

# 送電鉄塔の強風や基礎不同変位による 部材損傷と終局耐力低下挙動の評価

東北大学  
東北大学  
東北大学  
東北大学

学生会員  
フェロー会員  
正会員  
学生会員

○立崎 理久  
池田 清宏  
山川 優樹  
樊 柚岑

## 1. 序論

送電鉄塔は地震や台風などの自然ハザードによって損傷の発生が懸念される場合は点検が行われる。しかし、点検の際の損傷程度の判断目安は定性的なものが用いられているのが現状であり、点検者の主観や経験に依存したものとなっている。そうして把握された損傷状態の評価に応じて部材交換などの修繕や建て替えの判断が行われている。

そこで、地震などに起因する地盤変形による鉄塔脚部の不同変位や強風に起因する部材の曲げ、たわみ、伸びなどの変形量や部材損傷の位置をもとにした客観的で定量的な損傷程度と健全性の判断基準の策定が求められている。新たな基準を設けることにより、災害発生時に修繕を行う優先度を判断しやすくなる。修繕の要否を合理的・客観的に判断することを可能とし、経費、労働の削減にもつながる。

本研究ではその判断基準を策定するための基礎的知見を整備することを目的として部材損傷と耐力低下挙動との関係性の解明を目的とする。実際の送電ルートで採用されている標準鉄塔を忠実に再現した有限要素解析モデルを構築して検討を行う。

## 2. 鉄塔の有限要素モデルと解析手法

### (1) 定荷重と変動荷重

本研究で解析の対象としたのは図-1の懸垂型継脚 32.0 m 鉄塔である。鉄塔の耐力解析では、塔体設計で用いられる自重・電線張力・風圧荷重・着氷着雪荷重などをベースとして、荷重発生因子の特性に応じて定荷重  $F_D$  と変動荷重  $F_L$  に分け、後者には変動荷重係数  $k$  を乗じて作用させた。また設計荷重は季節による荷重特性の違いを考慮し高温季 (H)、低温季 (L)、湿型着雪時 (S) の3種類を設定した。

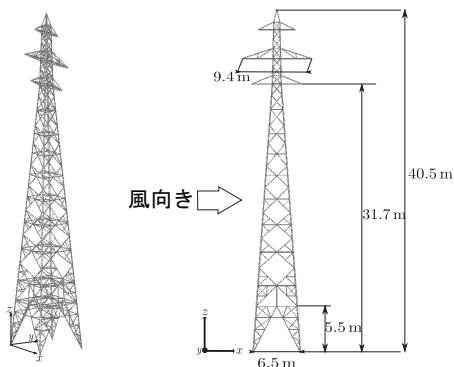


図-1 懸垂型継脚 32.0 m 鉄塔

### (2) 部材損傷の定義

本研究では曲げによる部材損傷を検討対象とし、伸び変形は検討しない。また本研究では1部材を6節点5要素に分割して解析を行ったため、図-3のようにたわみは両端の節点を直線で結び、その直線に残りの4節点から下ろした垂線のうち、最も長い垂線の長さ  $\omega$  をもとの部材長  $L$  で割ることで  $\omega/L$  として定義する。本来曲げは部材長  $L$  とは無関係に曲率と直接的に関係づけられるが、実際の点検で曲率を計測するのは困難であり、たわみを計測するのが一般的であるため、本研究では  $\omega/L$  を曲げによる部材損傷の指標として採用した。

## 3. 脚部不同変位が生じていない状態 (健全時) での鉄塔の部材損傷量及び耐荷挙動

### (1) 耐力の評価方法

4脚全ての脚部変位を拘束した状態で、最初に定荷重  $F_D$  を載荷する。次に脚部を拘束したまま、定荷重を維持した状態で、変動荷重に倍率  $k$  ( $\geq 0$ ) を乗じた荷重  $kF_L$  を載荷する。  $k$  の値をゼロから漸増させて解析を行い、  $k$  が最大値  $k_{ult}$  を示したときの係数を最大耐力とする。この解析を第2章(1)節で述べた3種類の季節荷重で行った。

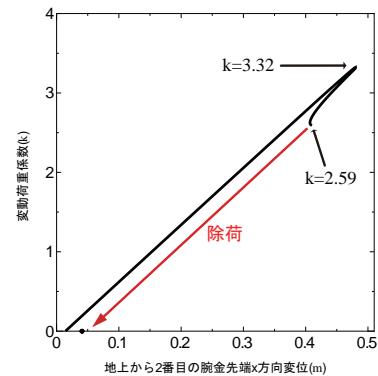


図-2 高温季 (H) 荷重における荷重-変位関係

### (2) 各季節の想定荷重条件に対する荷重-変位関係

高温季 (H) の想定荷重条件に対する懸垂型継脚 32.0 m 鉄塔の荷重-変位関係を図-2に示す。縦軸に変動荷重係数  $k$ 、横軸に地上から2番目の腕先端部分の  $x$  方向変位を取った。変動荷重係数の最大値  $k_{ult}$  は変動荷重の種類によって異なり、低温季 (L) で  $k_{ult} = 3.83$  となり最大、湿型着雪時 (S) で  $k_{ult} = 2.23$  となり最小となった (図は省略)。しかしいずれの場合も設計荷重の2倍以上の耐力を有することが確認できた。

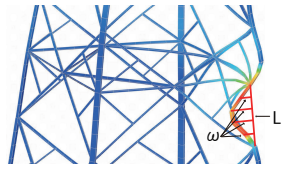


図-3 たわみ  $\omega/L$  の定義方法

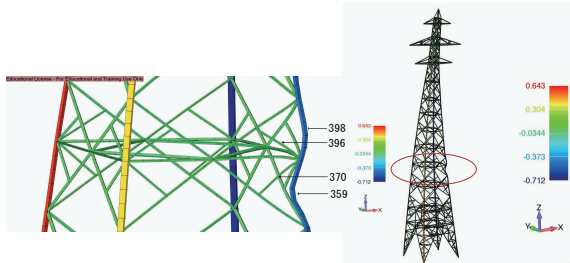


図-4 懸垂型継脚 32.0m 鉄塔の高温季 (H) 荷重変形図

(3) 鉄塔の部材損傷量及び崩壊形態

懸垂型継脚 32.0m 鉄塔に高温季 (H) 荷重を作用させ、最大耐荷力  $k_{ult}$  を示した後、荷重低下挙動を示しながら変形が進展し、その後  $k = 2.59$  から  $k = 0$  まで除荷したときの崩壊形態を図-4 に示す。なお、損傷後の点検時を想定して荷重作用時から  $k = 0$  まで除荷した後の状態を評価対象としている。たわみが大きな部材は図-4 で囲んである最下腕金の下方 8 パネル目に集中しており、図-1 で示した風向きの風下側の主材のうち、1 本が大きく変形した。また低温季荷重 (L) の場合も同様の部材のたわみが大きく、湿型着雪時荷重 (S) の場合は最下腕金の下方 8 パネル目の風下側の両方の主材に大きなたわみが生じた。

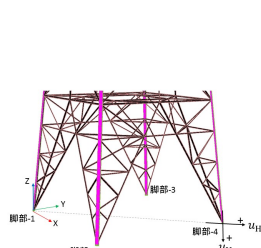


図-5 脚部不同変位の設定

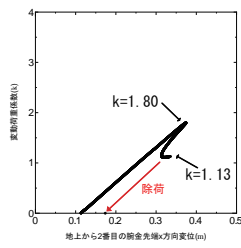


図-6 鉛直脚部不同変位有の荷重-変位関係

4. 脚部不同変位が生じている状態での鉄塔の部材損傷量及び耐荷挙動

(1) 脚部不同変位の設定及び与え方

図-5 のように水平対角開脚方向変位  $u_H$ 、鉛直下方向変位  $u_V$  を定める。また、最初に 4 つ全て脚を拘束した状態で定荷重を載荷し、その後脚部 4 以外は継続して拘束し、脚部 4 の拘束を解除して所定の脚部不同変位を強制変位により与える。

(2) 脚部不同変位を与えた鉄塔の荷重-変位関係

脚部 4 に鉛直下方向 36 mm の不同変位を与えた懸垂型継脚 32.0m 鉄塔に高温季 (H) 荷重を作用させたときの荷重-変位関係を図-6 に示す。JEC<sup>1)</sup> では脚部不同変位の許容目安を、水平方向変位について鉄塔脚部根開き寸法の 1/800、鉛直方向変位について 1/1200 と定めているが、今回検討し

た不同変位の大きさはその約 6.7 倍である。図-2 と比較して、最大耐荷力が著しく低下し、除荷後の残留変形が大きくなっていることが確認できた。

(3) 脚部不同変位を与えた鉄塔の部材損傷量及び崩壊形態

鉄塔が最大耐荷力  $k_{ult} = 1.80$  を示し、 $k = 1.13$  まで荷重が低下した状態から除荷したときの崩壊形態を図-7 に示す。不同変位を与えた脚部 4 の隣の脚部 2 にたわみの大きな部材が集中している。脚部 4 に鉛直不同変位を与えたことで脚部 2 と 3 に圧縮軸力が作用し、設計荷重の風下側に当たる脚部 2 にさらに大きな圧縮軸力が作用したことが原因であると考察できる。

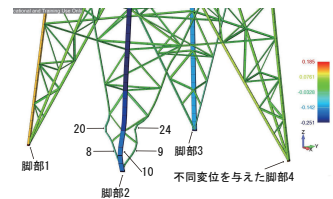


図-7 鉛直脚部不同変位有の懸垂型継脚 32.0m 鉄塔の変形図

5. 比較・まとめ

図-8 には、脚部-4 に様々な大きさの不同変位を与えた直後の最大たわみ  $\omega/L$  を横軸に取り、不同変位を与えた後に高温季 (H) の変動荷重を載荷したときの最大耐荷力  $k_{ult}$  を縦軸に取って図示した。鉛直下方向と水平対角開脚方向の不同変位を与えたときの結果を示しており、図中に不同変位量  $u_V, u_H$  を記載してある。また、比較対象として、不同変位が無い場合に対して高温季 (H) の変動荷重を載荷し、最大耐荷力  $k_{ult}$  を経て荷重が低下に転じた後、変動荷重係数  $k$  がある値に達した時点から  $k = 0$  まで除荷した状態での最大たわみ  $\omega/L$  も示した。図-8 より、鉛直下方不同変位が生じている状態では、水平対角開脚不同変位の場合と最大部材たわみが同程度であっても、最大耐荷力は大きく低下する。しかし現行の点検目安はこのよなたわみの原因については言及していない。今後脚部不同変位の向きや大きさ、また与える脚の本数を変え、定量的な基準の策定に向けてより多くのデータを蓄える、考察していきたい。

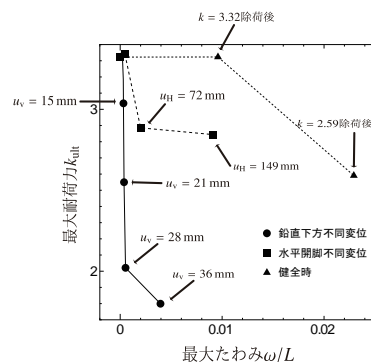


図-8 脚部不同変位を与えた直後の部材のたわみと健全時の残留たわみ

参考文献

1) 電気学会電気規格調査会標準規格、送電用支持物設計標準 (JEC-127-1979)、電気書院、1979。