

排土杭を用いた群杭基礎の沈下挙動に関する数値解析的検討

摂南大学 正会員 ○寺本 俊太郎

1. はじめに

有限要素法等の数値解析手法における土の構成則の発展により、地盤構造物の挙動予測精度は大きく向上したと言える。しかし杭の沈下挙動においては、施工法により杭周辺地盤の応力状態や杭周面の摩擦抵抗が異なることから、依然として地盤定数のみから正確に予測することは難しい。特に本研究で対象とする Full Displacement Pile (以下 FDP) 等の排土杭では、施工時に杭孔を押し広げる事で周辺地盤の締固めによる拘束圧上昇効果が得られるため、この影響を適切に評価する必要がある。本研究では、FDP 施工時の杭孔を押し広げる過程を模擬した FEM 解析を実施し、現位置鉛直载荷試験の事前予測解析を行った。本稿では単杭の FDP の沈下挙動を試験結果と比較するとともに、FEM による群杭の場合における沈下挙動の検討についても報告する。

2. 数値解析条件

本解析には、3 次元弾塑性 FEM コード「DBLEAVES²⁾」を用いた。図 1 に群杭のケースの有限要素メッシュを示す。単杭では中央の杭 1 以外を除いて実施する。杭本数 13 本、直径 300 mm、杭長 9.5 m、 $EA = 1.8 \text{ GN}$ であり、解析上では弾性体の骨組梁モデル³⁾で表現した。地盤モデルには subloading t_{ij} model⁴⁾を用いており、入力パラメータの単位体積重量、ポアソン比、破壊時主応力比、圧縮指数、膨潤指数は、試験から得られた N 値、塑性指数 (粘土地盤)、土質区分を用いて Izuka & Ohta の方法⁵⁾によって推定し、16 層に個別の値を与えた。杭と地盤の間には弾完全塑性型 ($\tau_{\max} = c\delta + \sigma_n \tan \phi\delta$) のジョイント要素を配し、杭沈下に伴った杭周面の滑りの進行を表現した。入力パラメータは、 N 値より推定された内部摩擦角および粘着力から決定した。

FDP の施工には図 2(a)に示す機械を用いており、掘削機の突起の回転圧入により杭孔を側方に押し固める機構となっている。また杭先端部には、伸縮する鋼製球にグラウト注入し支持力を向上させる Expander Base (以下、EB) が施工されている。本解析対象の FDP では、元の掘削孔 220 mm (=シャフト先端径) を突起により 300 mm まで押し広げる施工となり、これを再現するために鉛直载荷前に施工解析を実施した。施工解析では、押し広げ前の杭孔を構成する全節点 (図 2(b)点線白丸) に対して、施工完了時の位置 (図 2(b)黒丸) まで強制変位を与えており、これによって施工による拘束圧上昇効果を再現する (図 2(c))。

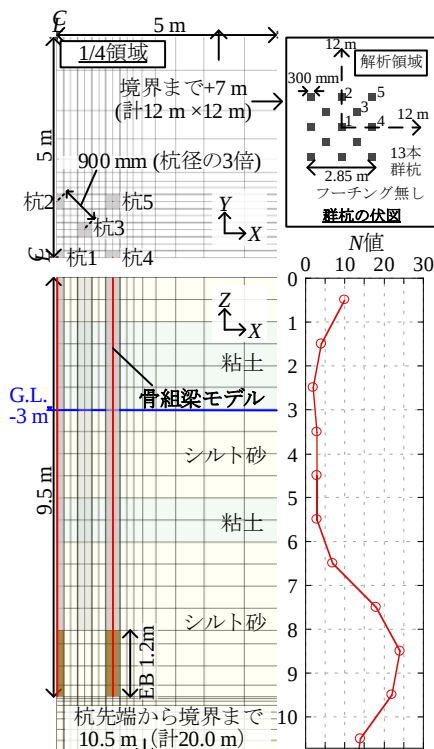
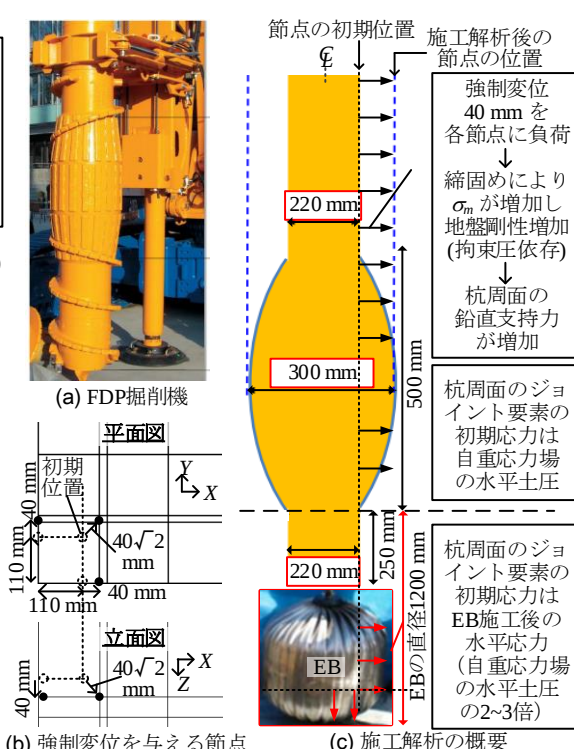
図 1 FEM メッシュおよび N 値分布

図 2 施工解析の概要

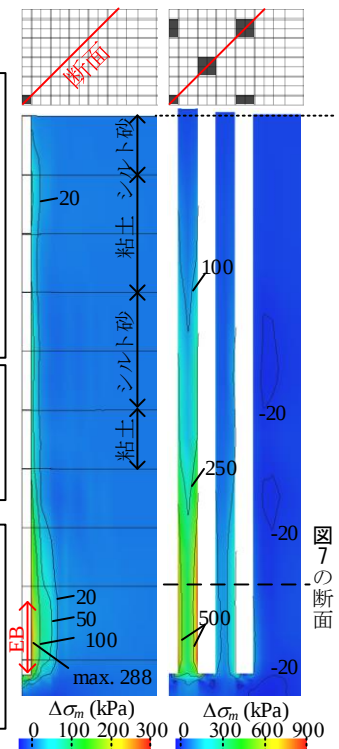


図 3 応力増分分布

キーワード 杭基礎, 群杭基礎, 排土杭, 有限要素法, 杭の鉛直支持力, Full Displacement Pile

連絡先 〒572-0074 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 摂南大学理工学部都市環境工学科 TEL 072-839-9126

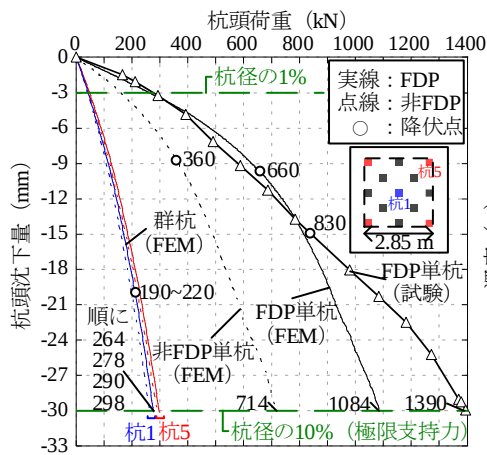


図4 荷重沈下曲線

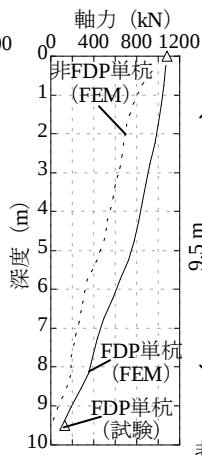


図5 軸力分布

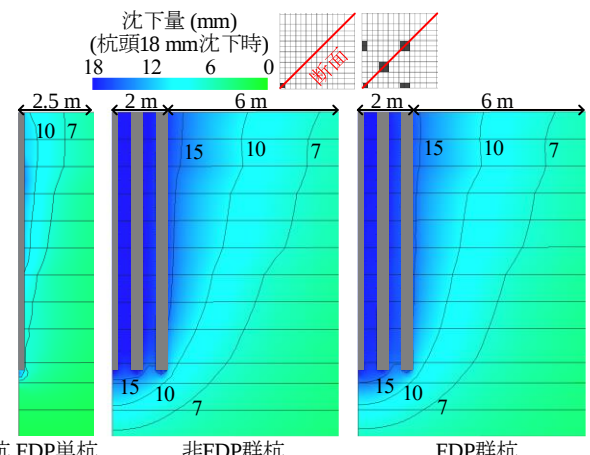


図6 載荷解析時の杭周辺地盤の沈下量分布

施工解析後の杭周辺地盤の平均主応力増分 $\Delta\sigma_m$ の分布を図3に示す。強制変位によって杭孔付近の σ_m が増加しており、特に群杭では群杭内部地盤で大きな応力増加が見られる。本解析の地盤モデルでは拘束圧と弾性係数が比例するため、これにより地盤剛性も増加する。載荷解析では、上記の施工解析で得られた応力場を用いて、載荷試験と同様に杭1本あたり2,000 kNの鉛直載荷を行う。

3. 解析結果

1) 単杭の予測解析 全ケースの荷重沈下曲線を図4に示す。降伏点(図4中○)は初期勾配と明確な変曲点後の勾配の交点、極限支持力は杭径の10%(30 mm)沈下時の荷重と定義する。施工解析を行わないケースである非FDP単杭(FEM)とFDP単杭(FEM)を比較すると、降伏点が1.9倍、極限支持力が1.5倍となり、FDP施工による支持力増加が確認された。EB施工を含まないFDPと非FDPの比較において降伏点・極限支持力ともに1.5倍という同試験場での既往の結果⁹⁾に対して、今回のEB施工を含むFDPの降伏点は1.9倍となっており、EB施工の影響も確認された。

単杭FDP(試験)と比較すると、単杭FDP(FEM)は降伏点で21%、極限支持力で23%低く評価している。ここで既往の同試験場での別試験の予測結果⁹⁾も同様に20~30%低く評価している事も踏まえると、これは地盤条件から地盤やジョイント要素のパラメータへの評価に要因があると予想されるが、この検討については今後の課題とする。つづいて、図5に単杭の軸力分布を示す。単杭FDP(FEM)の結果を見ると、試験同様にEBによる杭先端支持力の増加が見られ、試験結果の杭周面および杭先端の支持機構を精度良く表現できている。

2) 群杭の予測解析 群杭のケースは試験が実施されておらず、FEM結果についてのみ議論する。図4より、群杭においてはFDP施工による支持力増加が僅か5%程度となった。ここで、図6の地盤沈下量分布を見ると、非FDP群杭(FEM)において群杭内部地盤は杭頭沈下量の85%程度沈下(=土塊として挙動)しており、FDP施工が内側の杭(杭1, 3)の支持力増加に寄与していないと考えられる。また支持力増加が予想される外側の杭(杭2, 4, 5)についても、図7に示す施工解析時の応力増分分布から外側の杭の周辺地盤はFDP施工による応力増加が小さいとわかる。これは地盤変位分布に見られるように、外側の杭の周辺地盤が杭3の影響により流動するためと考えられる。以上は今回の杭中心間隔・配置・地盤条件での結果のため、今後様々な条件における定量的検討が必要であるが、群杭として用いられた排土杭は単杭の場合よりも排土杭施工による影響が小さいと言える。

4. まとめ

FDPの施工過程を模擬した有限要素解析を用いて、単杭の載荷試験の事前予測および群杭における挙動の違いについて調べた。

- 1) 単杭のFDPの荷重沈下曲線および軸力分布より、本解析手法はFDPの施工による影響を十分に表現できている。
- 2) 内側の杭は群杭内部地盤が土塊となって沈下し、一方で外側の杭は内側の杭の施工時の地盤の流動により応力増加があまり見込めないことから、排土杭を群杭として用いる場合は排土杭の施工による支持力増加は単杭と比較して小さくなる。

参考文献 1) 庄村ら：排土杭におけるセットアップ時の押し広げによる周面摩擦改善効果に関する検討，土木学会西部支部研究発表会概要集，pp.557-558，2008. 2) Ye et al.: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, S & F, Vol.47, No.3, pp.547-558, 2007. 3) 段野ら：杭基礎の長期沈下挙動に対する群杭効果の影響，地盤工学ジャーナル Vol.5, No.2, pp.181-191, 2010. 4) Nakai et al.: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, S & F, Vol.44, No.2, pp.53-70, 2004. 5) Iizuka et al.: A Determination Procedure of Input Parameters in Elasto-Viscoplastic Finite Element Analysis, Soils and Foundations, Vol. 27, No.3, pp.71-87, 1987. 6) 寺本：有限要素法を用いた排土杭の沈下挙動予測解析，第53回地盤工学研究発表会講演概要集，2018.

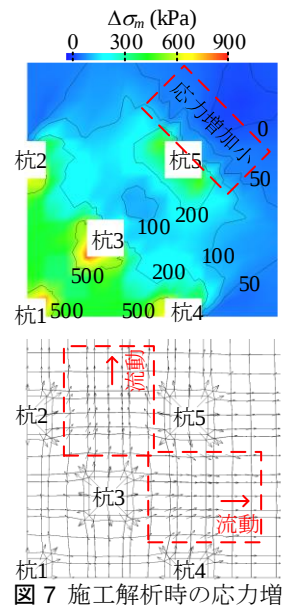


図7 施工解析時の応力増分・地盤変位分布