

I-A 187 着氷4導体送電線の対風挙動の実験と予測

東京大学大学院 学生員 田中伸英 関西電力総合技術研究所 雪野昭寛
 東京大学工学系研究科 正 員 木村吉郎 関西電力総合技術研究所 足立幹雄
 東京大学工学系研究科 フェロー 藤野陽三

1. はじめに 長距離・大容量の送電に1相に2本以上の素導体を用いた多導体送電線が使用されている。着氷雪した多導体送電線は風により「ギャロッピング」と呼ばれる自励振動を起し問題となっている。しかし既往の研究は現地観測に基づくものが多く¹⁾、風の特性や着氷雪の形状などの条件が複雑なため現象は必ずしも明らかになっていない。そこで本研究では、着氷4導体送電線の2次元部分模型を対象とし、風洞実験と時刻歴応答解析により対風挙動の特性および解析手法を検討した。

2. 実験方法と結果 模型は縮尺1/2の2次元部分模型を用いた（図

表1 模型の振動特性

		モデル1	モデル2
固有振動数 (Hz)	鉛直	1.63	1.57
	捻れ	1.27	1.24
鉛直、捻れの振動数比		1.28	1.27
構造減衰 (減衰定数)	鉛直	0.19%	0.12%
	捻れ	0.36%	0.27%
質量(kg)		4.00	3.95
慣性モーメント(kgm ²)		0.104	0.0926

1)。着氷形状は一般的な形状を単純化したもの（モデル1）とそれを小さくしたもの（モデル2）の2種類とした（図2）。鉛直・ねじれの2自由度の弾性模型とし、その振動特性を表1に示す。エッフェル型風洞（幅1.08m×高さ1.8m）を使用し、風は一様流とした。

実測によって観測されているような鉛直とねじれの連成した空力振動が実験においても生じた。応答時刻歴の1例を図3に示す（鉛直は上向きを正、ねじれは頭上げを正）。着氷形状の違いによる比較では、モデル2のほうがモデル1よりも空力振動発現風速が高く、風速に伴う振幅の増加はモデル2のほうが急激であった（図4、図5）。

3. 解析方法と結果 風洞実験に対応した、鉛直・ねじれ2自由度の解析を行った。三分力係数の測定値に基づく準静的空気力を用いた定式化を行った。すなわち空気力は模型の鉛直速度とねじれ変位の関数となり、相対迎角に対する非線形性が考慮されている。運動方程式の時間積分にはルンゲ・クッタ法を用い、時間刻みは1/100秒で行った。無風時つりあい位置を初期状態として、応答が定常となる60秒以降から30秒間のデータを用いてRMS応答を求めた。

解析でも実験と同じように鉛直とねじれの連成した振動が再現された。空力振動発現風速に近い風速での応答は振幅がほぼ一定な振動で実験結果と同じように鉛直に対してねじれの位相が若干進んでいるが、風速を上げていくと図6のようにうなりを伴い位相差も変化する応答となる。さらに風速を上げると振動が生じなくなるが、実験はこのような高風速では行っていないので対応は明らかでない。

応答の解析値は図4、図5に実験値と比較してある。空力振動発現風速および、風速に伴う振幅の増大傾向は、実験とはほぼ一致している。しかし振幅の大きさは必ずしも一致していない。平均変位は、実験、解析ともに空力振動発現風速付近で絶対値が急激に大きくなっている（図7、図8）。ねじれの平均変位の大きさは実験と解析で若干異なっている。

次に、用いたパラメータの測定誤差やねじれの平均変位の誤差がどの程度解析結果に影響するかを見るために、空力係数、減衰定数、迎角といったパラメータを変えて応答を解析した。図9に一例として迎角を変えたときの応答振幅のグラフを示す。このような解析結果から応答に大きな影響を与えるパラメータは空力モーメント係数、迎角であることが分かった。その他のパラメータが応答に与える影響は比較的小さかった。

さらに、実際の送電線では生じる水平方向変位の影響を見るために、水平変位の自由度を加えた3自由度での応答解析を行った。水平方向の振動数、減衰定数は鉛直方向と同じ値を用いた。その結果鉛直とねじれが支配的な振動が生じ、空力振動発現風速、鉛直・ねじれの振幅ともに2自由度の解析結果と大きな違いはなかったため、今回のケースでは水平方向変位の影響は小さいと考えられる。

4. まとめ 2自由度部分模型を用いた風洞実験において、現地で観測されるような鉛直とねじれの連成した振

動が再現された。また準静的空気力を用いた応答解析でも現象がほぼ再現できた。これは空力振動発現風速が、代表長に導体中心間距離、振動数にねじれ振動数をとったときの換算風速にすると37(モデル1)、55(モデル2)と大きいと考えられる。一方着氷送電線の空力振動には非定常空気力が寄与することがあるという報告もあり²⁾、非定常空気力の影響については今後検討していきたい。

<参考文献>1)例えば、Yukino他:Proc. Int. Symp. on Cable Dyn.,Liege,pp.557-564,1995. 2)Nakamura:J. Sound and Vib.,Vol.73(3),pp.363-377,1980.

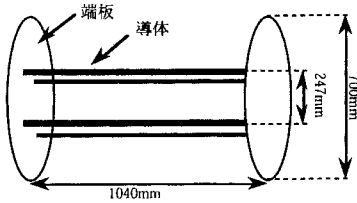
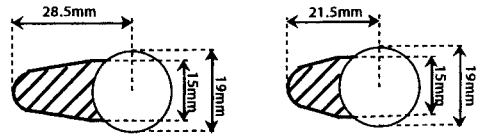


図1 模型緒元



モデル1
モデル2
図2 導体断面図（斜線部分は着氷部）

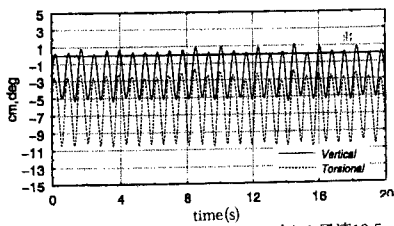


図3 空力振動発生時の応答（モデル1 風速13.5m/s）

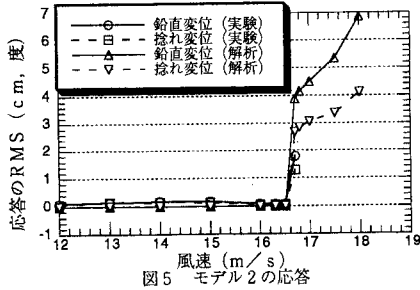


図5 モデル2の応答

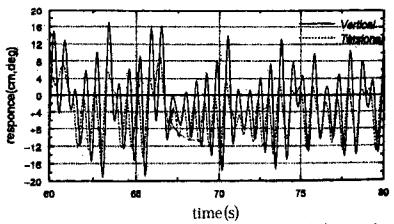


図6 解析による応答（モデル1 風速16m/s）

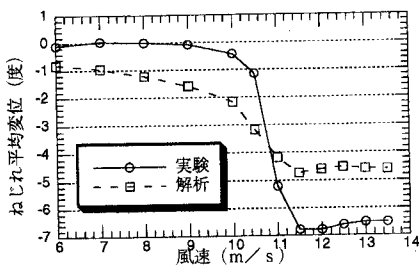


図8 実験と解析のねじれ平均変位の比較（モデル1）

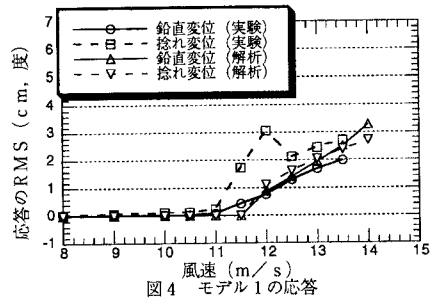


図4 モデル1の応答

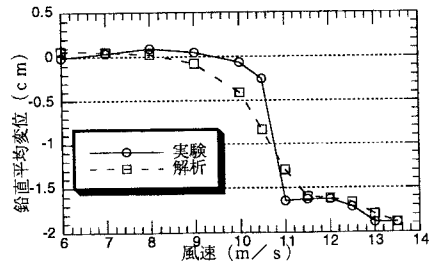


図7 実験と解析の鉛直平均変位の比較（モデル1）

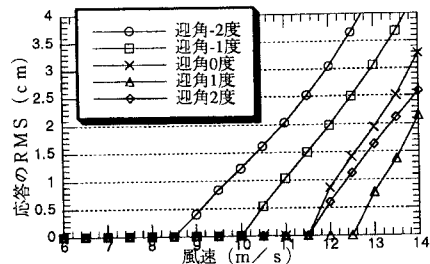


図9 迎角を変えたときの鉛直応答振幅（モデル1）