

I-B373

着氷4導体送電線に作用する動的空気力の特性に関する一考察

東京大学大学院 学生員 ○井上 学¹ 東京大学大学院 正会員 木村 吉郎
 東京大学大学院 フェロー 藤野 陽三 関西電力 正会員 雪野 昭寛
 三井造船 正会員 井上 浩男 三井造船 正会員 森島弘吉

1 はじめに

大容量の送電に用いられている多導体送電線が着氷すると、その空力特性が変化することにより鉛直・ねじれの連成した慣例的にギャロッピングと呼ばれる大振幅空力振動が発生する。着氷送電線のギャロッピングは古典的な現象であり、また、ギャロッピングにより短絡事故の原因となるため、それに関する対風挙動の研究も数多く行われてきた。しかし、実際に送電線に作用する空気力の特性は明らかになっていないことから、応答振幅予測の精度の検討は十分には行われていない。そこで本研究では4導体送電線模型を大振幅強制加振させ、その際に作用する非定常空気力を測定することにより空気力特性を明らかにすることを試みた。特に、準定常理論では一般に考慮できない回転速度の影響についての検討を行った。

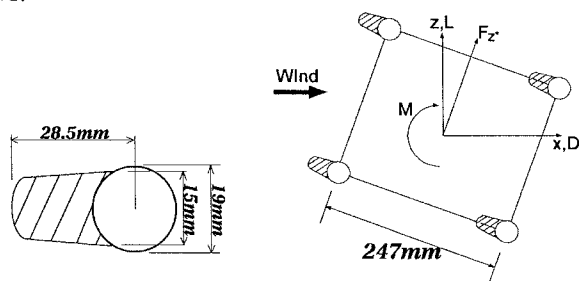


図 1: 断面形状

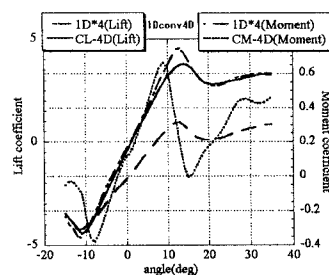


図 2: 空気力係数（揚力・モーメント）

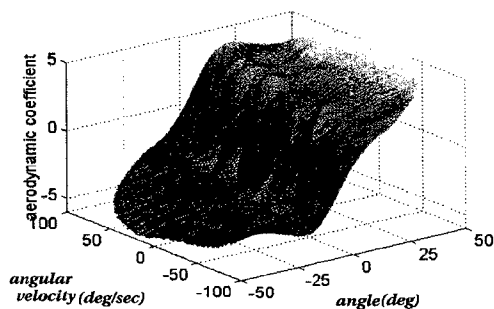


図 3: 回転加振時揚力係数 ($U=13\text{m/s}$)

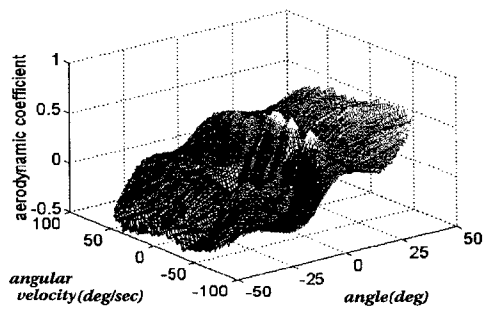


図 4: 回転加振時モーメント係数 ($U=13\text{m/s}$)

2 測定値と準定常空気力の比較および定式化に関する考察

実験は図1に示すような着氷形状を持つ、縮尺1/2（導体中心間隔0.247m）の4導体送電線模型を用いた。4導体送電線模型の定常揚力・モーメント係数を図2に示す。4導体全体としての定常空気力係数（4Dと表す）と共に1導体の定常空気力係数を4倍して得られるもの（1D*4と表す）を比較のため合わせて示してある。定常揚力係数については、1導体を4倍したものが4導体の定常空気力係数と良く一致している。一方モーメントについては、大きさのみならずピークとなる迎角が異なるなど特性は大きく違っている。これは、上流側導体の後流が下流側導体にあたることによって生じる空力干渉の影響が、揚力に対しては大きくないが、モーメントに対しては大きいことを示している。

¹〒113-8656 文京区本郷7-3-1 TEL:03-3812-2111 FAX:03-5689-7292

キーワード：着氷送電線、ギャロッピング、非定常空気力、準定常空気力

非定常空気力は、新たに開発された上下加振 $\pm 500\text{mm}$ ・回転加振 $\pm 55^\circ$ の大振幅加振が可能な装置により、測定した[1][2]。風洞は三井造船船島研究所の水平回流型風洞を使用した。上下加振時の揚力は準定常空気力と良く一致したが、モーメントについては、概略の傾向は一致するものの空気力の大きさは準定常空気力とは異なった。回転加振時においても揚力はほぼ一致したが、モーメントは準定常空気力とは大きく異なった[3]。このように揚力とモーメントで非定常空気力の特性が異なるのは、モーメントに対しては前述の空力干渉の影響が大きいため、無次元風速が $U/Bf \approx 150$ (B : 導体中心間隔, f : 振動数, U : 風速) と大きいにも関わらず若干は生じるであろうわずかな後流のゆらぎが影響しているのではないかと考えられる。

以下、準定常空気力では考慮されない回転速度の影響について、回転加振時の測定結果をもとに検討する。回転加振時の揚力・モーメントを無次元化し係数の形としたものの3Dプロット($\theta, \dot{\theta}, C_{L,M}$)を図3-4に示す(θ : 導体回転角度)。なおこの3Dプロットは、加振振動数0.35Hz、振幅 $\pm 5, 10, 20, 30^\circ$ と、加振振動数0.3Hz、振幅 $\pm 40, 55^\circ$ のデータを合わせて補間したものである。揚力(図3)は回転速度 $\dot{\theta}$ にはほとんど影響を受けず1つのなめらかな曲面となっている。一方モーメント(図4)は、揚力とは異なりやや複雑な曲面となっている。

次に、風速 $U = 13.0\text{m/s}$ 時における($\theta, \dot{\theta}$)面でのコンタープロットを図5に示す。揚力・モーメント共にコンターが時計回りに多少傾いている。揚力(図5)に関しては、この傾きの割合は上流側導体を通過した流れが下流側導体に達するまでの間に下流側導体が回転するために生じるずれ、すなわち $B\dot{\theta}/U$ とはほぼ一致している。一方、モーメント(図6)ではこのようにして計算されるずれよりも大きく傾いている。ただし、風速が低くなるとコンターの傾きが時計回り方向に大きくなるが、その程度はほぼ $B\dot{\theta}/U$ と一致する[3]。準定常空気力に対応すると考えられる回転速度 $\dot{\theta} = 0$ における $\theta - C_{L,M}$ 面における図3,4の断面図を図7,8に示す。揚力(図7)については測定された係数と定常揚力係数は良く一致している。これは、図2の空気力係数図で揚力は4導体の空気力係数と[1導体の空気力係数 $\times 4$]がほぼ一致していることに対応する。一方、モーメントについては(図8)、測定値と定常モーメント係数は大きく異なっている。ところで図8に示したモーメント係数の測定値の形状は、図2に示した[1導体の空気力係数 $\times 4$]の形状と似たものとなっている。これは、回転運動時には、空力モーメントに対しても上流側導体の後流が及ぼす空力干渉の影響が小さくなっている可能性を示唆するものと考えられる。

モーメントについても図4に示す測定値が一つの曲面で表せていることから、回転運動時に作用する空気力は、 θ と $\dot{\theta}$ の関数として定式化することにより準定常空気力よりも正確に表現できると考えられる。ただし、無次元振動数の影響が上述の空気力のずれ($B\dot{\theta}/U$)では表される分だけ存在する。シミュレーションにおいて用いる空気力の定式化では、こうした無次元振動数依存性は無視した方が扱いが簡単となるが、そうした場合の誤差の影響、さらには、回転速度を考慮することが応答予測にどの程度影響するのか、といった点について今後検討していく予定である。

参考文献

- [1] 森島 井上, 日本風工学会誌, 「大振幅非定常空気力測定装置の開発(第1報)」, p95-97, no.78, 1999.
- [2] 森島他, 日本風工学会誌, 「大振幅非定常空気力測定装置の開発(第2報)」, no.79, 1999.
- [3] Kimura, Inoue et al, Unsteady forces on an ice-accreted four-conductor bundle transmission line, Proc. 10 ICWE.

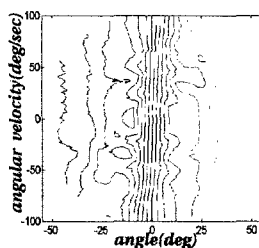


図5: 揚力のコンタープロット

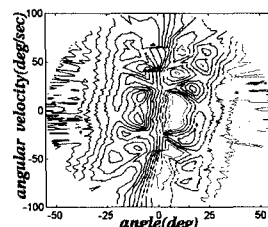


図6: モーメントのコンタープロット

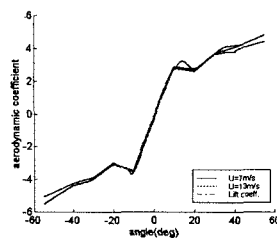


図7: $\theta - C_L$ 面 (揚力係数)

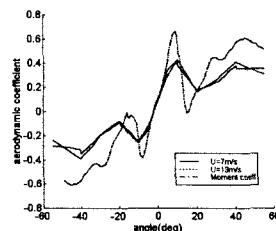


図8: $\theta - C_M$ 面 (モーメント係数)