

# 逆 T 型鉄塔基礎の引揚解析と支持力メカニズムの評価

東北大学 学生会員 ○阿部翼  
 東北大学 学生会員 中市翔也  
 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

送電系統が超高压送電時代になっている今日、数多くの大型化した送電線鉄塔が傾斜地盤や複雑な地盤といった厳しい条件下に建設されている。そのため支持力算定式に用いられている仮定が、実状のものと相違する場合があります、その結果危険な設計になったり、不経済な設計になる恐れがある。

合理的な設計のため、数値解析の利点を生かし様々な条件下での解析を行い引揚支持力と破壊メカニズムを評価する。本研究では使用する地盤構成モデルを変えることで地盤材料の降伏面の形状を変化させ、それが引揚支持力と破壊メカニズムに与える影響を検証した。

## 2. 解析手法

数値解析には、土の弾塑性 FEM 解析コードを使用した。地盤材料の構成式は、関連流れ則に伴い、また応力 3 不変量依存性を導入した拡張 Drucker-Prager モデルである。このモデルの降伏関数  $f$  および塑性ポテンシャル関数  $g$  の具体形を以下に示す。

$$f(p, q, \theta; \chi) := \zeta_f(\theta)q + \alpha p - (\sigma_{y0} - \chi(\xi)), \quad (1)$$

$$g(p, q, \theta; \chi) := \zeta_g(\theta)q + \beta p - (\sigma_{y0} - \chi(\xi)) \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_{y0}$  は初期降伏応力（定数）であり、材料の粘着力  $c$  と関連する。 $\chi(\xi)$  は等方硬化に関わる応力内部変数であり、ひずみ内部変数  $\xi$  と仕事共役である。 $\alpha, \beta$  はそれぞれ内部摩擦角  $\phi$  およびダイレイタンシー角  $\psi$  と関連する係数である。また、Lode 角依存性を表す関数を  $\zeta_f(\theta) := \zeta(\theta; \rho_f)$ ,  $\zeta_g(\theta) := \zeta(\theta; \rho_g)$  と定義している。定数  $\rho_1$  は限界応力比の三軸圧縮側・伸張側の比であり、これにより降伏面形状を図-1 のように変化させることができる。

## 3. 模型実験と数値解析の対比

既往の水平地盤模型を用いた逆 T 型基礎の引揚実験を参照する。基礎体は、60°の拡底角度を持つ円形床版部と円形断面を有するの柱体部から構成される。模型は、想定実寸法の 75 分の 1 で、使用した土は、まさ土（砂質土）である。用いた材料パラメータは根入れ深さ  $D = 5.40(m)$ 、

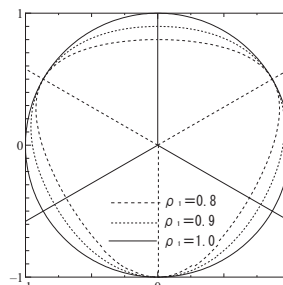


図-1 偏差応力面における本構成モデルの降伏面形状

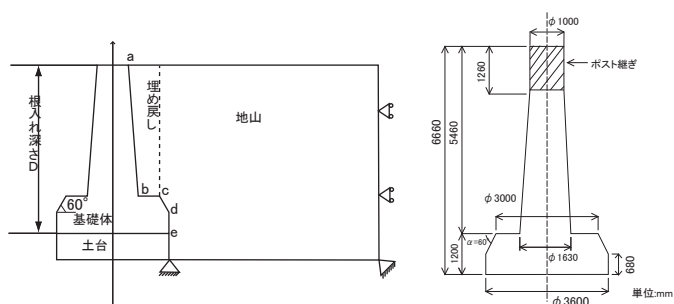


図-2 解析モデルの全体図と基礎の想定実寸法

含水比 17.4%，湿潤密度  $\rho = 1.604(g/cm^3)$ ，間隙比 0.963 である。

解析モデルは軸対称条件を仮定し、模型の基礎体および地盤の断面の 2 分の 1 を解析対象とした。図-2 に解析モデルの全体図と基礎の想定実寸法を示す。遠心模型実験では、基礎体直下に金属性の土台を設置していたが、解析では、実地盤での施工状況を考え、基礎体は地盤上にあると仮定した。引揚荷重は基礎体頂頭中央に作用させる。実験結果を見ると基礎体の床版部鉛直側面に接する地盤は、引揚時に出来る空洞部に崩れている。これより境界条件の設定は図-2 左の間 bcd を粗、区間 cd を剥離、区間 ab は水平方向のみを拘束する。地盤の自重による初期応力を考慮し、水平応力は鉛直応力に土圧係数を乗じた値を用いている。弾性構成式については等方変形に対する弾性モデルの応答として、引張側の大きな弾性体積ひずみが生じたときの限界等方応力を設けた。今回の解析に用いた材料定数を表-1 に表す。

アイソパラメトリック要素を用い、要素数 210 一次要素、二次要素、要素数 600 一次要素、二次要素の 4 種類のモデルを用いて解析を行った結果が図-3 である。これ

Keywords: Drucker-Prager モデル

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06, Phone: 022-795-7420

表-1 解析に用いた定数

質量密度 (原地盤)	16.1 kN/m <sup>3</sup>
質量密度 (埋戻し部)	14.8 kN/m <sup>3</sup>
体積弾性係数 $\kappa$	83.3 MPa
せん断弾性係数 $\mu$	38.5 MPa
粘着力 $c$	5.2 kPa
内部摩擦角 $\psi$	32.0°
ダイレイタンシー角 $\psi$	14.0°
初期降伏応力 $\sigma_{y0}$	10.7 kPa
限界応力比 $M_{TC}$	1.287
ダイレイタンシー係数 $\beta$	0.526

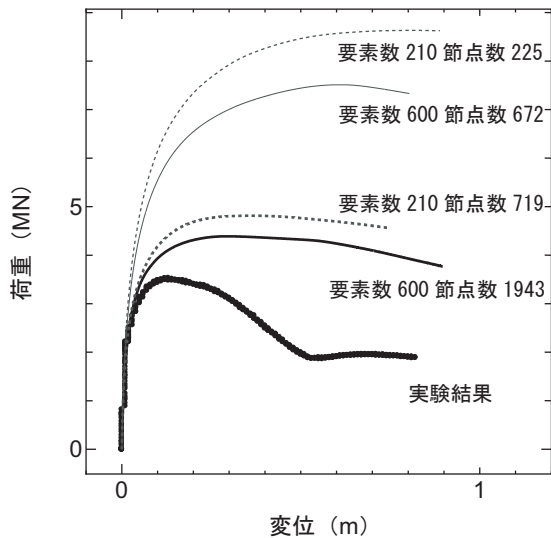


図-3 要素分割を変えた場合の荷重 - 変位関係

より二次要素を用いるとピークが早くあらわれ、要素数が大きいほうが太線の実験値に近づき解析精度が高くなることが確かめられた。

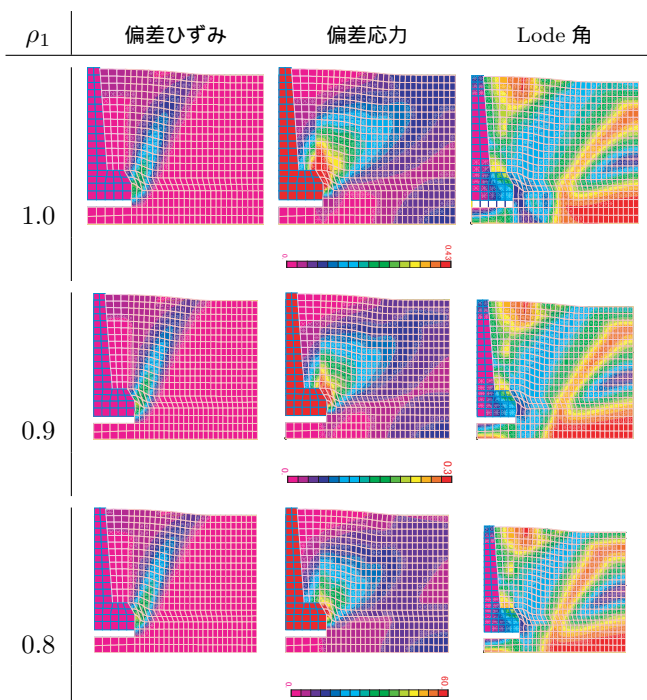


図-4  $\rho_1$  を変えた場合のコンター図

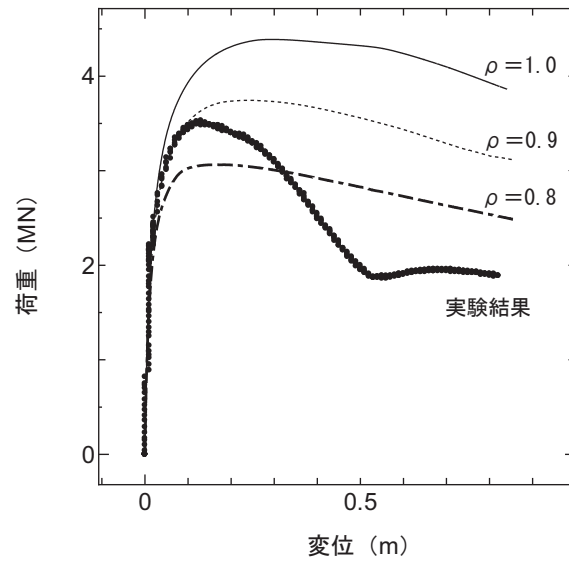


図-5  $\rho_1$  を変えた場合の荷重 - 変位関係

#### 4. 引揚支持力の発揮メカニズム評価

定数  $\rho_1$  を 0.8~1.0 まで変化させ、3章で解析精度が高かった要素数 600 二次要素モデルを用いて解析を行った。これは内部摩擦角  $\phi$  で 0°~19.5° の変化に相当する。

図-5 から  $\rho_1$  が小さいほど支持力は低下し、ピークを早く迎えることが確認された。この支持力低下の原因を図-4 を用いて考察する。基礎床版底部からすべり面は発生するが、Lode 角分布図を見ると三軸伸張側の領域にあるとわかる。偏差応力分布図では  $\rho_1$  が小さくなるにつれて偏差応力が小さくなっていることから、支持力が低下した原因が伸張側に限界応力が小さくなったからであると言える。また偏差ひずみ分布図を見てもすべり面に差は見られないことから、引揚支持力に対して地盤の三軸伸張側の強度は引揚支持力に対して支配的である。

#### 5. まとめ

本研究では地盤構成モデルに改良を加えることにより、地盤の三軸伸張側の強度が引揚支持力に大きく影響を及ぼすことを明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 松尾稔:地盤工学会信頼性設計の理念と実際, 技報堂 (1984)
- 2) 九州電技開発株式会社:鉄塔基礎引揚実験に関する報告書
- 3) 松尾稔:送電用鉄塔基礎の引揚抵抗力について, 土木学会論文集, 第 105 号, pp. 9-18 (1964)
- 4) 松尾稔, 新城俊也:粘性土中の基礎の引揚抵抗力に関する研究, 土木学会論文集, 第 137 号, pp.1-12 (1967)
- 5) 西岡弘文:三次元有限要素解析法による逆 T 型送電線鉄塔基礎の支持力検討, 長岡技術科学大学修士論文 (2005)