

着氷雪送電線の空力特性とギャロッピング振動に関する検討

電力中央研究所 正会員 清水幹夫^{*1}
 東京大学大学院 正会員 石原 孟^{*2}
 東京大学大学院 学生会員 ファブ・フック^{*2}

1. はじめに

これまでに筆者らは、着氷雪形状が互いに相似な4導体および単導体送電線の部分模型を用いた風洞実験結果に基づき、単導体から4導体への空気力係数の換算を試みている[1]。ただし、換算によるギャロッピング振動への影響は未だ明らかにされていない。このため本検討では、標準的な4導体送電線に対して、上記風洞実験で得られた空気力係数の真値および換算値を考慮した数値シミュレーションを実施し、ギャロッピング時における応答変位を比較した。

2. 空気力係数

検討には、4導体および単導体の部分模型に10m/sの一定風速を作用させた三分力天秤実験結果を用いた。図1に部分模型の着氷雪形状を示す。以下では、4導体、単導体の各部分模型を4-1.00D、1-1.00Dと称し、抗力、揚力および空力モーメント係数をそれぞれ C_D^n 、 C_L^n および C_M^n と表す。ここに、添字nは対象とした部分模型の導体数を示す(n=1または4)。また、単導体から4導体への空気力係数の換算には次式を用いた。

$$C_D^{1-4} = 2C_D^1, C_L^{1-4} = 2C_L^1 \dots\dots\dots (1)$$

$$C_M^{1-4} = 2C_M^1 \cdot B_1/B_4 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 B_1 、 B_4 ：それぞれ1-1.00D、4-1.00Dの代表長さであり、添字1-4は換算値であることを示す。上式では、測定時に、4-1.00Dの受風面積を1-1.00Dのその2倍とし、 B_1 、 B_4 をそれぞれ導体の外径、導体の中心間隔としたことを考慮した。図2に、これら換算値と真値すなわち C_D^4 、 C_L^4 および C_M^4 とを比較して示す。図の結果では、電線の風上側に着氷雪がある場合、迎え角10～20度の範囲で揚力係数の勾配が負となっており、ギャロッピング発生の可能性が考えられる[2]。また、この範囲の真値と換算値は、抗力および揚力係数については概ね一致するが、空力モーメント係数については増減の傾向が大きく異なることがわかる。

3. シミュレーションの条件

シミュレーションには、電力中央研究所が開発した3次元有限要素解析コードCAFSS[3]を用い、最上試験線[4]に架線された4導体送電線1径間を解析対象とした。ここでは、図2の空気力係数が部分模型の回転軸すなわち三分力天秤による支持点回りで測定されたことを考慮し、4導体はこれと等価な物性値、受風面積

および固有振動特性を有する単導体として、図3のとおりにモデル化した。モデルの諸元を表1に示す。

風速は、10m/sの水平かつ径間直交方向の一樣流とし、迎え角の初期値を10、15、20度に変化させて図2の真値および換算値を適用した。また、計算は0.05秒刻みで3600ステップ行い、構造系の減衰は0.1Hz、0.3Hzでそれぞれ0.5%、1.5%となるRayleigh減衰とした。

4. シミュレーションの結果

シミュレーションの結果得られた、径間1/4と1/2の位置における鉛直および電線軸回りのねじり方向の動揺範囲、すなわち変位およびねじり角の最大値と最小値との差を表2に示す。表より、真値と換算値を用いた場合の間で動揺範囲に差がみられる。また、動揺範囲が最大となる迎え角の初期値は、真値、換算値を用いた場合、それぞれ20度、15度であり、異なる値となっている。このときの変位の軌跡と、ねじり角の時刻歴は、それぞれ図4、5となる。これらの図より、鉛直変位、ねじり角とも、換算値を用いた結果が、真値を用いた結果を上回ることがわかる。

5. まとめ

本検討の計算条件下では、換算された空気力係数を用いたギャロッピング振動は、真値を用いたそれと比較して、傾向が異なる結果となった。今後、より多様な条件下でシミュレーションを実施し、こうした傾向の違いの原因および換算の可能性を明らかにする必要があると考えられる。

参考文献

- [1]清水幹夫、石原孟、ファブ・フックバン：三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, pp. 647-656, 2004.
- [2]Den Hartog, J. P. : Mechanical Vibrations, McGraw-Hill, 1956.
- [3]清水幹夫、佐藤順一：4導体送電線のギャロッピング観測およびシミュレーション、構造工学論文集、Vol. 47A, pp. 479-488, 2001.
- [4]武田浩三：最上試験線の紹介、日本風工学会誌、第65号、pp. 51-58, 1995.

キーワード：ギャロッピング、風洞実験、送電線、4導体、着氷雪、空気力係数

*1 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 TEL 070-6568-9673 FAX 04-7183-2962

*2 〒113-8656 東京都文京区弥生2-11-16 TEL 03-5841-1145 FAX 03-5841-1147

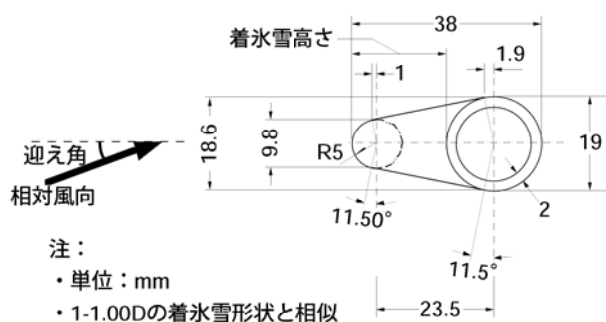


図1 着氷雪形状：4-1.00Dの導体部断面図

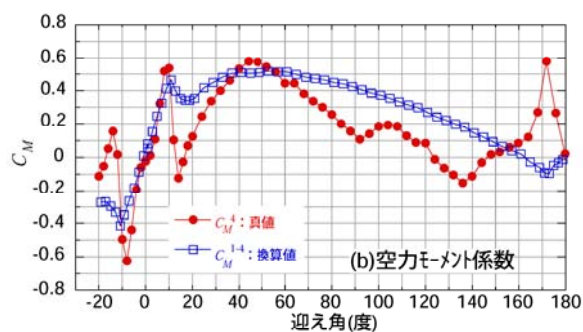
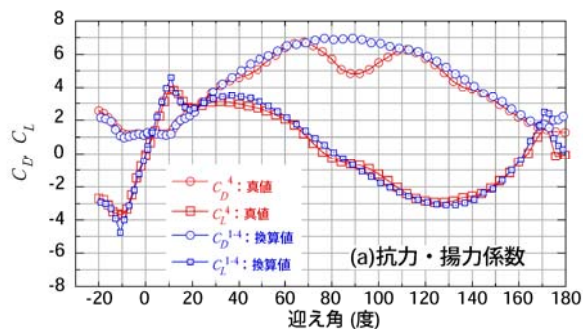


図2 風洞実験結果

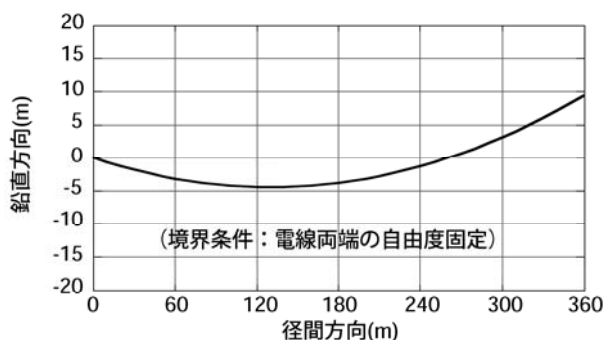


図3 解析モデル（最上試験線）

表1 解析モデルの諸元

線種	ACSR410
径間長	360m
サグ	8.55m
支持点高低差	9.5 m
断面積	$1.923 \times 10^{-3} \text{m}^2$
ヤング率	$8.192 \times 10^{10} \text{N/m}^2$
ねじり剛性	$3.850 \times 10^3 \text{Nm}^2$
密度	$3.480 \times 10^3 \text{kg/m}^3$
要素分割数	36

表2 鉛直およびねじり方向の動揺範囲

迎え角の初期値	方向	真値を用いた結果		換算値を用いた結果	
		径間1/4	径間1/2	径間1/4	径間1/2
10度	鉛直(m)	0.04	0.09	1.49	2.98
	ねじり(度)	0.78	1.27	28.09	41.43
15度	鉛直(m)	0.63	1.26	1.44	3.04
	ねじり(度)	12.11	17.83	28.40	42.15
20度	鉛直(m)	0.83	1.79	1.12	2.68
	ねじり(度)	24.82	35.37	25.36	36.00

注) 動揺範囲は鉛直変位あるいはねじり角の最大値と最小値との差を意味し、過渡応答が含まれる初期の50秒間を省いて評価した。

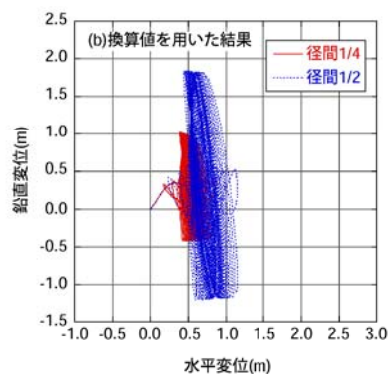
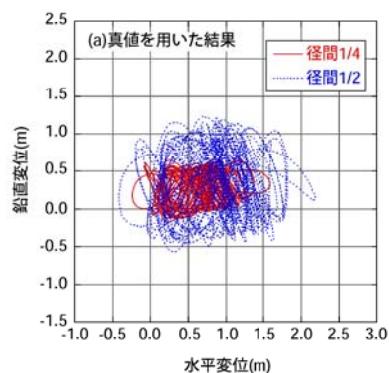


図4 変位軌跡

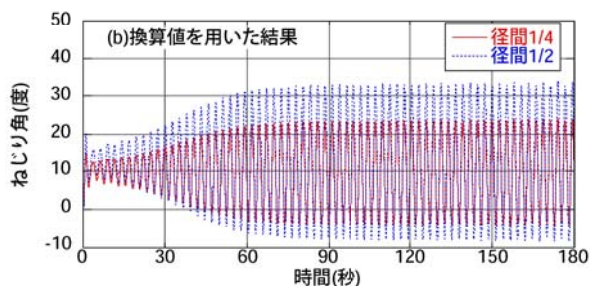
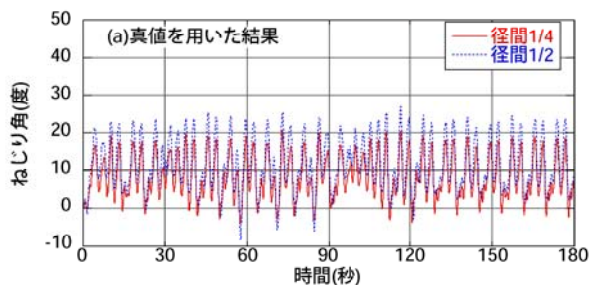


図5 ねじり角の時刻歴