

既設送電鉄塔の補修・改修に関わる解析技術の高度化について

東電設計（株）フェロー会員 ○中村 秀治
東電設計（株） 正会員 大野木亮太

東電設計（株） 本郷榮次郎
東京電力（株）正会員 山崎智之

1. はじめに

既設構造物の維持管理は、種々の劣化原因、劣化発生のメカニズムと劣化発生箇所を的確に把握し、将来予測しつつ実施する必要があるが、経年劣化の実態把握および補修・改修の必要性判定と、改修後の性能回復効果の確認は容易ではない。本報告では、既設送電鉄塔の構造的な観点から、より合理的な補修・改修を目指して解析技術の高度化を試み、非線形 FEM 解析技術の有効活用を検討した結果の概要について述べる。

2. 既設送電鉄塔の経年劣化（変化）と補修・改修に関わる解析技術の概要

送電鉄塔建設には約 100 年の歴史があり、立地条件に適した各種鉄塔約 25 万基、線路長 8 万 km が建設され、高経年鉄塔も増えて来ている（図-1）。

送電鉄塔の経年劣化（変化）は、

- (a) 部材発錆・腐食（原因：海塩粒子、排煙、不メッキ等）
部材変形・破損（原因：基礎変位、異常荷重、凍結等）
ボルト緩み・脱落・破損（原因：繰返荷重・異常荷重等）
- (b) 基礎変位（地滑り、地盤沈下、近接工事等）
- (c) 地域社会の発展に伴う要求性能の変化

等である。

これらに対する改修技術・改修工法として、①防錆塗装、②部材補強、③部材取替え、④鉄塔嵩上げ、⑤移設、⑥建替え、等の対策工法が検討され、実施されて来ている^{1),2)}。

維持管理に活用すべき構造解析技術は、古典的な非線形 FEM 解析技術（弾塑性解析、大変形解析(Total Lagrangian, Updated Lagrangian)）に加えて、解析コードのプログラミング技術に関わる事項として、

- (1) 要素発生・消滅(Element Birth and Element Death)の機能（補強部材取り付け、部材交換、等）に使用）
 - (2) リスタートの機能（境界条件の変化、解析モデルの形状変更、解析条件変更、等）に使用）
 - (3) 隣接節点間の Non-linear Spring 機能、局所座標系(Skew System)の設定機能（滑り、剥離等に利用）
- を備える必要がある。また、腐食やボルト滑りなどの鋼構造特有の問題に対応するためには、
- (4) 鋼材の腐食面計測データの処理機能（平均値、標準偏差、スペクトル特性）
 - (5) 腐食が顕著な部材の強度評価技術、(6) ボルト滑り解析技術（参考文献 3）参照）
 - (7) 飛来塩分粒子の評価などの腐食環境シミュレーション（気流解析）技術

等の必要性も高い。更に、非線形解析に必要な種々の物性値や定数について、最適値を使用することも重要で、最適値を見出す一手段として、

- (8) 必要最小限の実測値の取得と、最適な解析条件を見出すためのパラメータ解析、
- (9) 解析値に対する予測精度の確認、等も解析条件の一つとして求められる場合が生じる。

3. 維持管理用解析モデルの自動生成

市販のソフトウェアを用いて弾塑性大変形解析を行うとしても、コンピュータの処理能力が向上した今日、構造解析の多くは手元のパソコンで十分処理可能であり、解析時間が問題になることは少ない。したがって、鋼構造物の維持管理問題に数値解析を活用する上で、モデル作成が最大のネックであり、モデル作成を効率化する効果は大きい。したがって、維持管理技術の向上、性能回復効果の検証等を行う上で、「維持管理用解析モデル」の採用を考えるべきである。図-2 はその一例であるが、その特長は次の通りである。

キーワード 送電鉄塔、補修・改修、弾塑性大変形解析、要素発生・消滅機能、リスタート機能
連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3 丁目 3 番 3 号 東電設計株式会社電気本部
TEL: 03-6372-5720 E-mail: h.nakamura@tepsco.co.jp

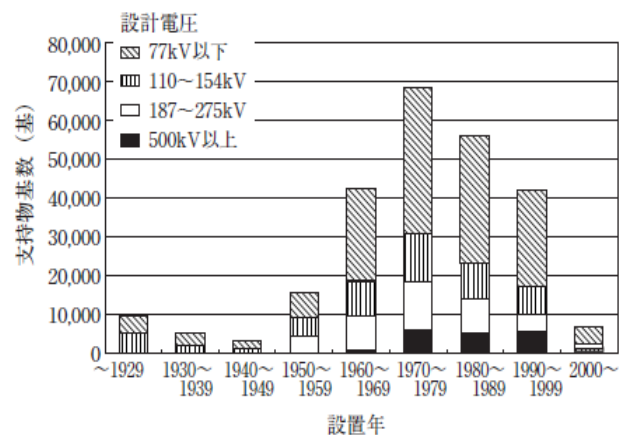


図-1 送電鉄塔の電圧別建設年代¹⁾

- ①有限要素解析モデルであるが、影響の少ない部材は図面に忠実なモデル化に過度にこだわらず、モデル形状の有する規則性を最大限利用して、コンピュータ・プログラムで解析用データを自動生成する。これにより、解析モデル作成時間と費用、長期の保管とモデル再生作業が大幅に改善される。
- ②モデル自動生成プログラムを構造物毎に一度作っておけば、構造物の生涯を通して利用でき、定期点検や部分補修時など経年劣化に対応した適切な耐力評価と将来予測が可能になる。
- ③構造物形状の類似性に注目して作成したモデル自動生成プログラムは他にも大部分共通利用できる。

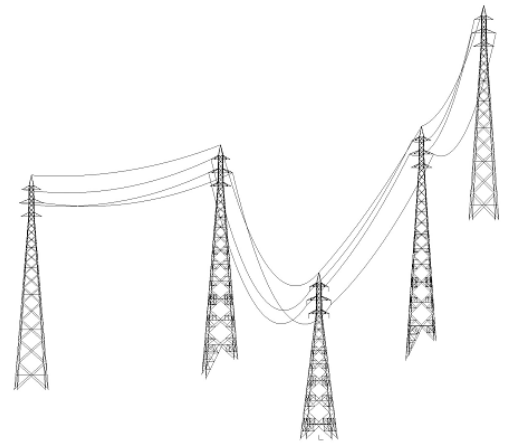


図-2 5基4径間の送電線架線の連成解析モデル

4. 既設送電鉄塔の補修・改修事例と解析例

- (1) **基礎変位鉄塔の耐力**：鉄塔基礎の不同変位の原因は種々あるが、実態として根開き 3～9m 程度の山形鋼鉄塔に鉛直変位 20mm 以下で基礎変位した例が多く、耐力低下に対する適切な対策は維持管理上の課題となっている。文献4)においては許容鉛直変位 $b/1200$ 以下、許容水平変位 $b/800$ 以下 (b ：根開き)とされている。基礎変位鉄塔の耐荷力を解明するための解析は、ボルト滑りが大きな影響を及ぼすため、ボルト滑り発生応力とボルト孔のクリアランスを一義的に設定して行われることが多いが、高精度の推定は容易ではない。精度向上の一対策法として、最下パネルの腹材応力とパラメータ解析結果の比較に基づく条件設定が文献3)に示されている。
- (2) **鉄塔部材の腐食、変形・破損**：鉄塔部材は亜鉛メッキで防錆対策されているが、高経年に伴う発錆・腐食の進展は補修費用の増大を招くことから、劣化状況に応じた防錆対策が取られている。部材塗装の効率化や品質向上を図るため近年開発された塗装機器、塗装に関する技術、鋼管内面塗装に関する技術などについては文献1)に記載されている。一方、防錆対策時期を逸してしまい著しく発錆・腐食した部材や変形・破損などについては、部材交換による対応が必要とされ、近年、部材交換の各種工法、部材補強工法が適用されてきているが、施工中の安全性、健全性を維持した上でのより合理的な工法が求められている。鉄塔の部材取替を解析的にシミュレーションした例はあるが、前述の通り、大変形解析と要素発生・消滅 (Element Birth and Element Death)を組み合わせて行うことにより、実態に近い解析が可能である。
- (3) **機能向上 — 嵩上げ等**：都市化進展等の社会情勢変化に対応するため鉄塔嵩上げなどの必要が生じる。送電鉄塔に限らず構造的に安全性が低下し易いのは完成後より工事途上であり、鉄塔工事の安全性を高める上で解析技術の向上は有用である。解析モデル形状や境界条件が時々刻々変化するような場合、正確なリスタート機能に加えて、或るタイミングから使用開始、あるいは使用終了する要素を予め全て配置しておき、大変形解析により施工過程を再現することができる (図-3)。

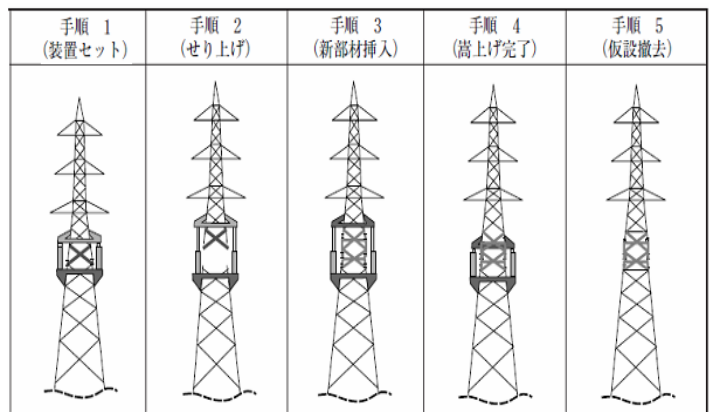


図-3 鉄塔嵩上げ手順の例¹⁾

5. 結 び

以上、本報告においては、送電鉄塔に焦点をあてて、維持管理上で直面する解析上の問題を取り上げ、解析による推定精度を上げるために高度化すべき事項について指摘した。紙面の都合もあり、関連する解析例はここに示していないが、講演会当日に示す予定である。

参考文献 1) (社)電気協同研究会：電気協同研究第 60 巻第 1 号 架空送電設備の補修・改修技術, 2004. 2) (社)送電線建設技術研究会：鉄塔工事施工基準解説書, 1991. 3) 山崎智之, 河原章夫, 高橋圭一, 本郷榮次郎, 中村秀治：基礎変位鉄塔のボルト滑りを考慮した耐荷力解析法に関する検討, 構造工学論文集, Vol. 58A, 2012. 3. 4) 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, 1980.