

Ⅲ-A433

地表傾斜と載荷方向を考慮した鉄塔基礎地盤の水平耐力

東京電力 正会員 広中 了 正会員 田邊 成
東電設計¹⁾ ○正会員 岡田浩士 正会員 高橋 秀明 正会員 松島 学

1. はじめに

近年、基幹送電設備は高圧化、大規模化が進んでおり、送電用鉄塔及び基礎も構造規模が大型化している。急峻な山岳地に建設することが多い大型鉄塔基礎（以下、深礎基礎）の設計では、最急勾配方向に最大水平荷重が生じるとした、安全側の配慮がなされている。本研究は地表傾斜と荷重方向の関係を考慮した合理的設計手法の基礎資料を得るため、ひずみ軟化を考慮した三次元弾塑性 FEM による数値解析を実施した。

2. 概要と解析条件

(1) 解析パラメータ

図-1 に示すように荷重の載荷方向は、斜面急勾配方向を零度と定義し、反時計回りに 90 度、135 度、180 度（山側方向）への載荷を行った。深礎基礎を模擬した躯体は、一般的な径 $D=2.5\text{m}$ 、長さ $L=10\text{m}$ とした。検討ケースを表-1 に示す。地表傾斜は 30 度と 50 度とし、載荷方法は、変位制御と荷重制御とした。数値解析の地盤物性値は、深礎基礎に対して標準的な岩種として均質な D 級岩を想定し、表-2 のように設定した。

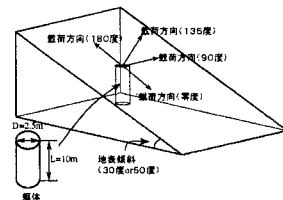


図-1 解析モデル（模式図）

表-1 検討ケース

地表傾斜	載荷方向	載荷方法	
		変位制御	荷重制御
30度	零度	○	—
◇	90度	○	○
◇	135度	○	○
◇	180度	○	—
50度	零度	○	—
◇	90度	○	○
◇	135度	○	○
◇	180度	○	—

表-2 地盤物性値一覧

物性名称	記号	物性値
標準貫入試験値	N	50
せん断波速度	Vs	200m/s
粘着力	C	19.6N/mm ²
内部摩擦角	ϕ	30°
単位体積重量	γ_t	1.7tf/m ³
ポアソン比	ν	0.35
せん断剛性	G	6,762N/mm ²
弾性係数	E	17,640N/mm ²

(2) 解析モデル

本研究では地盤の破壊基準として Mohr-Coulomb の条件を用いた¹⁾。強度定数 C 、 ϕ の内、岩盤の特性を考慮して、 ϕ は塑性化後も一定値とし、強度低下は図-2 に示すように粘着力 C と塑性せん断ひずみ γ_p の関係で表現した²⁾。基礎の躯体と地盤の接合部に微小荷重で引張破壊するボンド要素を設ける。躯体と地盤要素は圧縮・引張破壊基準を設け、同時開放型の引張破壊とした。地盤要素の引張強度は粘着力の半分（9.8N/mm²）とした。地盤と躯体及びボンド要素は、8 節点アイソパラメトリック要素、躯体の鉄筋は 2 節点トラス要素とし、コンクリートと剛結した。

3. 解析結果

(1) 載荷方向の影響

地表傾斜 30 度の荷重-変位曲線を図-3 に示す。載荷角度が大きくなると山側への載荷になるため耐力は増加し、載荷 135 度、180 度では荷重-変位関係にピークが見られない。このため載荷方向 135 度、180 度の最大耐力 P_u は、指針³⁾の終局耐力の定義を参考として、躯体径 2.5m の 10% 変位時（25cm）の耐力とした。図-4 に載荷方向別の最大耐力を示す。載荷角度に応じて最大耐力は指数関数的に大きくなるが、地表傾斜による違いは 1.0 倍から 1.5 倍程度である。図中に近似式を示す。載荷方向による耐力の違いを検討するための 1 例として、図-3 に矢印で示す荷重段階の載荷方向零度と 180 度の塑性状況を図-5, 6 に示す。同図では「□印」が塑性化領域を示し、躯体頭部より 3m の断面を示す。180 度方向載荷は、零度方向載荷と比較して塑性化領域が広がっていないため、耐力が大きいと考えられる。

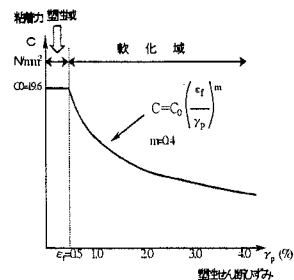


図-2 粘着力と塑性ひずみの関係

キーワード：地表傾斜，載荷方向，深礎基礎，ひずみ軟化，三次元弾塑性 FEM 解析

連絡先 1)：〒110-0014 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL03-5818-7790 FAX03-5818-7608

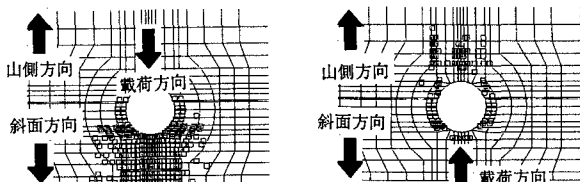


図-5 塑性図, 載荷方向零度, 荷重 8.5E+06N 図-6 塑性図, 載荷方向 180 度, 荷重 4.3E+07N

(2) 載荷方法の比較

図-7,8 に 135 度方向へ載荷した際の変位方向（荷重制御）と荷重方向（変位制御）を示す。図-7 の荷重制御は変形が斜面側へ載荷ステップごとに推移しており、最終載荷時の方向は 116 度, 104 度である。この場合、地表傾斜 50 度は 30 度より大きく変位している。図-8 の変位制御は、変位方向を常に 135 度方向に保つため、載荷方向はステップごとに山側へ推移し、最終載荷時の方向は 144 度と 150 度である。この場合、地表傾斜 50 度は変位方向を保つため、30 度よりも大きく山側へ載荷している。図-9,10 に 135 度方向へ載荷した際の荷重制御と変位制御の塑性化の違いを示す。荷重はどちらも 3.3E+07N である。荷重制御の塑性化域は斜面側へ推移している。変位制御では荷重制御と比較して山側への載荷があるため、耐力が大きく塑性化が進展していない。以上のように荷重制御では変位方向が斜面方向へ推移する。また、変位制御では荷重制御より山側への載荷が加わることで、耐力が大きくなると考えられる。これらのことは 90 度方向の載荷でも同様に確認できた。

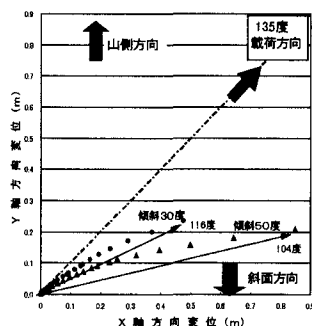


図-7 変位方向（荷重制御）

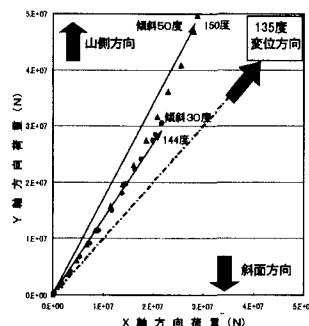


図-8 荷重方向（変位制御）

4. おわりに

ひずみ軟化を考慮した三次元弾塑性 FEM による数値解析の結果、地表傾斜と荷重方向の関係について以下のことを確認した。

- ・荷重制御は変位方向が載荷ステップごとに斜面方向へ推移し、変位制御は載荷方向がステップごとに山側へ推移する。このような制御方法による違いがシミュレーションできることを確認した。この場合、変位制御では荷重制御より山側への載荷が加わることで、耐力が大きくなると考えられる。
- ・地表傾斜 30 度, 50 度による最大耐力の違いは 1.0 倍から 1.5 倍程度であった。
- ・載荷角度が大きくなると耐力は増加し、その理由を塑性図により確認した。

参考文献；1）安雪暉他：Strain-softening Model of Soil for Finite Element Analysis, 土木学会第 13 回年次学術講演会, III-B427, 1998.10 2）佐藤博, 松島学, 高橋秀明：引揚力を受ける杭の荷重変形関係モデル, 構造工学論文集 Vol.44A, pp.1675～1684, 1998.3 3）杭の鉛直載荷試験方法・同解説, 地盤工学会, 平成 5 年

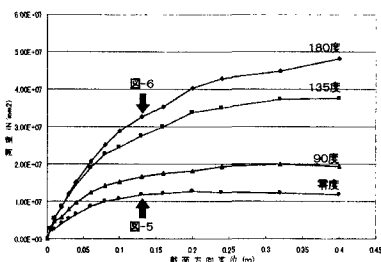


図-3 荷重-変位曲線（地表傾斜 30 度）

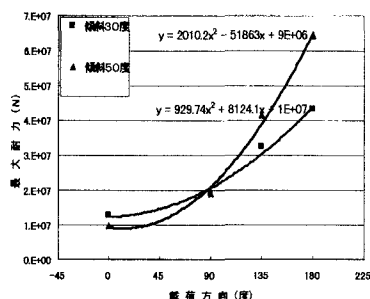


図-4 載荷方向別耐力比（載荷方向零度を基準）

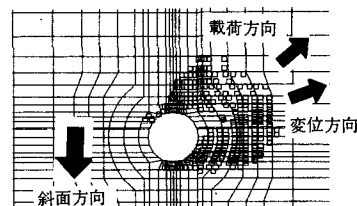


図-9 荷重制御にて 135 度方向載荷, 荷重 3.3E+07N

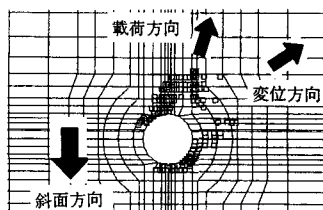


図-10 変位制御にて 135 度方向載荷, 荷重 3.3E+07N