

杭の水平抵抗メカニズムに関する可視化実験とその数値解析

防衛大学校 学 ○羽石圭吾

正 野々山栄人 宮田喜壽

1. はじめに

著者らは、杭の水平抵抗メカニズム解明を目的に、透明土を用いた可視化実験を実施している¹⁾。本研究では、三次元有限要素法を用いて、可視化実験の解析を試みた。本文ではその概要を報告する。

2. 数値解析の概要と再現の対象

複雑な土の力学挙動を再現するために数多くの構成モデルが提案されている。本研究では、線形弾性モデル、非線形弾性モデル、応力ひずみダイレイタンス特性をうまく表現できる下負荷面モデル²⁾の3種類を用いて、透明土の材料特性をモデル化した。透明土の模型実験を再現するための材料パラメータ（線形弾性モデル：ヤング率 ν ，ポアソン比 ν ，非線形弾性モデル： ν ，膨潤線の勾配 γ ，弾塑性モデル： ν ， γ ，内部摩擦角 ϕ ，正規圧密線の勾配 ρ ，硬化関数の初期値 F_0 ，回転硬化の発展に関するパラメータ b_r ，回転硬化限界角 ϕ_b ，正規降伏面に対する下負荷面の相似比 R の発展則パラメータ u ）を決定するために、透明粒子（ $\rho_s=2.214\text{g/cm}^3$ ， $D_{50}=1.0\text{mm}$ ， $e_{\max}=1.018$ ， $e_{\min}=0.707$ ）を用いて実施した排水三軸圧縮試験（相対密度：80%，拘束圧：50, 75, 100kPa）の再現計算を行った（図-1）。次に、得られたパラメータを用いて杭の水平載荷実験（図-2）の解析を行った。実験は、外径 $B=10\text{mm}$ ，肉厚 $t=1\text{mm}$ （ケース1）， 0.5mm （ケース2）の中空のアルミ製パイプを模型杭として、杭の下端は固定し、杭頭を 1mm/min の変位制御方式で載荷した。模型杭およびその周辺地盤の様子を可視化するために、着色した石英ガラスをトレーサーとして、図-3に示すように積層に配置した。曲げ剛性の異なるケース1とケース2の実験で得られた水平荷重－水平変位関係を図-4に示す。透明土の解析パラメータは三軸試験の再現計算で決定した値を基本とした。初期応力は、鉛直応力は土被り圧，水平方向はそれに静止土圧係数をかけたものとした。解析に用いた解析モデル（地盤：六面体要素，杭：ビーム要素，9,262節点，7,781要素）を図-5に示す。杭形状をビーム要素で模擬したために、ビーム要素の周りに24角柱の空洞を設け、杭の変形に伴う地盤の変位をより实际的に表現できるようにモデル化した。

3. 結果と考察

結果より、杭および地盤の三次元挙動を可視化した。杭頭変位 20mm の時の載荷断面における杭および地盤の変位分布を図-6(a)に示す。杭頭に水平変位を作用させることで、地盤浅層部は斜め上方向に変位し、深度が深くなるにつれて、土被りの関係で小さくなることが分かる。次に、弾性モデル，非線形弾性モデル，弾塑性モデルを用いて計算結果を図-6(b)～(d)に示す。弾塑性モデルでは、地盤の動きを最もうまく再現できている。

4. まとめ

三軸試験の再現計算より求めたパラメータを用いて、水平変位を受ける杭の地盤内の変形挙動を解析した。今後は、解析精度の改善と、他の実験ケースについても計算を行っていく予定である。

参考文献

1) 福本一真，井口陸，野々山栄人，宮田喜壽：透明土を用いた単杭の水平抵抗メカニズムの可視化実験，第47回土木学会関東支部技術研究発表会，講演概要集（CD-ROM），Ⅲ－15，2020.，2) Hashiguchi, K. Elastoplasticity Theory, second Edition, Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics 69, Springer, 2014.

謝辞：本研究は科学研究費補助金(21K04266)による助成を受け実施したものであり，ここに謝意を表します。

キーワード 杭，水平載荷，FEM

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 防衛大学校 TEL：046-841-3810 E-mail：nonoyama@nda.ac.jp

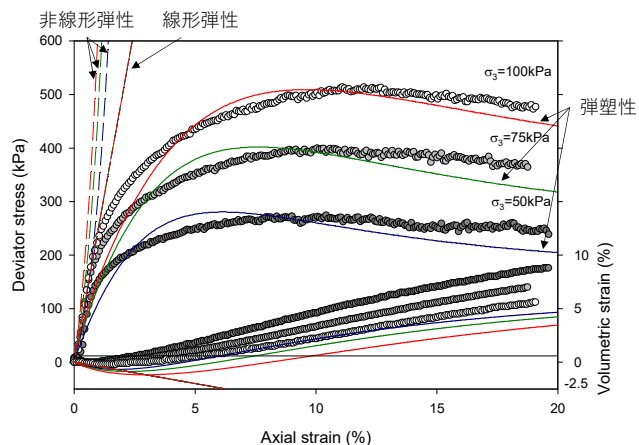


図-1 透明土の排水三軸試験結果と解析

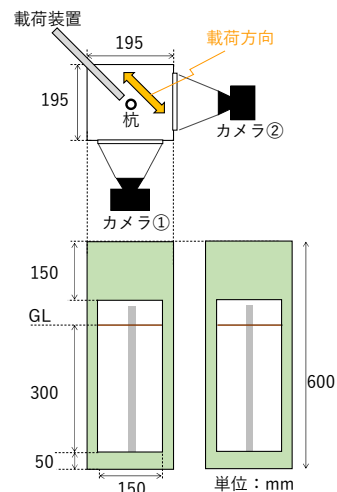


図-2 透明土を用いた模型実験の概要

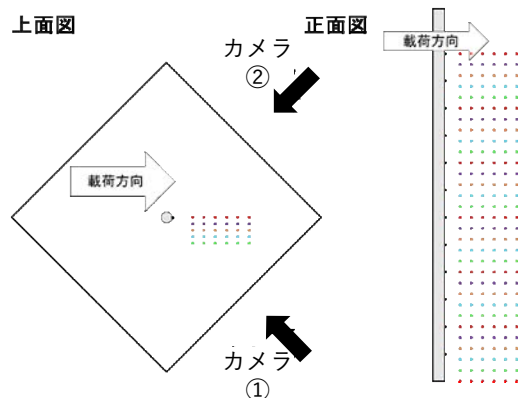


図-3 トレーサー粒子の配置

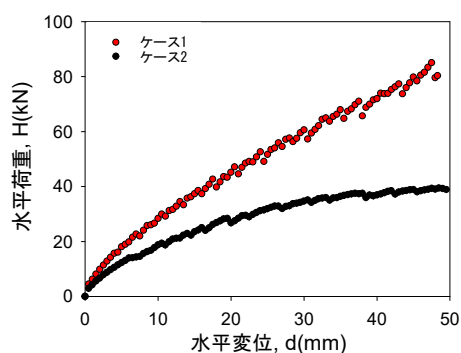


図-4 水平荷重－水平変位関係

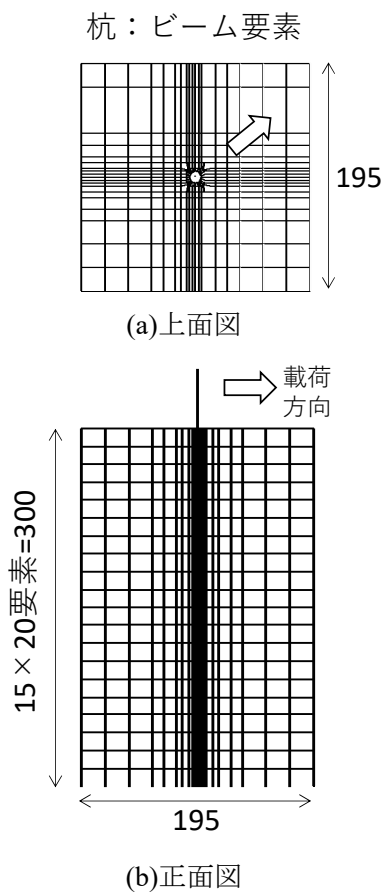


図-5 解析モデル

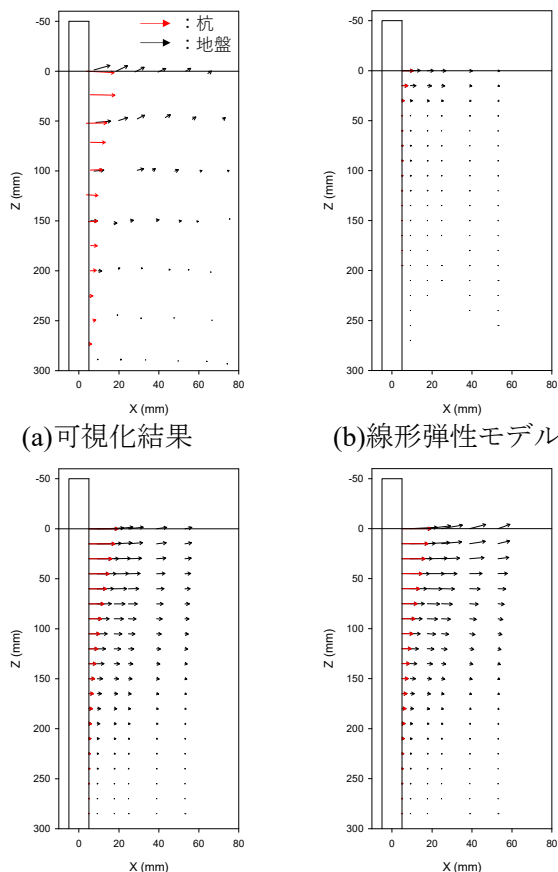


図-6 荷重断面における地盤と杭の変位分布