

有限要素法を用いた送電線の時刻歴風応答解析

(財)電力中央研究所

○正員 清水幹夫,

正員 石川智巳

同 上

正員 大友敬三,

正員 赤木康之

同 上

正員 榎本充美,

前野陽治

(株)アーク情報システム

佐藤順一

1 はじめに 近年、強風時における送電線の異常振動によると考えられる事故が各地で発生しており、その原因及び対策の検討が重要な課題となっている。このため本文では、送電線の動的挙動を精度良く解析し得る手法の確立を目的とし、電気事業の共同研究設備として徳島県に建設された四国試験線の送電線を対象に、有限要素法を用い、幾何学的非線形性を考慮した¹⁾時刻歴風応答解析を試みた。入力作成及び解析結果の検証には、当試験線において観測された台風9426号の記録を用いた。

2 実規模試験線と解析モデル 四国試験線の概略図を図1に示す。

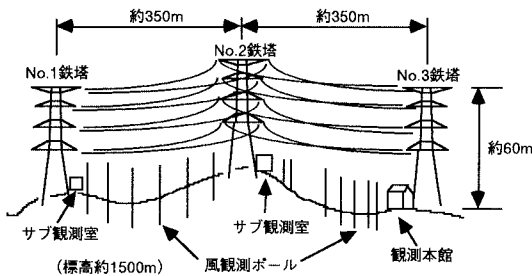


図1 四国試験線概略図

この試験線は高さ約60mの3基の鉄塔を含む2区間の実規模送電線路であり、合計270chに及ぶ風向風速計、加速度計、そして張力計などの各種センサーが取り付けられ、無人自動観測が可能となっている。本検討において解析の対象としたのは、No.2とNo.3鉄塔間の最下相の、図1紙面手前側に存在する1回線の電線である。この電線には図2に示すように、径間の1/4, 1/2, 及び3/4の位置に3成分の加速度計及び回転計が、そして電線支持点には張力計が配置されている。また、電線下には先端にペーン型風向風速計の取り付けられた5本の風観測ポールが建設されている。

当電線は1相当り4本の電線を有する4導体(図2参照)であるが、解析ではこれを1本の線にまとめ、トラス要素を用いて23節点22要素に分割

した有限要素モデルとして扱った。解析モデルの概略図を図3に、また物性を表1に示した。

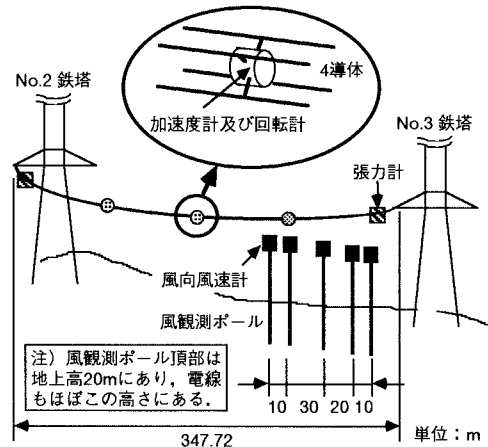


図2 送電線及び観測センサー

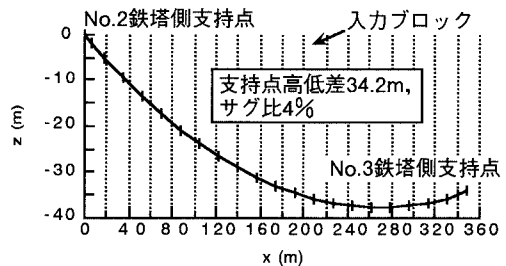


図3 解析モデル(図の座標系は右手系)

表1 材料物性

弾性係数	断面積	密度
8359kgf/mm ²	1442.4mm ²	3.48tf/m ³ (26.9tf/m ³)*

*) 両端の要素に対してのみ碍子重量を考慮。

図3では電線のNo.2鉄塔側支持点を原点とし、線路方向をx方向、鉛直面内方向をz方向と定義した。

3 入力及び解析条件 入力に用いる変動風速は、岩谷の方法²⁾を用いて発生させた。このとき、変動風速のパワースペクトル $S(n)$ は日野のスペクトルに

基づく次式を採用した。

$$\frac{S(n)}{\sigma^2} = \frac{156.55}{U \{1 + (87.95n)^2\}^{5/6}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 n ：周波数、 U ：平均風速、そして σ ：乱れの絶対強さである。 U, σ には、観測ポールで得られた台風9426号の観測結果に基づき、高さ20mにおいてそれぞれ7.478m/s、4.85m/sの値（評価時間10分間）を用いることとした。また、風向横方向に η (m)隔たった地上 z (m)の2点における風速変動間のルートコヒーレンス $\sqrt{\text{Coh}(\eta; n)}$ は次式、

$$\sqrt{\text{Coh}(\eta; n)} = \exp(-k_\eta n \eta / U) \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えることとし、パラメータ k_η は観測結果から次式で与えるものとした。

$$k_\eta = 5.62 (\eta/z)^{-0.55} \quad \dots\dots\dots (3)$$

なお、フェイズは一定値0とした。解析では、図3に示すように20m間隔で18個の入力ブロックを設け、各ブロックに対し1個づつの変動風速波形を発生させ、これらをそれぞれ各ブロックに含まれる電線の節点に線路直交方向(y方向)から作用させた。

以上のような変動風速 $v_a(t)$ を電線の単位長さ当たりに作用する変動風荷重 $P(t)$ に変換する際には、次式を用いた。

$$P(t) = \frac{1}{2} \rho_a \cdot C_d \cdot (v_a(t) - v_c(t))^2 \cdot a \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 t ：時間、 ρ_a ：空気密度(=0.12kgf・s²/m⁴)、 C_d ：空気抵抗係数、 $v_c(t)$ ：電線の数、そして a ：電線の直径である。空気抵抗係数の値は2.0と仮定した。

解析は0.02秒刻みで15000ステップ行い、積分にはNewmarkの β 法を用いた。また、減衰は事前に電線に対して行った人工加振試験結果に基づき、0.3hzのモーダル減衰定数が0.8%となるRayleigh減衰を仮定した。なお、境界条件として電線の両端を完全固定とした。

4 解析結果 No.3鉄塔に最も近い加速度計の位置における、入力した変動風速時刻歴及び応答加速度のy方向成分の解析結果をそれぞれ図4、図5に、そしてNo.3鉄塔側支持点の張力変動の解析結果を図6に示した。図5、6それぞれから求めた最大振幅と分散を、観測結果と比較して表2に示した。

表2より、加速度に関しては解析結果と実験結果は概ね一致しているということが出来るが、張力変動は、解析値が観測値のほぼ1/2となっている。こ

の原因については、入力した変動風速の発生の際に与えたパラメータの推定方法に問題があったこと、及び観測値は碍子の取り付け金具に配置した張力計によって得られたものであり、厳密に電線の張力が得られなかったことが考えられるが、これに関する詳細な検討は今後の課題としたい。

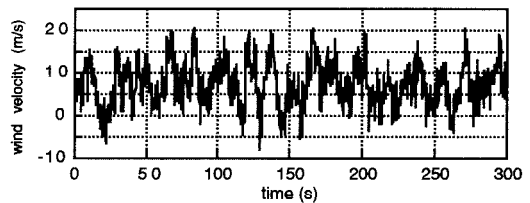


図4 入力変動風速時刻歴

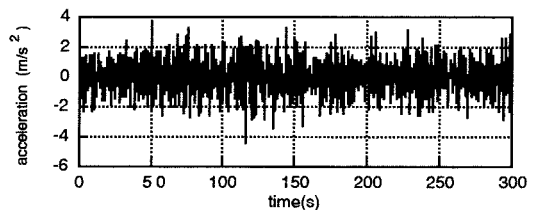


図5 加速度解析結果

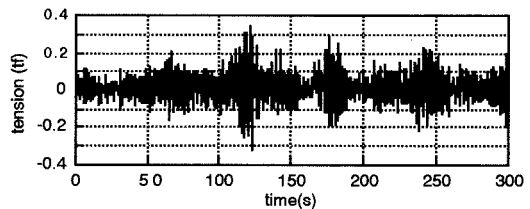


図6 張力変動解析結果

表2 解析結果と観測結果との比較

		最大変動量	標準偏差	評価時間
解析	加速度 (m/s ²)	4.46	1.00	300 (秒)
	張力 (tf)	0.32	0.07	
観測	加速度 (m/s ²)	5.06	0.75	
	張力 (tf)	0.69	0.16	

謝辞 本検討を行うに当たりご指導、ご助言を賜りました局地風対策研究推進委員会（大熊武司委員長）の諸先生方をはじめ、ご協力いただきました全電力会社の委員の方々に心より感謝申し上げます。

参考文献 1) 清水幹夫・石川智巳・泉邦和・高橋毅・佐藤順一・横山一雄：幾何学的非線形性を考慮した送電線のスリットジャンプの解析，構造工学論文集，Vol.41B，1995年3月，pp.305-313； 2) 岩谷祥美：任意のパワースペクトルとクロススペクトルを持つ多次元の風速変動のシミュレーション，日本風工学会研究会誌，No.11，1982，pp.5-17