

送電鉄塔の強風や基礎不同変位による部材損傷と修繕による耐荷力の回復程度の評価

東北大学 学生会員 ○立崎 理久
東北大学 正会員 山川 優樹

1. 序論

地震や強風などにより送電鉄塔に損傷の発生が考えられる場合、点検結果に応じて、部材交換などの修繕や建て替えが行われている。しかし、現在、損傷判定と修繕方法の判断は定性的・経験的な基準に基づいて行われている。さらに、部材交換等の修繕による送電鉄塔の健全性の回復程度を定量的に評価する方法は確立されていない。

本研究では、損傷後の部材交換によって送電鉄塔の耐荷力がどの程度回復しているのかを、3次元有限変形弾塑性有限要素解析を用いて定量的に評価することを目的とする。送電鉄塔に強風が作用した場合と地震や地すべりにより脚部不同変位が生じた場合について検討を行う。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標準鉄塔の一種で、図-1の懸垂型継脚 32.0m 鉄塔である。鉄塔の耐荷力解析では、塔体設計で用いられる鉄塔の自重・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。これらの荷重を等価な節点荷重に換算し、有限要素節点に作用させた。また設計荷重は夏季を想定した高温季荷重 (H) を設定した。

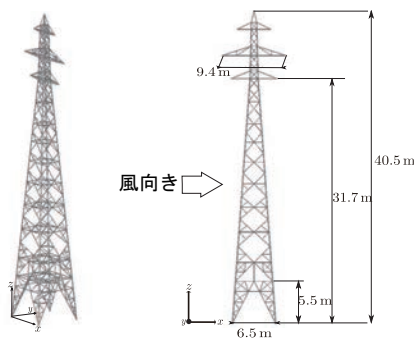


図-1 懸垂型継脚 32.0m 鉄塔

(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-2のようにたわみは部材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 w をもとの部材長 L で割ることで w/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



図-2 たわみ w/L の定義方法

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 w/L を曲げによる部材損傷の指標として採用した。

(3) 耐荷力の評価方法

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 ($k \geq 0$) 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、 $k = 1$ に達したときが設計荷重を載荷した状態に相当する。さらに k を増加させ、 k が最大値 k_{ult} を示したときの係数を最大耐荷力とする。その後、最大値 k_{ult} を経て、 k が所定の値 k^* まで低下した状態から除荷する。

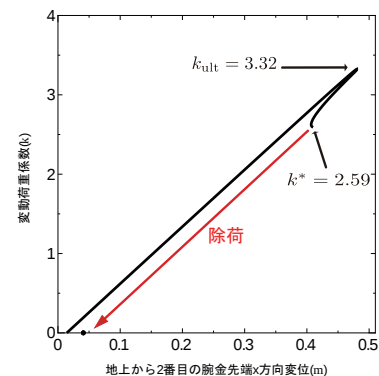


図-3 高温季 (H) 荷重における荷重-変位関係

(4) 脚部不同変位の設定及び与え方

図-4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脚全てを拘束した状態で定荷重 F_D を載荷する。次に脚部4以外を継続して拘束し、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。その後、 k をゼロから漸増させて荷重 kF_L を載荷する。

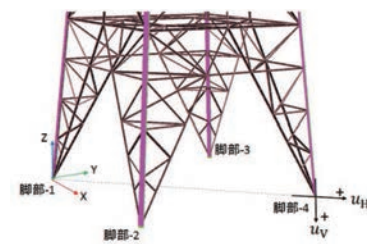


図-4 脚部不同変位の設定

Key Words: 送電鉄塔, 懸垂型鉄塔, 脚部不同変位, 部材損傷, 最大耐荷力

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06, Phone: 022-795-7420, E-mail: riku.tachizaki.r6@dc.tohoku.ac.jp

(5) 部材交換の方法

本研究では、強風作用による損傷を想定した解析と、脚部不同変位による損傷を想定した解析を行った。それぞれの場合について、部材交換の手順を以下に示す。

・強風作用時

1. 図-3 に示したように高温季荷重 (H) を載荷し、最大耐荷力 k_{ult} を経て k が所定の値 k^* に低下するまで解析を行う。その後、実際の点検時の状態を想定して、 $k = 0$ まで除荷する。
2. 除荷後に全部材の w/L を調べ、たわみが大きい部材を抽出し、所定の本数だけ健全な部材と交換する。本研究ではたわみが大きい上位 2 つの部材を交換した。
3. 再び高温季荷重 (H) を載荷し、部材交換による修繕後の最大耐荷力 k'_{ult} を評価する。

・脚部不同変位発生時

1. 第 2.(4) 節で示したように所定の脚部不同変位 u_H, u_V を与える。
2. 全部材の w/L を調べ、たわみが大きい部材を抽出し、所定の本数だけ健全な部材と交換する。本研究ではたわみが大きい上位 2 つの部材を交換した。
3. 高温季荷重 (H) を載荷し、部材交換による修繕後の最大耐荷力 k'_{ult} を評価する。

3. 最大たわみと最大耐荷力の関係

図-5 には、脚部-4 に様々な方向と大きさの脚部不同変位 u_H, u_V を与えた直後の最大たわみ w/L を横軸に取り、脚部不同変位を与えた後に再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。また、比較対象として、図-3 で載荷後に $k = 0$ まで除荷した状態での最大たわみ w/L も示した。図-5 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。この 3 つの状態それぞれについて部材交換の効果を次章で評価する。

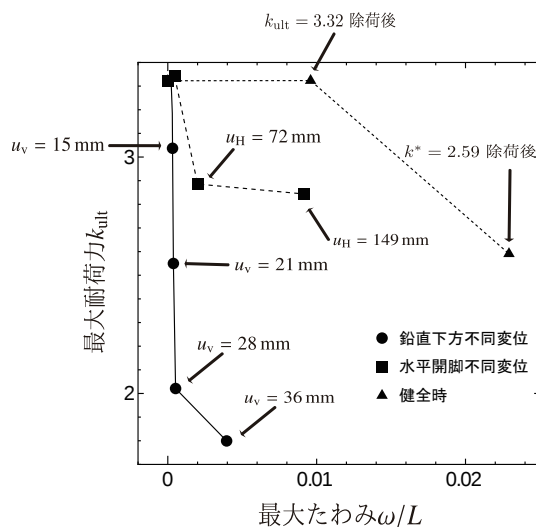


図-5 脚部不同変位を与えた直後の部材のたわみと健全時の残留たわみ

4. 部材交換の効果

今回、部材交換による耐荷力の回復程度を評価するため、一例として図-5 で示した状態におけるたわみの大きい主材 2 本のみ、もしくは腹材 2 本のみを交換したときの解析を行った。その結果を表-1～表-3 に示す。

表-1 部材交換の効果 (強風作用時)

最大耐荷力 k_{ult}	終局耐荷力 k^*	主材交換		腹材交換	
		最大耐荷力 k'_{ult}	回復量	最大耐荷力 k'_{ult}	回復量
3.323	2.591	2.930	3.39E-01	2.580	-1.08E-02

表-1 より、強風作用時、主材を交換したときは耐荷力が回復しているものの、腹材を交換したときは回復していない様子が分かる。これは腹材のたわみが主材の変形によってもたらされたものであるため、腹材のみを交換したとしても効果がないためであると考えられる。

表-2 部材交換の効果 (鉛直脚部不同変位)

大きさ (mm)	基準値比較 (何倍か)	部材交換無し 最大耐荷力 k_{ult}	主材交換		腹材交換	
			最大耐荷力 k'_{ult}	回復量	最大耐荷力 k'_{ult}	回復量
13.37	2.49	3.186	3.235	4.92E-02	3.186	1.69E-04
36.10	6.73	1.800	1.933	1.33E-01	1.718	-8.20E-02

表-3 部材交換の効果 (水平脚部不同変位)

大きさ (mm)	基準値比較 (何倍か)	部材交換無し 最大耐荷力 k_{ult}	主材交換		腹材交換	
			最大耐荷力 k'_{ult}	回復量	最大耐荷力 k'_{ult}	回復量
16.02	2.00	3.341	3.304	-3.71E-02	3.142	-2.00E-01
72.09	8.96	2.886	2.889	3.10E-03	2.926	4.01E-02

表-2・表-3 より、脚部不同変位が JEC¹⁾ の許容目安の 2 倍程度のとき、耐荷力の回復程度は主材・腹材交換、いずれの場合も小さいことが分かる。これは脚部不同変位を与えた直後、部材交換を行うたわみが大きい部材が脚部付近に集中しているのに対して、その後高温季荷重 (H) を作用させたときにたわみが進展するのが送電鉄塔の下方 8 パネル目の部材のためである。

一方、脚部 4 に与える鉛直不同変位が JEC¹⁾ の許容目安の 7 倍程度のとき、主材を交換したときは耐荷力が回復しているものの、腹材を交換したときは回復していない様子が分かる。このとき、鉛直不同変位を与えた直後のたわみは腹材の方が大きい。しかし高温季荷重 (H) を作用させたときに脚部 2 の主材のたわみが進展するため、主材を交換したときの方が効果が大きくなる。

また、脚部 4 に与える水平不同変位が JEC¹⁾ の許容目安の 9 倍程度のときは、耐荷力の回復程度は主材・腹材交換、いずれの場合も小さいことが分かる。これが起きる原因は脚部不同変位が JEC¹⁾ の許容目安の 2 倍程度のときと同様である。

5. まとめ・今後の展望

今回の解析により、部材交換による耐荷力回復が期待できる場合と、期待できない場合があることが明らかになった。今後効果が期待できていない事例で力学的な考察を行い、部材交換による耐荷力回復の条件について検討を行いたい。

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。