

(I-35) 着氷4導体送電線に作用する動的空気力の特性

東京大学工学系研究科 学生員 井上 学¹ 東京大学工学系研究科 正員 木村 吉郎
 東京大学工学系研究科 フェロー 藤野 陽三 関西電力総合技術研究所 正員 雪野 昭寛
 三井造船 正員 井上 浩男

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、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の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、それに関する対風挙動の研究も多く行われてきたが、実際に作用している空気力特性は必ずしも明らかではなく、現象発生メカニズムの解明や応答振幅予測も十分な精度で行われているかどうかは疑問である。そこで、本研究では2次元剛体部分模型を大振幅で強制的に調和振動させて、その際に作用する非定常空気力を測定し、その結果を準定常の仮定に基づく空気力と比較することにより空気力の特性を明らかにすることを試みた。

2 実験方法

模型は図1に示すような縮尺1/2のもので、導体中心間隔は0.247mである。三分力係数を図3に示す。非定常空気力測定試験は、三井造船株式会社昭島研究所の水平回流型風洞を使用して測定した。加振振幅は、上下最大振幅±500mm、回転最大振幅±55°が可能な実験装置を開発して用いている。非定常空気力は、空気力特性が大きく変化し、ギャロッピングが発生する迎角8.0°について測定した。また、上下加振は振幅が±350mm、振動数が0.3Hz、回転加振は±40°、0.4Hzで測定した。回転加振時の回転中心は4本の導体の中心の重心位置と一致させている。

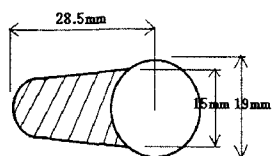


図1 着氷形状
(4本の導体はすべて同じ形状)

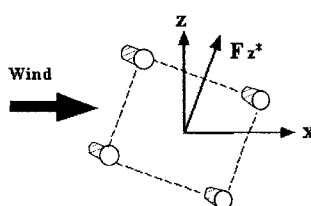


図2 軸の定義

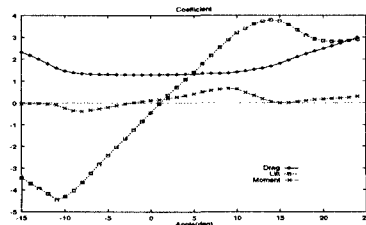


図3 三分力係数 (風軸基準)

3 実験結果と解析結果の比較

風軸基準の三分力係数を用いて、準定常空気力は以下のように表される。

$$L = \frac{1}{2} \rho A_n V_r^2 C_L(\alpha) \quad D = \frac{1}{2} \rho A_n V_r^2 C_D(\alpha) \quad M = \frac{1}{2} \rho A_n B V_r^2 C_M(\alpha) \quad (1)$$

ここで、 ρ :空気密度、 A_n :投影面積(上流側上下導体2本分の投影面積)、 B :代表長(導体中心間隔)、 V_r :相対風速($V_r = \sqrt{(V - \dot{x})^2 + \dot{z}^2}$)、 α :相対迎角($\alpha = \tan^{-1} \frac{\dot{z}}{V - \dot{x}}$)

非定常空気力は模型軸基準で測定されているため、揚力については図2に示す模型軸基準の F_z を用いて比較することになると、 F_z の準定常空気力は式(1)を用いて次のように表される。

$$F_z = L \cos \alpha + D \sin \alpha \quad (2)$$

上下加振時の揚力については、ごく低い風速(<3m/s)において若干の位相のずれが見られたが、それ以上の風速では準定常空気力は非定常空気力を再現できている(図4)。非定常空気力から式(1)と式(2)を用いて逆算して空気力係数の形として求めたものと三分力係数を比較すると、上から下へ(迎角の8°→12°→8°への変化に対応)、または下から上へ(8°→4°→8°に対応)の強制加振の過程で、実際に作用している空気力に基づく空気力係数は扁平なほぼ8の字型のループを描いているが、揚力係数とはほぼ一致している。上下加振時の空力モーメントについては、空気力の大きさを再現できていないが(図6)、これは揚力と同様に逆算して求めたモーメント係数(図7)の勾配が三分力係数と異なっていることに対応する。

¹連絡先 〒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・非定常空気力・準定常空気力・ギャロッピング

次に、回転加振時の揚力は、上下加振時と同様にほとんど位相のずれも見られず、良く再現できているように見える(図8)。しかし、測定された非定常空気力をもとに計算した空気力係数を見ると(図9)、8の字を複雑にしたループをはっきりと描いており、また、揚力係数とのずれも大きい。これは、回転加振時に作用する空気力が回転変位に対して遅れることによって生じていると考えられる。一方、回転加振時のモーメント(図10)を見てみると、時刻歴の形状は似ているが、位相のずれが生じている。揚力と同様に空気力係数を逆算して比較してみると(図11)、空力モーメント係数をほぼ中心とした大きなループを描いており、空力モーメント係数とのずれが大きい。

4 考察

上下正弦波加振時においては、4 導体送電線に作用する非定常揚力は準定常空気力で良く表されているが、非定常モーメントは、準定常空気力では大きさを再現できていない。この差の理由は明らかではないが、別途行った定常空気力の測定において、揚力に関しては1 導体に作用する空気力を4 倍したものが4 導体の揚力とほぼ一致したのに対し、モーメントでは上流側導体の後流の影響が大きいため1 導体に作用する空気力からの換算では4 導体のモーメントを全く表現できていないことから推察して、上流側の導体の動きにより生じる後流のふれによる影響がモーメントにおいてより大きく表れている可能性があると思われる。一方、回転加振時においては、揚力・モーメント共に空気力の変位に対する遅れが見られるが、特にモーメントにおいて顕著である。回転加振時では回転振幅が大きいため、後流のふれの影響がより大きくなっている可能性がある。また回転運動については、準定常空気力の定式化において物理的には考慮されていないという基本的な問題があるため、今後回転速度比例項についても着目した定式化を試みていく予定である。

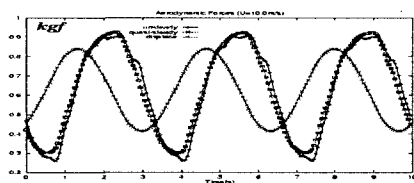


図4 上下加振時 揚力 F_z (風速 10m/s・模型軸基準)

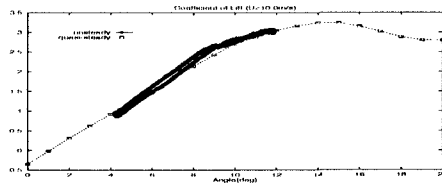


図5 上下加振時 揚力係数 (風速 10m/s・模型軸基準)

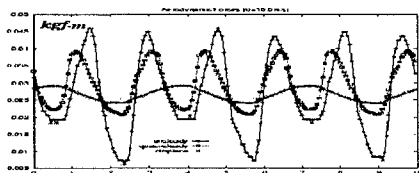


図6 上下加振時 モーメント (風速 10m/s)

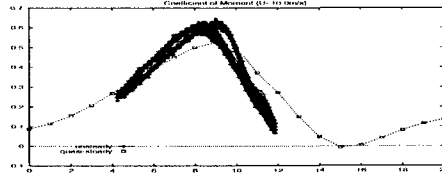


図7 上下加振時 モーメント係数 (風速 10m/s)

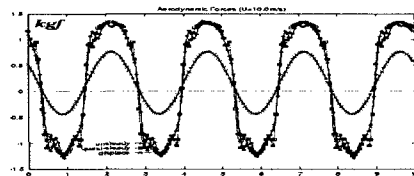


図8 回転加振時 揚力 F_z (風速 10m/s・模型軸基準)

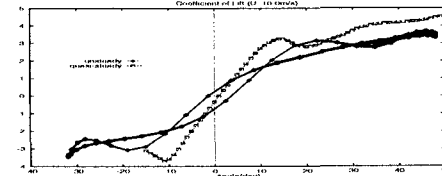


図9 回転加振時 揚力係数 (風速 10m/s・模型軸基準)

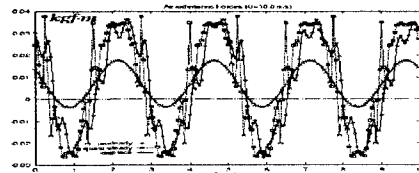


図10 回転加振時 モーメント (風速 10m/s)

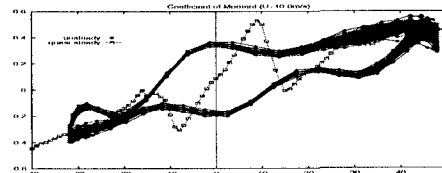


図11 回転加振 モーメント係数 (風速 10m/s)