

斜面近傍に位置する逆 T 字型鉄塔基礎の引揚支持力への 法肩近接および斜面傾斜角の影響

東北大学
 東北大学
 東北大学
 東北大学
 東北電力 (株)
 東北電力 (株)

正会員
 フェロー会員

○ 小泉陽彦
 戸田丈
 山川優樹
 池田清宏
 増田雅芳
 溝江弘樹

1. はじめに

現在幅広く採用されている逆 T 字型送電鉄塔基礎の引揚支持力算定式^{1),2)}は、主に水平地盤に設置された基礎を対象としている。一方、傾斜地盤などにおける支持力評価は、土被り重量を確保するために谷側最小根入れを確保する方法、土すい体重量を確保する方法、または各種経験的方法により行われている²⁾。これに対して、本研究では三次元弾塑性有限要素法を用いて、斜面近傍に位置する逆 T 字型基礎の引揚支持力評価を行った。基礎設置位置から法肩までの距離を変化させた検討を行い、その距離がある値を下回ると引揚支持力が急激に低下することを確認した。また、様々な斜面傾斜角について検討を行った結果、斜面傾斜角の増加に伴って引揚支持力が低下し、また、法肩からの距離が小さいほど斜面傾斜角の増加に伴う支持力低下程度が大きいことが分かった。

2. 有限要素解析手法と基礎・地盤の解析モデル

本研究で用いた有限要素解析コードは有限変形弾塑性理論に基づき、地盤の構成モデルに非関連流動則による弾塑性モデルを導入したものである。弾塑性モデルの弾性部分には、体積弾性係数とせん断弾性係数の圧力依存性を考慮に入れた超弾性モデルを用いた。これは Houslsby³⁾が微小変形理論の枠組みで提案した二不変量モデルをベースに対数主ひずみを用いて有限変形に拡張したもので、さらに引張応力にも適用できるように拡張したもの⁴⁾を用いている。降伏関数と塑性ポテンシャル関数は Drucker-Prager 型を基本とし、降伏関数にのみ Lode 角依存性を導入した。塑性硬化は考慮していない。

本研究では、東北電力株式会社で数多く用いられている逆 T 字型基礎 18-35 型を検討対象とする。基礎の概形と寸法を図-1 に示す。基礎は鉄筋コンクリート製と想定して弾性体としてモデル化した。検討対象として、斜面近傍に設置された基礎を考える。図-2 に水平地盤および傾斜地盤の解析モデル例を示す。対称性を仮定せず全領域解析を行ったが、同図は基礎体モデルを示すためスライスして示した。図中に基礎柱体部中心から法肩までの距離 d と斜面傾斜角 θ_i の定義を示す。地盤の弾塑性モデルの材料定数を表-1 に示す。この値はとくに実験などにに基づき定めたものではないが、基礎的検討に際し一般的と思われる値を設定したものである。地盤の初期応力については、地盤自重を物体力として作用させて鉛直応力を設定し、静止土圧係数 $K_0 = 0.5$ と仮定して水平応力を設定した。

適切な解析条件設定を行うため、水平地盤の引揚解析で予備検討を行った。まず、解析領域の設定について、基礎中心から解析領域縁端までの寸法を L とし、領域の水平方向寸法 $2L \times 2L$ のモデルで $L = 1 \sim 6$ m で解析を行った。図-3、図-4 に示す結果から、 L を 4 m 以上に設定すれば解析領域の影響はみられないことを確認したが、傾斜地盤で地盤変形状態が異なる可能性も考慮し、十分広い領域を取った $L = 6$ m のモデルを基本とする。次に、要素分割

表-1 地盤の材料定数

単位体積重量 γ	18.0 kN/m ³
弾性引張限界応力 p_i	$p_i = c \cot \phi$ から算定
基準の平均垂直応力 p_0	-100 kPa
弾性圧縮指数 $\bar{\kappa}^*$	0.0012
せん断弾性係数	
定数部分 μ_0^*	20.0 MPa
圧力依存性係数 α^e	200
粘着力 c	10.0 kPa
内部摩擦角 ϕ	30.0°
ダイレイタンシー角 ψ	20.0°
静止土圧係数 K_0	0.5

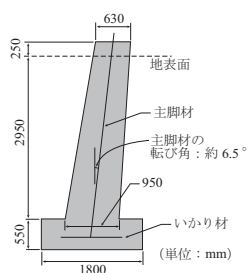


図-1 逆 T 字型基礎 18-35 型の概形と寸法

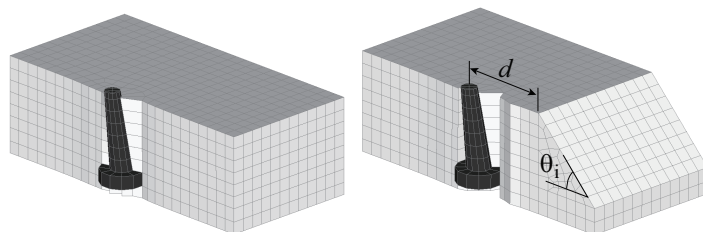


図-2 水平地盤および傾斜地盤 ($d = 3$ m, $\theta_i = 45^\circ$) の解析モデル例

Keywords: 送電鉄塔, 逆 T 字型基礎, 引揚支持力, 有限要素解析, 斜面近傍

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06, Phone: 022-795-7420, E-mail: koizumi@msd.civil.tohoku.ac.jp (Akihiko Koizumi)

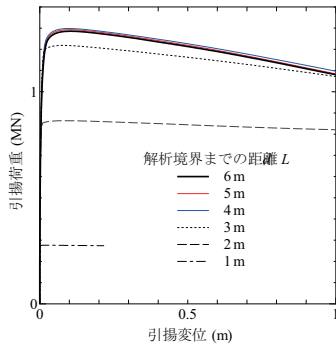


図-3 解析領域の設定による引揚変位-荷重関係の違い

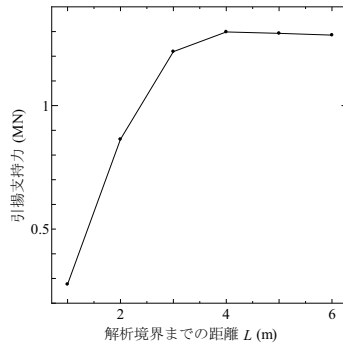


図-4 解析領域の設定による引揚荷重の最大値の違い

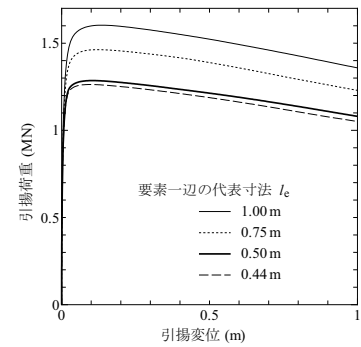


図-5 要素分割による引揚変位-荷重関係の違い

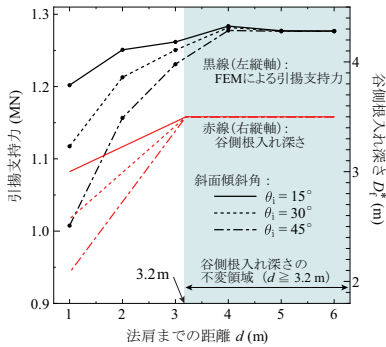


図-6 法肩までの距離 d と引揚支持力の関係

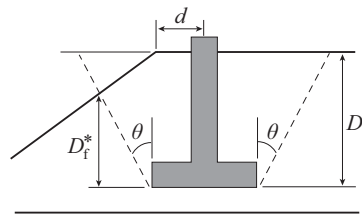


図-7 土すい体重量法を参考にした斜面近傍基礎の谷側根入れ深さの定義

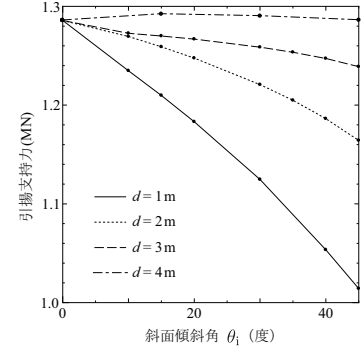


図-8 斜面傾斜角 θ_i と引揚支持力の関係

について、有限要素の一边の寸法 l_e がおよそ 1.00 m, 0.75 m, 0.50 m, 0.44 m の 4 ケースの解析を行った。解析結果を図-5 に示す。要素分割を細かくするほど小さい引揚荷重が得られたが、 $l_e = 0.50$ m, 0.44 m 程度まで細かい分割を行えば要素分割の影響は小さくなる傾向が確認されたため、以降では $l_e = 0.50$ m 程度の要素分割を行う。

3. 引揚支持力に対する法肩近接程度と斜面傾斜角の影響

様々な傾斜角 θ_i の斜面について法肩から基礎設置位置までの距離 d を変化させた解析を行い、斜面近傍に設置された鉄塔基礎の引揚支持力について検討する。

基礎設置位置から法肩までの距離 d を 1 m から 6 m まで変化させて解析を行った。斜面傾斜角の影響も調べるため、 $\theta_i = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ の 3 ケースを解析した。解析結果を図-6 に示す。斜面傾斜角 θ_i によらず、距離 d が 4 m 以上確保されていれば引揚支持力の低下は見られないが、4 m 未満になると引揚支持力は低下する。距離 d が小さいほど、また、斜面傾斜角 θ_i が大きいほど、引揚支持力の低下程度は大きい。同図には簡易な経験的手法として用いられる土すい体重量法に基づく谷側根入れ深さ D_f^* を右縦軸に取り、距離 d との関係も赤線で示した。ここでは、土すい体重量法による傾斜地盤での「谷側根入れ深さ」の考え方を参考に、斜面近傍基礎について

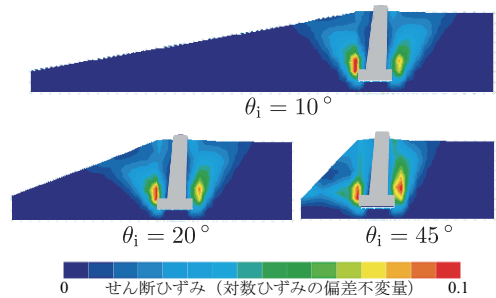


図-9 $d = 1$ m のときの地盤のひずみ分布

図-7 に示す D_f^* を「谷側根入れ深さ」とし、距離 d による D_f^* の変化を算定した。算定の際、引揚力に抵抗する土の有効角度は $\theta = 30^\circ$ (甲種地盤に相当) とした。この方法によると、 d が 3.2 m 以上であれば水平地盤と同等の D_f^* を確保できるが、3.2 m 未満になると D_f^* が減少し、引揚支持力の低下の可能性が考えられる。

斜面傾斜角 θ_i と引揚支持力との関係を図-8 に示す。 $d = 3$ m 以下では、 θ_i の増加に伴い支持力低下がみられ、また、 d が小さいほど支持力低下程度が大きい。 $d = 1$ m での地盤のひずみ分布を図-9 に示す。 $\theta_i = 10^\circ$ では谷側・山側にほぼ対称なひずみ分布であるが、 θ_i が大きくなると谷側のひずみ分布形に変化がみられ、 $\theta_i = 45^\circ$ では法尻に向かってほぼ水平方向に進展するひずみも顕著である。こうした地盤変形の変化が支持力低下の一因と考えられる。

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), 電気書院, 1979.
- 2) 送電用鉄塔基礎適用動向専門委員会: 送電用鉄塔基礎の設計, 「電気共同研究」, 第 58 巻, 第 3 号, 社団法人電気共同研究会, 2002.
- 3) Houslsby, G. T.: The use of a variable shear modulus in elastic-plastic models for clays, *Comput. Geotech.*, Vol. 1, pp. 3-13, 1985.
- 4) Yamakawa, Y., Hashiguchi, K. and Ikeda, K.: Implicit stress-update algorithm for isotropic Cam-clay model based on the subloading surface concept at finite strains, *Int. J. Plasticity*, Vol. 26, pp. 634-658, 2010.