

## 杭-地盤系の三次元有限要素モデルと透明土実験による検証

防衛大学校 正会員 ○野々山栄人  
 正会員 宮田 喜壽  
 東京工業大学 正会員 高橋 章浩

## 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<sup>1)</sup>。本研究では、透明土実験データを用いて、非線形三次元有限要素法の解析モデルの妥当性について検証を行った。本文ではその概要を報告する。

## 2. 数値解析の概要

本解析では、土の応力ひずみ関係は下負荷面モデル<sup>2)</sup>で表されると仮定し、4種類の相互作用モデルの妥当性について検討した。モデルの検証には、図-1に示す透明土を用いた可視化実験の結果を用いた。この実験で用いた透明土の排水三軸圧縮試験（相対密度：80%，拘束圧：50, 75, 100kPa）の結果を図-2に示す。今回の検討では、地盤は六面体のソリッド要素、杭はビーム要素でモデル化することとし、4種類の相互作用モデルについて検証した。解析ケースを図-3に示す。各解析モデルの概要は以下のとおり。

解析モデル1：杭と地盤間に相互作用要素を配置しないモデル。

解析モデル2：杭を表すビーム要素の周りに杭形状を模擬するために24角柱の空洞を設け、同一平面上のビーム要素とその周辺のソリッド要素の節点を剛結させるモデル。

解析モデル3：モデル2の修正版で、ビーム要素と杭直近のソリッド要素を、地盤と等価な剛性を有するトラス要素で連結させるモデル<sup>3)</sup>。

解析モデル4：モデル3の修正版で、杭直近のソリッド要素の剛性と、杭と杭直近のソリッド要素を連結するトラス要素の剛性を逆解析で算定するモデル

透明土の模型実験を再現するための材料パラメータ（圧縮指数 $\rho$ ，膨潤指数 $\gamma$ ，内部摩擦角 $\phi$ ，正規降伏面の初期値 $F_0$ ，ポアソン比 $\nu$ ，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 $u$ ）は、図-2に示す三軸圧縮試験の結果を再現できるものを基準値とした。解析モデル4では、その値をもとに土のパラメータ $F_0$ と相互作用要素の等価剛性を逆解析で決定した。

## 3. 結果と考察

模型実験および各解析モデルで得られた水平荷重と水平変位関係を図-4に示す。解析モデル1から解析モデル3では実験で観察された荷重を過大に評価したが、解析モデル4では実験結果とほぼ一致する結果が得られた。なお、解析モデル1から解析モデル3では、逆解析を行っても合理的な解を得ることが出来なかったことを付記する。杭頭変位20mmの時のX-Y断面および載荷断面（X-Z断面）、載荷断面に直交する断面（Y-Z断面）での地盤内部の三次元変位分布を図-5に示す。解析モデル4を用いることで、荷重変位関係だけでなく、地盤内部の変位をうまく再現できる結果が得られた。

## 4. まとめ

土の応力ひずみ関係の非線形性を考慮できる構成則モデルと、ビーム・トラス・ソリッド要素を組み合わせた相互作用モデルを用いることで、杭および周辺地盤の挙動をうまく再現できる。

キーワード 杭，有限要素法，相互作用，透明土

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

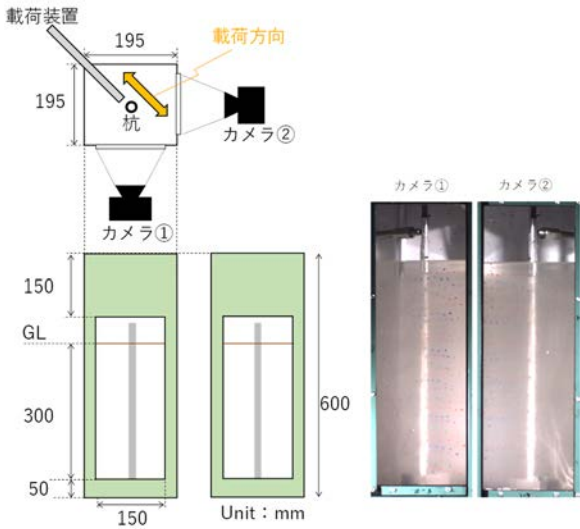


図-1 模型実験の概要と透明地盤の様子

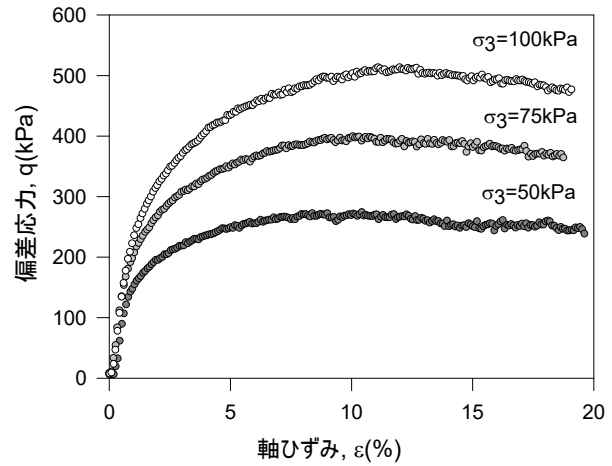


図-2 透明土の排水三軸試験結果

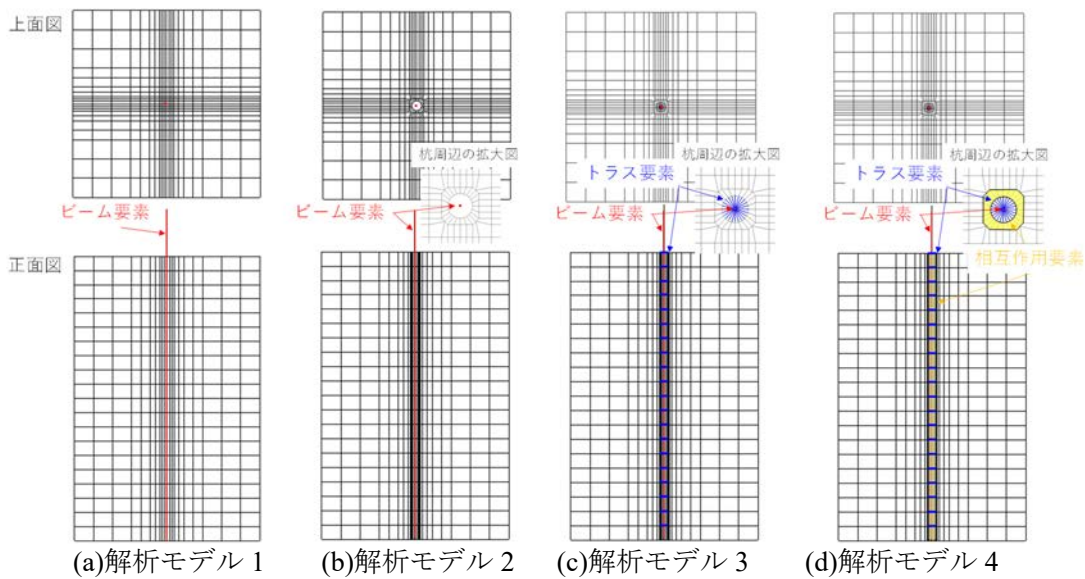


図-3 解析モデル

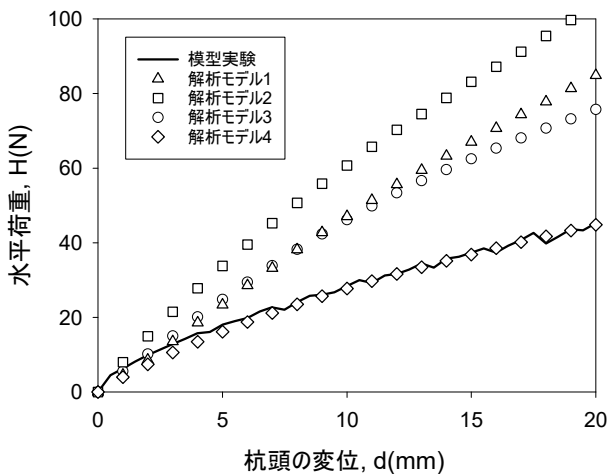


図-4 水平荷重-水平変位関係

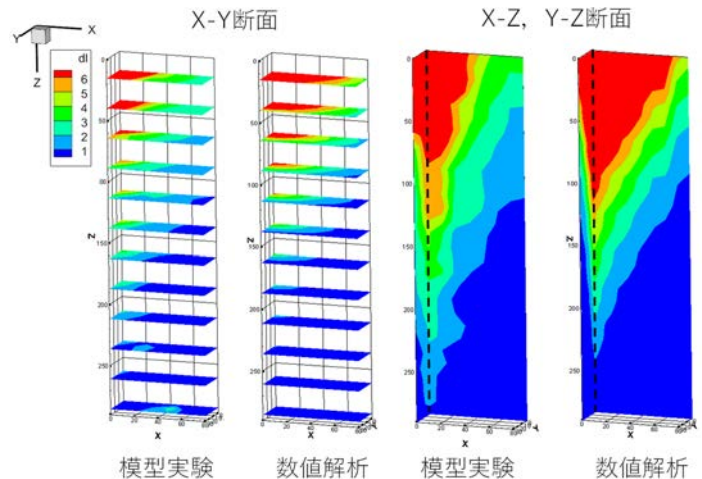


図-5 地盤内部の三次元変位分布 (解析モデル 4)

**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., 3) Takahashi, A.: Soil-pile interaction in liquefaction-induced lateral spreading soils, 東京工業大学学位論文, 2002.

**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.