

Ⅲ - B344

水平力を受ける斜面上の深礎基礎の3次元弾塑性FEM解析

東電設計 正会員 高橋 秀明

東電設計 正会員 安 雪暉

東電設計 正会員 松島 学

東京電力 吉井 幸雄

東京電力 正会員 河村 直明

1. はじめに

山岳地に建設される送電用鉄塔には深礎基礎が多く採用されている。東京電力では軟岩・土砂地盤を対象とした傾斜地盤における深礎杭の実規模載荷試験に基づき水平安定設計法を確立したり、筆者らは、地盤内に形成されるせん断帯の影響を取り込んだ有限要素(Smeared Crack Model)のひずみ軟化構成モデルをこれまでに提案した²⁾。本報告では、この構成モデルによる3次元弾塑性FEM解析を用いて、実規模載荷試験のシミュレーションを行い、実験結果と比較するとともに解析手法の適用性について検討した。

2. 解析モデル

今市地点の実規模載荷実験は、軟岩を対象として30°傾斜の一樣斜面で実施された。これを図-1に示す有限要素にモデル化した。地盤の降伏規準にはMohr-Coulombの破壊規準を用い、関連流れ則を適用した。地盤の材料定数は三軸試験の結果から表-1に示すように決定した。ただし、地盤の初期剛性に関しては、三軸試験の応力～ひずみ関係から決定した値には供試体端面のベディングエラーの影響が含まれると考えられるため³⁾、PS検層から得られたせん断弾性波速度 V_s の値を参考として弾性係数を設定した。この弾性係数の大きさは、三軸試験の弾性係数 E_{50} の4～5倍の大きさである。鉄筋コンクリートの躯体は、ひび割れの発生に伴う剛性の低下を考慮し、ひび割れ発生と同時に応力を開放し、引張強度の1.0%に残留させている。また、躯体と地盤の間の接触面には薄い接合要素を配置し、地盤への引張応力の伝達と躯体の抜け上がりの挙動を考慮できるようにした。

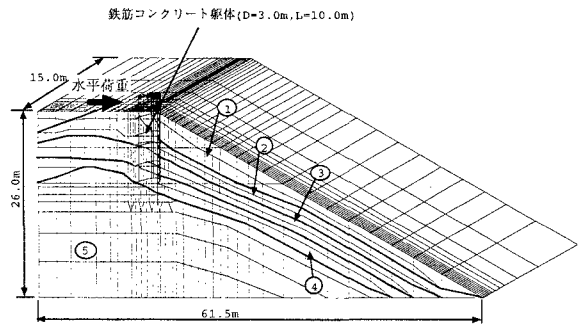


図-1 解析メッシュ分割図

表-1 解析に用いた地盤定数

地層	C (tf/m ²)	ϕ (deg)	γ (tf/m ³)	E (tf/m ²)
①	1.3	23.5	1.19	3,300
②	8.0	16.7	1.96	13,000
③	27.0	31.0	2.07	86,000
④	27.0	31.0	2.53	220,000
⑤	39.0	33.0	2.64	244,000
①ローム ②凝灰質粘土 ③凝灰角レキ岩(D級) ④凝灰角レキ岩(CL級) ⑤凝灰角レキ岩(CM級)				

3. 解析結果

載荷点での荷重～変位関係を実験結果とともに図-2に示す。解析における最大荷重は約900tfで、ピーク後は僅かに低下している。このようなピーク近傍での挙動は、地盤の構成則としてひずみ軟化特性を導入することで初めて表現することが可能となったものである。載荷実験では荷重が900tfを越えると変位が急激に進展したため、900tfを深礎基礎の極限荷重とした。この載荷実験の極限荷重は、本解析手法により比較的精度よく推定できている。

初期変形時における挙動は、 E_{50} よりも大きな弾性係数を採用したため、実験結果とよく整合している。

キーワード：深礎基礎、有限要素法、ひずみ軟化、スミヤードクラック

〒110 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL 03-5818-7575 FAX 03-5818-7585

〒100 東京都千代田区内幸町 1-1-3 TEL 03-3501-8111 FAX 03-3596-8546

また、解析における計算ステップ2では荷重～変位曲線の勾配が変化している。これは、躯体コンクリートに発生したひび割れによる影響が現れたものであり、躯体の剛性低下に伴う変位の増加によって生じたものである。

コンクリート躯体のひび割れ進行図を図-3に示す。計算ステップ2では躯体中心部から曲げによる引張ひびわれが発生し、その後全体に進展している。実験では躯体中心よりやや下方にひび割れ発生が確認されており、解析とはほぼ対応している。載荷実験の試験体は鉄筋比が通常よりも大きいため、荷重～変位関係には剛性低下の影響が顕著に現れていない。しかし、鉄筋比が小さい場合には、コンクリート躯体に発生する引張ひびわれの影響を考慮する必要があると考えられる。

次に、躯体の前面における土圧の分布を図-4に示す。躯体上部は地盤の塑性化の進行のため土圧の増加が見られず、水平力に対しては③層の軟岩層で抵抗している。土圧の分布性状は実験結果と解析値が良く一致している。土圧分布から推定される躯体の回転中心位置は、解析では底面から1.0～1.5mの位置にあると考えられ、実験とはほぼ対応している。土圧の大きさは解析値が実験結果よりも小さい結果となった。これは土圧の解析値がメッシュの大きさにより平均化された値であることが一つの原因と考えられる。

5. おわりに

地盤材料のひずみ軟化特性を簡単なパラメータにより定義した構成則²⁾とコンクリート躯体のひび割れの影響を考慮した3次元弾塑性FEM解析により、傾斜地盤上の深礎基礎の水平載荷実験をシミュレーションした結果、実験の挙動を比較的良好に表現できていることがわかった。

参考文献

- 1) 東京電力(株)深礎基礎の合理的設計法検討委員会:
深礎基礎の合理的設計法検討委員会報告書, 1983
- 2) 高橋, 安, 松島, 河村: 要素サイズの影響を考慮したスミヤードクラックモデルの適用に関する検討, 第32回地盤工学研究発表会講演集, 1997(投稿中)
- 3) 小幡, 山下, プラダン: 地盤材料の小ひずみでの非線形特性と地盤変形問題への適用, 土と基礎, vol45, No.2, 1997

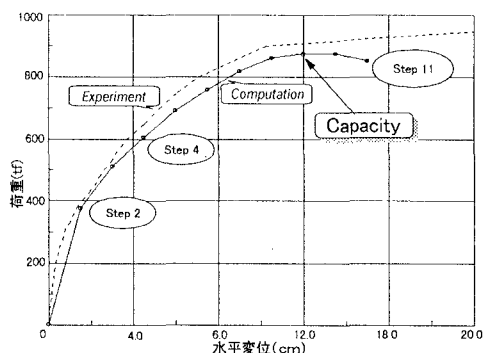


図-2 水平荷重～変位関係

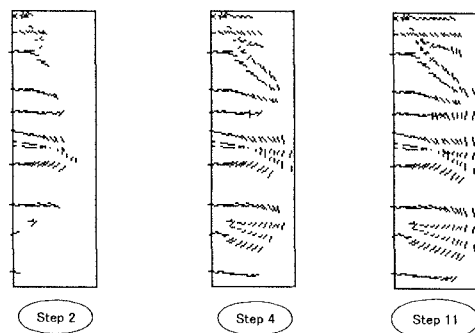


図-3 コンクリート躯体のひび割れ進行図

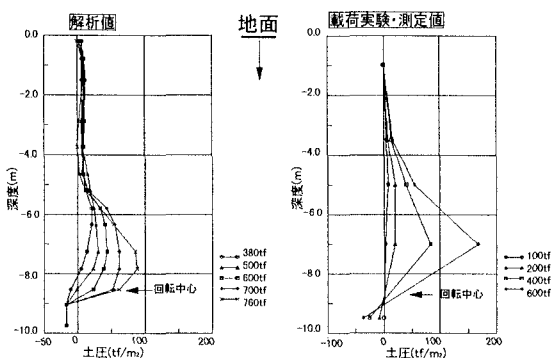


図-4 躯体正面土圧の鉛直方向分布