

地盤－基礎－送電鉄塔の連成作用を考慮した三次元解析と基礎の安定性の検討

東北大学 学生会員 ○Bui Huu Truong
東北大学 学生会員 箕輪健太郎
東北大学 正会員 山川優樹
東北大学 正会員 池田清宏

1. はじめに

送電鉄塔は大きく分けて鉄塔・基礎・地盤の構成要素からなる。鉄塔は細長部材で構成され、座屈での破壊が支配的である。一方、基礎変位では地盤の変形特性が支配的である。構成要素ごとに特徴的な力学特性を有するため、個別に設計・照査がなされ¹⁾、構成要素間の相互影響が考慮されることは稀である。風荷重・着雪荷重・地震力などの外力で鉄塔崩壊に対して最も支配的なのは一般には風荷重である。鉄塔や電線に作用した風荷重による基礎変位に起因した鉄塔の部材損傷や全体倒壊事故が発生しており、構成要素間の相互影響の考慮が必要であることを示している。以上のことから、構造系全体の挙動を考慮した合理的設計のためには、鉄塔－基礎－地盤の連成挙動の解明が不可欠である²⁾。本研究では地盤－基礎－鉄塔連成系の三次元有限要素解析により、構造系全体での安定性検討を行う。

2. 基礎変位が鉄塔の挙動に与える影響：外力作用方向による挙動の違い

地盤－基礎－鉄塔の全体系モデルを用いた解析と鉄塔単体解析とを比較し、基礎変位が鉄塔の挙動にどのような影響を及ぼすかを調べる。図-1の全体系モデルに対して図-2の mode-A1, B1 の荷重を作用させた。また、鉄塔単体解析として、4脚全ての基礎変位を拘束した解析も行った。鉄塔部材には SS400 材相当の von Mises 弾塑性モデルを、地盤部分には Drucker-Prager 弾塑性モデルを用いた。基礎は簡略化した形状でモデル化し、弾性と仮定した。

鉄塔単体解析の結果を図-3に示す。同図は鉄塔作用荷重が最大値を過ぎて低下し始めた時点の様子について、鉄塔脚部から上方の数パネル部分を拡大して示しており、コンターは部材の梁要素の回転角 (radian) を表している。Mode-A1 では圧縮側（脚部-3）の支柱材が座屈により大きく変形している。一方、mode-B1 では圧縮側（脚部-2, 3）の支柱材の座屈に加えて、脚部直上とその上方1パネル目の圧縮を受ける斜材の座屈も顕著である。

全体系モデルを用いた解析での変形状況、地表面の鉛直変位分布、鉄塔部材の座屈状況、地盤のせん断ひずみ分布を mode-A1, B1 についてそれぞれ図-4, 図-5に示す。両図は鉄塔作用荷重が最大時の様子を示してある。また、両図 (b) は座屈が確認された鉄塔部材の周辺を拡大して示しており、コンターは部材の梁要素の回転角 (radian) を表す。Mode-A1 では基礎の引揚変位は小さく、鉄塔上部の斜材で座屈が生じている。これと図-3(a)とを比較すると、鉄塔単体解析で見られた圧縮側支柱材の脚部付近での座屈は全体系解析では生じなかったものの、上部斜材の座屈が鉄塔の耐力低下をもたらしている（後掲の図-6(a)参照）。一方、mode-B1 では基礎に大きな引揚変位が生じ、鉄塔脚部付近の斜材に座屈が生じている。これと図-3(b)とを比較すると、鉄塔単体解析と同様に斜材に座屈が見られるが、全体系解析では圧縮側支柱材の顕著な座屈は見られない。このように鉄塔単体解析と全体系解析とを比較すると、基礎変位の影響により鉄塔の損傷形態に違いが見られる。

鉄塔に作用させた水平荷重（全載荷点の合力）と鉄塔頂部の水平変位との関係について、鉄塔単体解析と全体系解析とを比較したものを図-6に示す。図-7, 図-8には mode-A1, B1 における各基礎の鉛直変位および水平変位の様子を示す。Mode-A1 について示した図-6(a)を見ると、鉄塔単体解析よりも全体系解析の方が荷重－変位曲線の初期の勾配が小さく、鉄塔頂部に大きな変位が発生しており、これは基礎の鉛直変位によるものである。両者ともに鉄塔

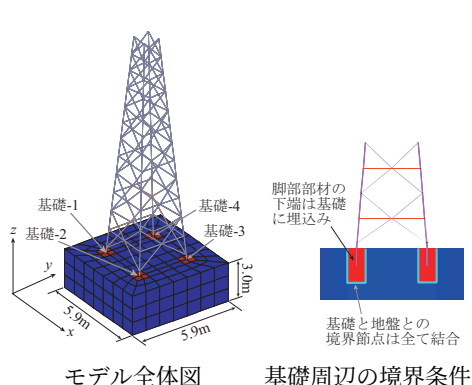


図-1 全体系の解析モデル

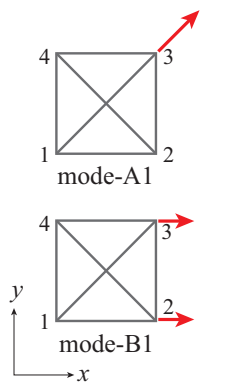


図-2 鉄塔への荷重モード

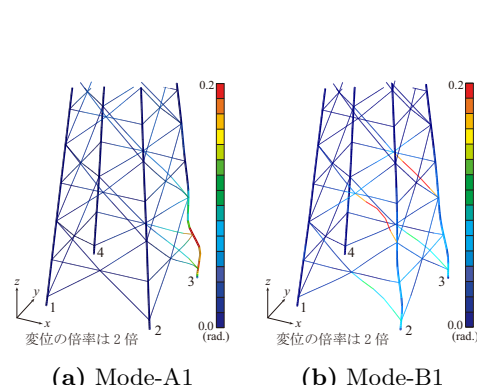
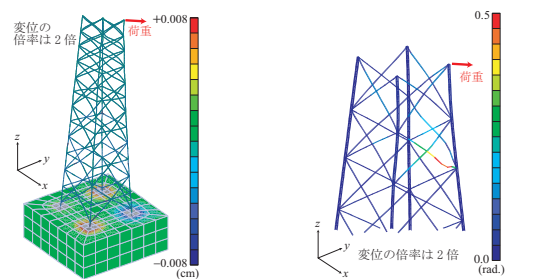


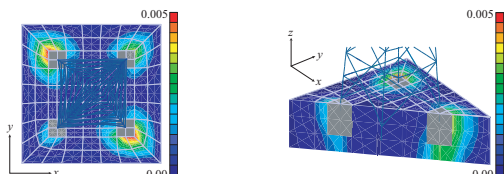
図-3 鉄塔単体解析の結果

Keywords: 送電鉄塔, 逆 T 型基礎, 連成挙動

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06, Phone: 022-795-7420, Fax: 022-795-7418, E-mail: truong@msd.civil.tohoku.ac.jp

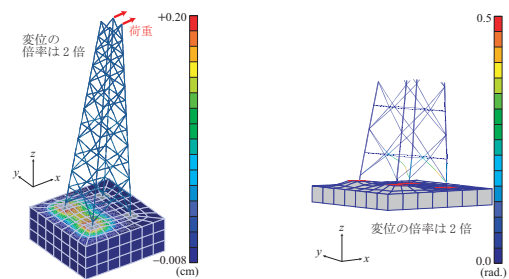


(a) 地表面の鉛直変位 (b) 鉄塔部材の座屈状況

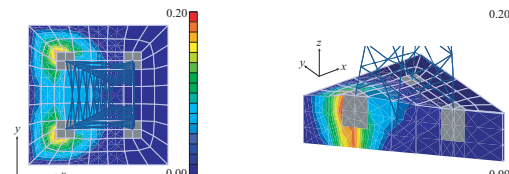


(c) 地表面のせん断ひずみ (d) 地盤内部のせん断ひずみ

図-4 荷重 mode-A1 に対する全体系の挙動



(a) 地表面の鉛直変位 (b) 鉄塔部材の座屈状況



(c) 地表面のせん断ひずみ (d) 地盤内部のせん断ひずみ

図-5 荷重 mode-B1 に対する全体系の挙動

の全体座屈によると思われる急激な荷重低下に転じており、そのときの荷重は両者ほぼ同じである。次に、mode-B1 について示した図-6(b)を見ると、鉄塔単体解析では約 150 kN の荷重に達した後に急激な崩壊挙動を示しているが、全体系解析では緩やかな荷重増加を伴いながら大きな変位を生じており、急激な荷重低下は見られない。また、図-7(b)、図-8(b)を見ると、脚部-1, 4 に非常に大きな水平・鉛直変位が生じている。このことから、mode-B1 の全体系解析では鉄塔自体は崩壊に至っておらず、鉄塔頂部の水平変位は引揚側基礎の変位によると思われる。

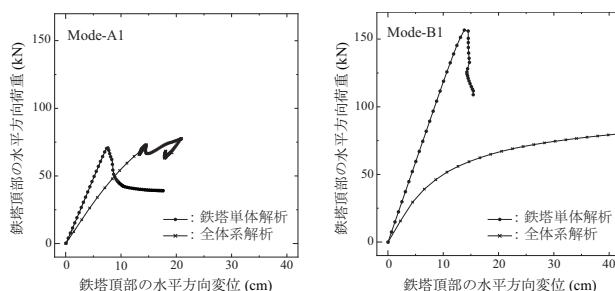
3. まとめ

本研究では地盤－基礎－鉄塔の相互作用を考慮した送電鉄塔系の安定性検討を行った。2 種類の外力モード (mode-A1, B1) を考え、鉄塔単体解析と基礎・地盤を含めた全体系解析との比較を行い、基礎変位が鉄塔の崩壊挙動に与える影響を調べた。全体系解析の結果、Mode-A1 では鉄塔の崩壊が、mode-B1 では基礎の引揚変位が支配的であった。最初に破壊する構成要素が外力モードによって変化することには、設計上の注意を要する。

しかし、どの構成要素の破壊が先行するかは、鉄塔・基礎の強度や変形性能などによって変化する。さらに、実際の外力モードは非常に多岐に渡る。構造・外力を網羅的に想定した照査を行うことは現実的ではないが、数種類の条件に対する破壊モードを検討した上で各構成要素の強度バランスを考慮することは意義がある。鉄塔・基礎の一体設計での安定性評価を行った研究^{3),4)}により、鉄塔単体での検討に基づく基礎変位の許容値を緩和できる可能性も指摘されており、構造全体系での安定性評価は今後ますます有用性を発揮するものと思われる。

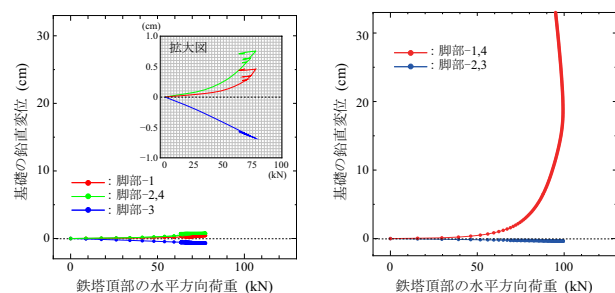
参考文献

- 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.
- 2) 山川優樹, 中市翔也, 池田清宏, 尾崎利行, 松村政秀, 北田俊行: 地盤－基礎－送電鉄塔の連成作用を考慮した三次元解析と基礎の安定性の検討. 土木学会論文集 C, Vol. 64, No. 4, pp. 782-801, 2008.
- 3) 本郷栄次郎, 田邊成, 河村直明: 三次元解析による送電鉄塔の基礎の変位を考慮した挙動分析, 電力土木 (電力土木技術協会誌), Vol. 278 (1998 年 11 月), pp. 72-76, 1998.
- 4) 河村直明, 岩本亜理, 白濱美香: 三次元解析による送電鉄塔の基礎の変位を考慮した挙動分析 (その 2), 電力土木 (電力土木技術協会誌), Vol. 311 (2004 年 5 月), pp. 75-79, 2004.



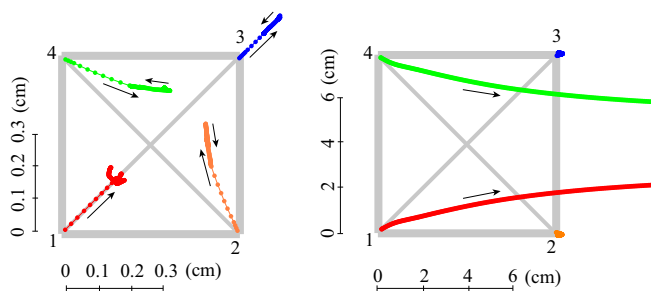
(a) Mode-A1 (b) Mode-B1

図-6 鉄塔の荷重－変位関係



(a) Mode-A1 (b) Mode-B1

図-7 基礎の鉛直変位の進展



(a) Mode-A1 (b) Mode-B1

図-8 基礎の水平変位の進展