

季節変動を考慮した送電鉄塔の修繕解析による 修繕方法と修繕効果の評価

東北大学
東北大学
東北工業大学
東北電力株式会社
東北電力ネットワーク株式会社

○ 山野 優大
正会員 山川 優樹
正会員 河井 正
溝江 弘樹
室井 亮

1. 序論

強風による過大荷重や地震や地すべりによる基礎の不同変位によって送電鉄塔に損傷が発生することがある。しかし、部材変形や脚部不同変位などの損傷程度と鉄塔全体の耐荷力低下程度との定量的関係は明らかになっていない。また、損傷状態に応じて部材交換等の局所的な原状復旧による修繕は一般的に行われているが、こうした修繕方法によって鉄塔の健全性を十分に回復できているかは明確になっていない。

本研究では、複数の季節想定荷重（季節荷重）での外的作用による損傷が生じた送電鉄塔に対して修繕シミュレーションを行い、強度回復程度を評価するとともに、修繕方法による修繕効果の違いについても検討した。これらの結果を基に客観的かつ合理的な修繕の基準を策定するための基礎となる知見を得ることを目的とする。

2. 鉄塔の有限要素モデルと解析モデル

(1) 解析対象・外力条件

本研究では図-1で示す東北電力ネットワーク（株）の交流 66 kV 線路で広く用いられている標準鉄塔の一種である「懸垂型鉄塔（継脚 32.0 m）」を検討対象とした。鉄塔を有限要素モデル化するには、Timoshenko 梁要素を用いた。

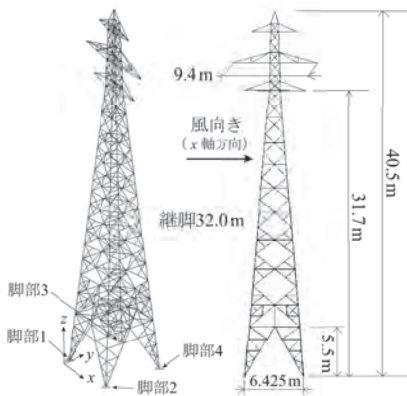


図-1 懸垂型標準鉄塔（継脚 32.0m）の全体図と概略寸法

外力条件は、鉄塔の設計で標準的に用いられる荷重条件をベースとして、季節による荷重特性の違いを考慮した高温季（H）、低温季（L）、湿型着雪時（S）の3種類の季節荷重を設定した。これらの荷重には、腕金先端等に作用する電線・地線や着氷・着雪の重量、電線張力等による垂直荷重および

水平横荷重、塔体作用風圧荷重、塔体重量などが考慮されている。なお、本研究では電線・地線等の不平均張力等による水平縦荷重は考慮しないこととした。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 を乗じて以下の式のように作用させた。 $k=1$ の時が設計荷重に該当する。式(1)の F_D および F_L を一定として等価な節点荷重に換算して鉄塔の有限要素解析モデルに作用させた。

$$F = F_D + kF_L \quad (1)$$

(2) 損傷解析の方法

本研究では、強風による損傷と、脚部不同変位による損傷の2通りの損傷解析を行い、損傷前後の耐荷力を評価した。

・強風による損傷

鉄塔の4脚を固定した状態で定荷重を作用させながら k を漸増させ、 k の最大値を無損傷時耐荷力 k_{ult}^0 と定義した。その後 $k=0$ まで除荷し、 k を再度漸増させて再載荷したときの k の最大値を損傷後耐荷力 k_{ult}^{dam} とした。

・脚部不同変位による損傷

鉄塔の4脚を固定した状態で定荷重を作用させた後、脚部4に変位を与えた。その後、脚部4を固定して k を漸増させ、 k の最大値を損傷後耐荷力 k_{ult}^{dam} とした。

(3) 修繕解析の方法

前述した2つの損傷状態に対して以下の修繕方法を適用する。修繕後に再載荷を行い、 k の最大値を修繕後耐荷力 k_{ult}^{rep} とした。

・強風被害想定時

変形量が大きい支柱材または腹材の上位2つを交換する修繕を行った。

・脚部不同変位発生時

前述と同様の部材交換による修繕ほか、脚部不同変位を取り除く修繕を考え、それぞれの修繕後耐荷力を調べた。

(4) 強度低下率と強度回復率

送電鉄塔の損傷による強度低下率と修繕による強度回復率の定義を以下の式と図-2で示す。

$$(\text{損傷後の強度低下率}) = (k_{ult}^0 - k_{ult}^{dam}) / k_{ult}^0 \quad (2)$$

$$(\text{修繕後の強度回復率}) = (k_{ult}^{rep} - k_{ult}^{dam}) / (k_{ult}^0 - k_{ult}^{dam}) \quad (3)$$

$$(\text{正規化損傷後耐荷力}) = k_{ult}^{dam} / k_{ult}^0 \quad (4)$$

$$(\text{正規化修繕後耐荷力}) = k_{ult}^{rep} / k_{ult}^0 \quad (5)$$

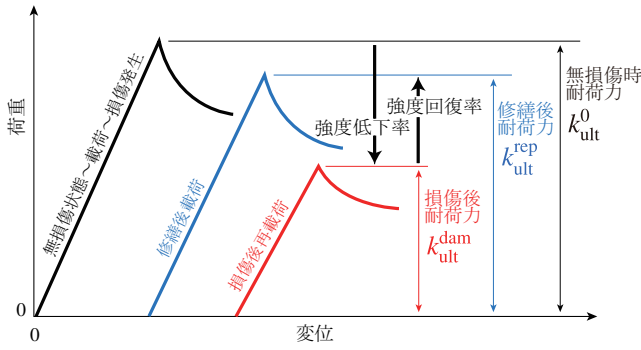


図-2 強度低下率と強度回復率の定義

表-1 3種類の季節荷重による強風被害を想定した損傷・修繕解析

(a) 高温季 (H)

無損傷時	無損傷時耐力 k_{ult}^0 3.323		
損傷後	損傷後耐力 k_{ult}^{dam} 2.591	強度低下率 22.04%	正規化損傷後耐力 77.96%
修繕後 (支柱材 2 本交換) (腹材 2 本交換)	修繕後耐力 k_{ult}^{rep} 2.930 2.580	強度回復率 46.32% -1.475%	正規化修繕後耐力 88.17% 77.64%

(b) 低温季 (L)

無損傷時	無損傷時耐力 k_{ult}^0 3.833		
損傷後	損傷後耐力 k_{ult}^{dam} 2.976	強度低下率 22.35%	正規化損傷後耐力 77.65%
修繕後 (支柱材 2 本交換) (腹材 2 本交換)	修繕後耐力 k_{ult}^{rep} 3.654 2.271	強度回復率 79.06% -82.33%	正規化修繕後耐力 95.32% 59.25%

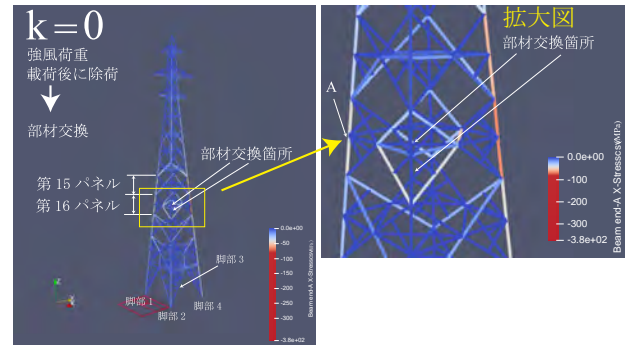
(c) 湿型着雪時 (S)

無損傷時	無損傷時耐力 k_{ult}^0 2.226		
損傷後	損傷後耐力 k_{ult}^{dam} 1.545	強度低下率 22.04%	正規化損傷後耐力 30.58%
修繕後 (支柱材 2 本交換) (腹材 2 本交換)	修繕後耐力 k_{ult}^{rep} 1.975 1.543	強度回復率 63.07% -0.350%	正規化修繕後耐力 88.71% 69.32%

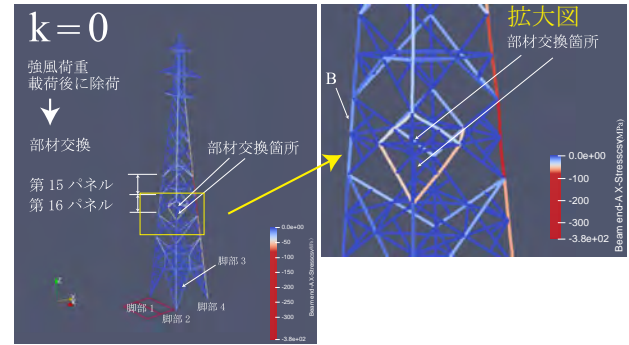
3. 損傷・修繕解析による強度回復程度の評価

高温季 (H), 低温季 (L), 湿型着雪時 (S) の季節荷重による強風を想定した損傷解析と, 2. (3) 節で述べた修繕解析の結果を表-1 に示す。表-1 より, いずれの季節荷重においても支柱材の交換による修繕方法ではある程度の修繕効果が得られている。しかし, 腹材の交換による修繕方法では, いずれの季節荷重条件下においても十分な修繕効果が得られず, 修繕後に耐力の低下もみられる。

一方で, 低温季 (L) および湿型着雪型 (S) での支柱材交換に比べて, 高温季 (H) での支柱材交換では強度回復率が小さい。第 4 章ではこのような結果になった要因を力学的に考察する。



(a) 高温季 (H) 部材交換直後の圧縮部材応力



(b) 低温季 (L) 部材交換直後の圧縮部材応力

図-3 高温季 (H), 低温季 (L) における圧縮部材応力 (変形倍率: 約 15 倍)

4. 修繕効果の有無に関する力学的検討

高温季 (H) および低温季 (L) における支柱材交換時の圧縮部材応力と, 交換部材周辺の拡大図を図-3 に示す。これらは異なる季節荷重による解析結果であるが, 損傷が顕著な箇所および部材交換箇所は同一である。図-3 より, 高温季 (H) では支柱材を交換したことによって, 交換箇所から脚部 2 にかけて残留していた圧縮部材応力が解消されている。しかし脚部 4 の上方の支柱材, および脚部 1 の上方の支柱材の第 16 パネル付近 (図-3 中 A) において圧縮部材応力が残留している。

一方で, 低温季 (L) では, 交換後には交換部材から脚部 2 にかけての圧縮部材応力が解消されている。また, 高温季 (H) の場合では部材交換後も残留していた脚部 1 の上方の支柱材の第 16 パネル付近 (図-3 中 B) の圧縮部材応力は解消されており, 脚部 4 上方の支柱材でのみ圧縮部材応力が残存している。以上のことが, 高温季 (H) よりも低温季 (L) で大きな強度回復率が得られた要因と考えられる。

5. まとめ

今回, 3 種類の季節荷重想定条件において, 圧縮部材応力を取り除くことが可能となる修繕方法が有効であることが確認でき, 圧縮部材応力の残存の程度が季節荷重の違いによる修繕効果の違いに影響することが確認できた。

水平開脚方向や鉛直方向による脚部不同変位発生時の部材交換や脚部不同変位除去についても同様の季節荷重間の差異が見られたが, 紙面の制約の関係上省略した。

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.