

3 自由度系にモデル化した着氷 4 導体送電線の対風応答解析

九州工業大学大学院 学生会員 ○土居 竜二 学生会員 中村 真
 トヨタテクニカルディベロップメント(株) 非会員 梶山 忠浩
 九州工業大学 正会員 木村 吉郎 フェロー 久保 喜延

1. 目的

着氷送電線に強風が作用すると、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。送電線のギャロッピングは古典的な現象だが、その発現条件や発現振幅を正確に予測することは、未だに困難である。

本研究では、大容量送電線の中でも代表的な 4 導体送電線を対象とし、変動風速を用いた解析や、空気力係数を変化させた解析を行うことにより、ギャロッピング現象のメカニズムの解明の一助とすることを目的としている。

2. 応答解析の方法

2.1 解析モデル

解析のモデルは、着氷 4 導体送電線をスパン方向の単位長さで切り出した剛体とし、水平、鉛直、ねじれの 3 自由度系とした。座標の定義を図-1 に示す。ただし、 θ はねじれ角、 U_r と α_r は並進運動により生じる相対風速と相対迎角である。

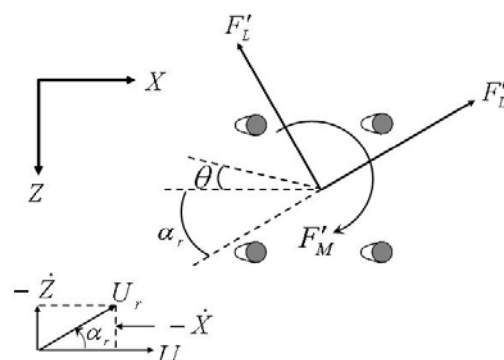


図-1 座標の定義

2.2 空気力

物体にその瞬間に作用する相対風速と、定常空気力係数によって、作用している空気力を表せると仮定する準定常空気力を用いることとすると、抗力、揚力、空力モーメントは以下のように表せる。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho A U_r^2 C_D (\theta + \alpha_r) \quad (1)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho A U_r^2 C_L (\theta + \alpha_r) \quad (2)$$

$$F_M = \frac{1}{2} \rho A B U_r^2 C_M (\theta + \alpha_r) \quad (3)$$

但し、 ρ : 空気密度、 A : 投影面積、 B : 代表長さ、 U_r : 相対風速、 C_D : 抗力係数、 C_L : 揚力係数、 C_M : 空力モーメント係数とする。 C_D 、 C_L 、 C_M は既往の実験¹⁾で求められたものを用いた。

2.3 モデルの緒元と解析ケース

解析に用いるモデルは、固有振動数を、水平方向 : 0.466Hz、鉛直方向 : 0.466Hz、捻れ : 0.355Hz、減衰定数は水平、鉛直、ねじれいずれも 3.0% とした。モデルの諸元を表-1 に示す。解析は数値解析ソフトウェア MATLAB (The Math Works, Inc 製) を用い、0.001 秒刻みで 180 秒間にわたって行った。

まず基本ケースとして、一様流の

平均風速 U を 1~30m/s の間で 1 m/s ステップで変化させたケースについて解析した。次に、変動風速を単純化したケースとして、式(4)のようなは次式のように、乱れ強さが 20% で調和的に変動する変動風速 U' を作用

キーワード ギャロッピング, 着氷送電線

表-1 モデル諸元

質量 (kg)	12.8
モデルの長さ (mm)	1000
導体外径 (mm)	38.4
投影面積 (mm ²)	76800
導体間隔 (mm)	500
極慣性モーメント (kgm ²)	1.6

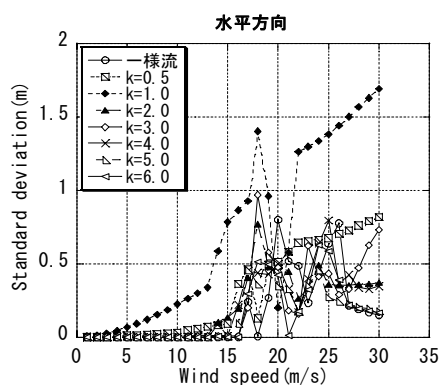


図-2(a) 水平変位標準偏差

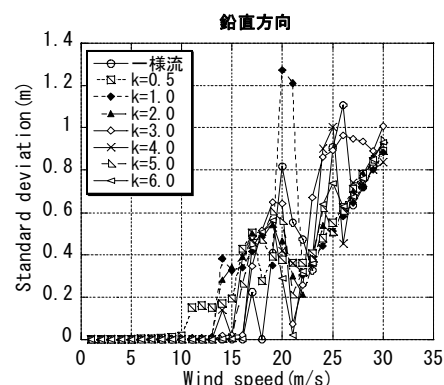


図-2(b) 鉛直変位標準偏差

させたケースの解析を行った。

$$U' = U + U \times 0.2\sqrt{2} \sin(2\pi k f_H t) \quad (7)$$

但し、 f_H は水平方向の固有振動数、 k は変動風速の周波数を示すパラメータで変動風速の周波数の、固有振動数に対する比を表す。

最後に、着氷形状が変化した場合を想定し、空気力係数が変化した場合にどのように変化するかを検討した。非常に単純化して、抗力係数、揚力係数、空力モーメント係数のそれぞれを2倍にした値を用いた場合の応答を、一様流下で解析した。

3. 解析結果と考察

3.1 変動風速を作用させた場合

平均風速と各変位の標準偏差の関係を図-2(a)～(c)に示す。 $k=1.0$ の変動風速時の水平変位は、 $U=20\text{m/s}$ 、 21m/s 以外では際立って大きな標準偏差となっている。これは変動風速の周波数と水平方向の固有振動数が一致しているため生じた共振によるものと考えられる。また、図-3のように、ねじれが0を中立位置として定常振幅で振動し始めた風速(図-2では $k=0.5$ では 19m/s 、 $k=1.0$ では 22m/s 、 $k=2.0$ では 25m/s 、 $k=3.0$ では 26m/s など)以上の風速では、応答の標準偏差はなだらかに増加または減少する傾向を示している。

3.2 空気力係数を変化させた場合の解析結果

平均風速と各変位の標準偏差の関係を図-4(a)～(c)に示す。一般に、抗力係数を2倍にした場合水平応答、揚力係数を2倍にした場合鉛直応答が大きくなった。しかし、風速によっては、応答が小さくなっている場合がある。空力モーメント係数を2倍にした場合、振幅が大きくなる風速が低くなっているが、高風速域での振幅はあまり変わらない。また、空力モーメント係数を2倍にした場合は、水平変位、鉛直変位、ねじれ、いずれの場合でも振動が発現する風速が低くなった。

4. まとめ

3自由度系にモデル化した着氷4導体送電線について対風応答解析を行い、わずかな風速の違いで応答時刻歴の様子が大きく変化するケースがあることなどがわかった。そうした特性の原因は、仕事量の算出等により検討したものの、現在のところ解明できていない。

参考文献

- ・清水幹夫, 石原孟; 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定常空気力特性に関する検討, 構造工学論文集, Vol. 50A 2004

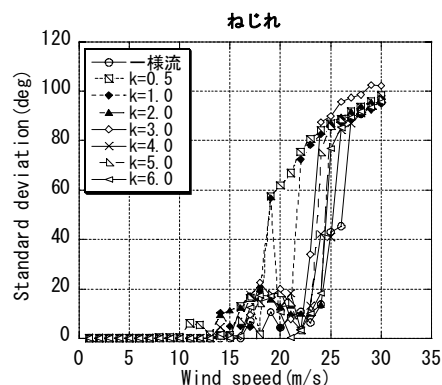


図-2(c) ねじれ標準偏差

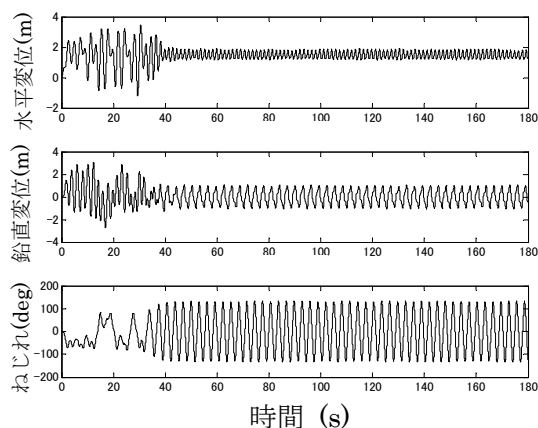


図-3 応答の時刻歴 (一様流, $U=27\text{m/s}$)

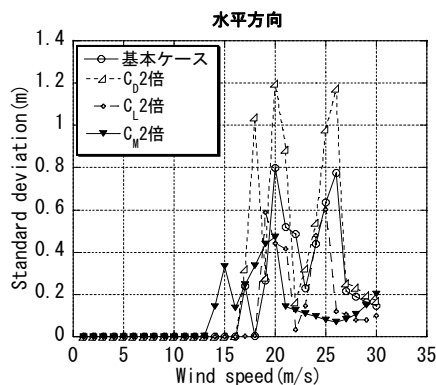


図-4(a) 水平変位標準偏差

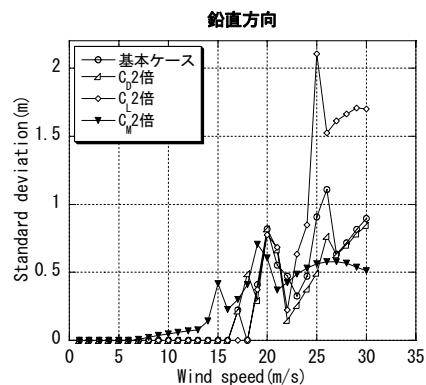


図-4(b) 鉛直変位標準偏差

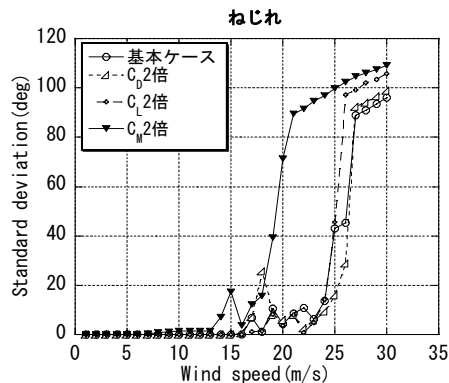


図-4(c) ねじれ標準偏差