東北大学	正会員	○山川優樹
東北大学	正会員	池田清宏
東北大学	学生会員	小橋宏昭
(財)電力中央研究所	正会員	清水幹夫

1. 序論

近年,送電システムには高い信頼性が求められている. 送電鉄塔やその基礎に対しては,風速変動と架渉線の張 力変動により複雑な荷重が作用することが知られている が,そうした外力の作用形態や構造系における荷重の伝 達機構が詳しく論じられることはなかった.また現行設 計では,鉄塔や地盤といった構成要素毎に安定性検討が 為されており,それらの相互作用は十分に考慮されてい ない.本研究では架渉線-鉄塔連成系の三次元有限要素 解析を行い,架渉線の動的振動挙動が鉄塔および基礎へ と及ぼす影響の評価と構造系全体での安定性照査の重要 性について検討を行った.

2. 風荷重による鉄塔単体の倒壊解析

荷重モードと鉄塔の力学的応答挙動の関連性を確認する ため,漸増荷重に対する鉄塔倒壊挙動の静的解析を行う.

(1) 解析モデル・解析条件



鉄塔モデルは,一般の高圧送電鉄塔をはり要素にて有限 要素モデル化したものである.図-1に異なる部材断面毎 に色を変えて表示する.このはり要素の構成則は,等方硬 化 von Mises モデル(弾塑性)を使用する.以上に示すモデ ルに対して鉄塔自身の自重を作用させた後,風上に位置す る部材を図-2に示すように設定し,空気力 $q = \frac{1}{2}\rho cAU^2$ を節点力として与える解析を行う.ここに, ρ :空気密度 (= 1.3kg/m³),c:形状係数,A:受風面積,U:風速で あり,形状係数c = 1としている.以上の条件に於いて 図-3に定義する風向0°~90°の範囲を15°刻みに,計 7パターンの風向に関して解析を行った.

Keywords: 送電鉄塔, 架渉線, 基礎, 風荷重 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06, Phone: 022-795-7420; Fax: 022-795-7418

(2) 解析結果

鉄塔破壊時の変形状況と部材座屈発生箇所を図-4 に, 各風向の風速と鉄塔頂部中心点の変位をプロットしたものを図-5 に,各風向の破壊風速の比較を図-6 に示す.ここに,破壊時とは荷重極大点を指すものとする.

図-4より,今回用いた鉄塔モデルは,風向により破壊 時の部材座屈発生箇所が異なっており,また図-5および 図-6より,破壊荷重も大きく異なることが見て取れ,風 速0°方向に最も強く,45°方向に最も弱いという結果が 得られている.本章の結果より鉄塔は,荷重作用方向に よりその応答挙動が左右され易い構造物であることが認 められる.さらに架渉線から鉄塔の各アームには様々な モードの荷重が作用することを考えると,現実の鉄塔で は極めて複雑な応答挙動を呈することが予想される.



3. 強風時を想定した動的風応答解析

ここでは有限要素解析プログラム CAFSS¹⁾(電力中央研究所)を用いて架渉線の振動解析を行い,風荷重の鉄 塔への作用を評価する.

(1) 解析モデル

本解析に使用したモデルは,図-7に示すような鉄塔を 中心とする2径間の線路をモデル化したものである.鉄 塔に関しては,一般の高圧送電鉄塔をはり要素にて有限



図-7 架渉線-鉄塔連成系モデル

表-1 解析モデルの材料物性

	ヤング率 GPa	Poison 比	直径 mm	密度 g/cm^3
鉄塔	206.0	0.300	-	7.85
送電線	83.59	0.300	28.5	3.48
架空地線	120.0	0.343	5.0	8.89

要素モデル化した.架渉線に関しては,1径間400m,弛度7.0mとし,1径間を50要素でモデル化しており,最上部には架空地線として硬銅線を,それ以外には送電線として鋼心アルミより線をモデル化した.各材料物性は表-1に示す通りである.なお,本章の解析では,全要素の構成則に線形弾性モデルを用いている.

(2) 解析条件

強風時の風速として与える入力波形を得るため,風速 変動のシミュレーションを行う.風速変動のシミュレー ション方法に関しては,岩谷の方法²⁾を参考にした.風速 変動は線路に直行する平均50m/sの風速を,対象領域を 図-8に示すように鉛直方向に3分割,線路方向に160m 間隔で5分割,線路に直行する方向に23m間隔で2分割 し,合計30地点で発生させた.最下部領域の10地点に おけるシミュレーション結果を図-8に示す.以上により 得た合計30地点における波形を入力波とし,動的解析を 行う.



図-8 風速変動のシミュレーション



図-9 ケーブルの挙動



図-10 ケーブル支持点での反力 図-11 鉄塔最下節主柱材軸力

(3) 解析結果

ケーブルの挙動として,最下部に位置する送電線を1 本選び,その応答を見ていく.径間中央点の軌跡と張力 の時刻歴を図-9に示す.図-9より,変位,張力ともにあ る程度の時間経過後に概ね平衡状態を迎え,その後は微 小な変動挙動を呈しており,変動風を受ける各々のケー ブルに振動現象が伺える.

次に,ケーブル支持点での反力を図-10 に,鉄塔最下 節主柱材の軸力を図-11 に示す.なお,図-11 の応答値 は自重の寄与分を除いたものである.図-10 より,ケー ブル支持点での反力において,荷重の絶対量に関しては 線路直交方向(風向)の成分が支配的であるが,荷重の変 動量に関しては線路方向成分が最も大きな変動幅を持っ ており,ケーブルの振動現象の影響により,鉄塔には風 向方向以外にも無視できないレベルの力が作用している ことが伺える.また,図-11 の鉄塔最下節主柱材の軸力 を見ても同様に,その応答は変動的な挙動をみせており, 基礎の引揚げ・押し込み支持力を検討する場合にも,風 荷重の変動作用を考慮する必要性が認められる.

参考文献

- 1) 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: 土木学会構造工学論文集, Vol.47A, pp.479-488, 2001.
- 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 もつ多次元の風速変動のシミュレーション: 日本風工学研 究会誌, No.11, pp.5-18, 1982.
- 3)清水 幹夫,石原 孟,ファフックバン: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,pp.647-656,2004.