

## 数値流体解析による着氷送電線の空気力特性の予測

○ 東京大学 学生員 長谷川信幸  
 東京大学 正会員 石原 孟  
 東京大学 フェロー会員 藤野陽三

### 1. はじめに

送電線に冰雪が付着すると、空気力特性が変化し、ギャロッピングと呼ばれる大振幅自励振動が発生することが知られている<sup>1)</sup>。ギャロッピング振動を予測するために、着氷送電線の空気力係数を予め把握しておく必要がある。着氷送電線の空気力係数は風洞実験により求めることが可能であるが、時間とコストがかかる。そのため、実際に発生したギャロッピング振動を解析する際には既存の風洞実験から得られた空気力係数の内外挿値が用いられているのが現状である。しかし、このように求められた空気力係数と実際の着氷送電線の空気力係数とはどの程度一致しているかについては不明な点が多く残されている。任意形状を有する着氷送電線の空気力係数を迅速かつ正確に評価する手法の確立は急務と言える。

そこで、本研究では LES モデルに基づく数値流体解析を行い、モデル着氷送電線の空気力係数を求めると共に、風洞実験の結果と比較することにより、数値流体解析手法と既往の風洞実験の結果による内挿法の予測精度を明らかにする。更に、風洞実験で得にくい圧力の空間分布や流れの流線図を用いて、ピーク揚力の発生メカニズムを解明する。

### 2. 解析手法と解析モデル

本研究では流れの非定常性と 3 次元性を再現するため、LES (Large Eddy Simulation) 解析を行った。

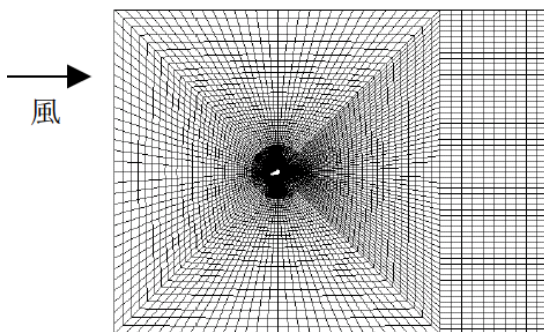


図1 解析格子

図1には解析格子の一例を示し、送電線表面近傍が細くなるように格子を配置した。解析領域のspan方向の長さは送電線直径の2倍とし、分割数は20とした。総メッシュ数は227800である。風速は10m/sとし、レイノルズ数は13007、無次元化時間刻み $tU/D$ は

0.04とした。数値解法の詳細については参考文献2を参照されたい。図2には本解析に用いたモデル着氷送電線の断面形状を示す。着氷高さは送電線直径 $D$ の1.0倍、0.5倍、0.25倍とした3つのモデルを用いた。本研究ではこれらのモデルをそれぞれ1.0D、0.5D、0.25Dモデルと呼ぶことにした。

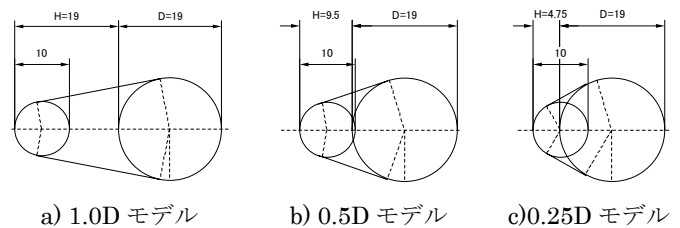


図2 モデル着氷送電線の断面形状

### 3. 空気力係数の解析結果

図3には1.0Dモデルの抗力と揚力係数の数値解析結果と風洞実験値<sup>3)</sup>との比較を示す。迎角 $12^\circ$ 付近における揚力係数のピークの出現や迎角 $12^\circ$ からの抗力係数の線形的な増大が精度よく再現されている。いずれの迎角においては抗力及び揚力係数の予測値と実験値とも一致している。

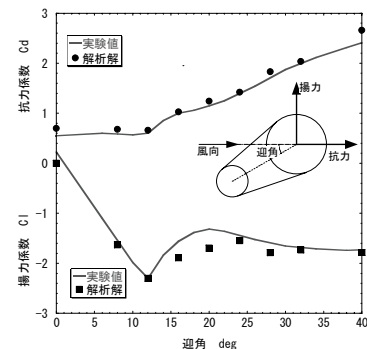


図3 1.0Dモデルの空気力係数の予測値と実験値との比較

図4、図5には0.5Dモデルと0.25Dモデルの空気力係数の予測値と実験値との比較を示す。いずれのケースにおいても予測値と実験値は一致し、任意着氷長さに対して、平均空気力係数をLESにより精度よく求めることが可能であることがわかる。また、0.5Dモデルについては従来行われてきた内挿方法により、1.0Dモデルと0.25Dモデルの空気力係数から0.5Dモデルの空気力係数を求めた。図4から分かるように、このように求められた揚力係数は迎角 $18^\circ$ 付近でのピークが全く再現できず、ギャロッピング振動予測の精度に大き

な影響を与える可能性があることを示唆した。

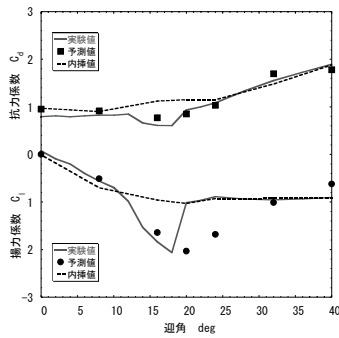


図4 0.5Dモデルの空気力係数の予測値と実験値との比較

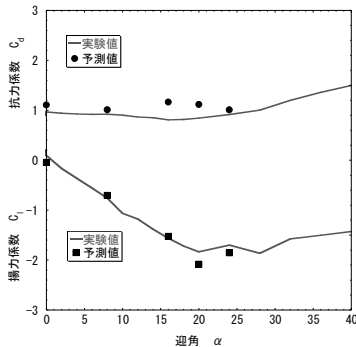


図5 0.25Dモデルの空気力係数の予測値と実験値との比較

#### 4. ピーク揚力の発生メカニズム

ギャロッピングの発生原因は揚力係数  $C_L$  の勾配が負の空力減衰をもたらすことによるものと知られている。しかし、空気力係数の迎角による急激な変化などは風洞実験により計測することはできるが、このような急激な変化をもたらす原因を明らかにするには流れの可視化や圧力の測定などが必要である。数値解析ではすべての物理量が一度に得られるため、揚力係数のピークの発現メカニズムを調べることが可能である。

図6には1.0Dモデルにピーク揚力が現れる迎角  $12^\circ$  の時における着氷送電線表面の平均圧力分布を示す。また比較するために、 $16^\circ$  の時の平均圧力分布も併記した。この図から、着氷送電線の下面前縁  $x/B$  ( $B=D$ )  $=1.6\sim 1.9$  付近では、迎角  $16^\circ$  に比べ、迎角  $12^\circ$  の時の負圧が大きくなっていることが分かる。この負圧により、下向き大きな揚力が発生している。

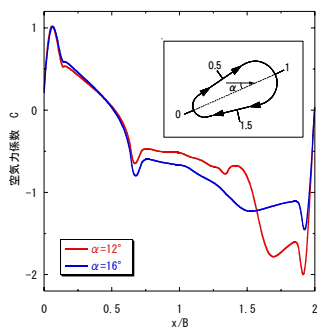


図6 ピーク揚力発生時の着氷送電線表面の圧力分布

$12^\circ$  の時に大きな揚力を発生するメカニズムを明らかにするため、迎角  $12^\circ$  と  $16^\circ$  の平均流線と平均圧力コンターを図7に示した。この図から、迎角  $12^\circ$  の時には着氷送電線下面前縁にはっきりした剥離泡が見られ、それに対応して、着氷送電線下での負圧も大きくなっていることが分かる。一方、迎角がすこし大きくなった  $16^\circ$  では着氷送電線下面の剥離泡は  $12^\circ$  の時より後ろに流れており、平均負圧も小さくなっている。

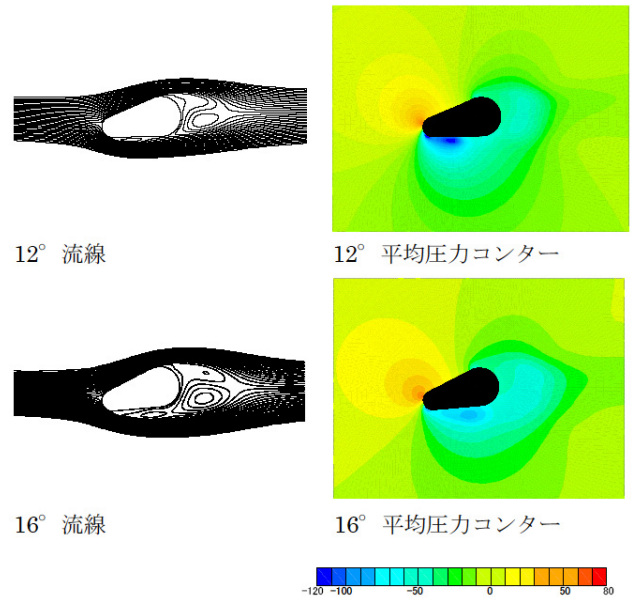


図6 平均流線図および平均風圧分布

#### 5. まとめ

本研究ではLESモデルに基づく3次元非定常解析を行い、着氷送電線の空気力係数及びピーク揚力の発生メカニズムを明らかにし、以下の結論を得た。

- 1) LES解析により予測された着氷長さの異なる送電線の空気力係数は実験値と一致することが分かった。
- 2) 内挿により求めた空気力係数はピーク揚力の発生を再現できず、数値解析の必要性が明らかになった。
- 3) ピーク揚力の発生は着氷送電線下面前縁の剥離泡の滞留に関係し、それに伴う大きな負圧の発生が原因となっていることが明らかになった。

**謝辞** 本解析の実施にあたり、フルーエント・アジアパシフィック(株)の岡新一氏と電力中央研究所(財)の清水幹夫博士にご助言を頂いた。ここに記して、謝意を表す。

**参考文献** 1) 架空送電線のギャロッピング現象解析技術，電気学会技術報告，第844号，2001. 2) 石原孟，岡新一，藤野陽三：一様流中に置かれた正方形角柱の空気力特性の数値予測に関する研究，土木学会論文集（投稿中）. 3) 清水幹夫，石原孟，ファフックバン：3分力天秤実験に基づく着氷雪多導体および単導体送電線の空力特性に関する検討，構造工学論文集，Vol. 50A, pp.647-656. 2004.