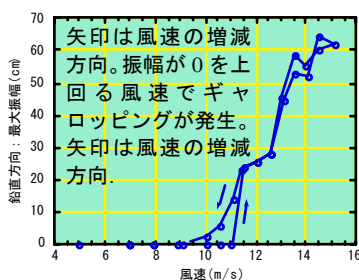
(b) 空気力係数



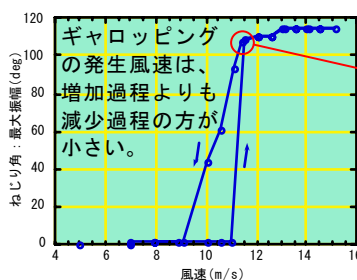
(c) 部分模型の迎え角の時刻歴

図3 部分模型の模擬着雪寸法・空気特性・ギャロッピング発生時の迎え角時刻歴(4 導体)

着氷雪を考慮した部分模型の抗力係数と揚力係数に Den Hartog の式を適用すれば、迎え角 10~20 度の範囲でギャロッピングの発生条件が満足されるが、この範囲は測定結果の第一波の振幅と一致する。



(a) 鉛直変位の最大振幅



(b) ねじり角の最大振幅



(c) 振動中の部分模型

図4 風速と部分模型の最大振幅(鉛直変位・ねじり角)との関係(ギャロッピング振動時の部分模型)