

杭体の塑性化を考慮した地盤改良併用型杭の曲げ変形挙動の検討

武蔵工業大学 学 野口晴央 高橋辰也 荒井郁岳
正 末政直晃 片田敏行

1.はじめに

近年、地盤改良体に芯材として鋼管やH鋼を挿入した地盤改良併用型杭が開発され、広く実用に供されている。この杭は地盤改良によって杭周辺地盤の強度および剛性が増加するため、地盤改良体を有しない杭に比べて鉛直支持力、水平支持力が大幅に改善される。しかしながら、比較的新しい工法であるため、地盤改良体の塑性後の挙動は十分には明らかにされていないのが現状である。

そこで本研究では、性能設計法を見越して杭の終局状態まで着目し、地盤改良併用型杭の弾塑性挙動を定量的に評価することを目的とする。本報告では、遠心場において実施した杭の水平載荷実験¹⁾に対して、深度方向に断面を分割してファイバーモデルによる解析を行い、杭体の剛性低下を考慮した曲げモーメント分布の算出方法について検討した。また、スプライン関数を用いて解析結果を補間することで、曲げモーメント分布から地盤反力分布を算出する方法について検討した。

2.解析概要

図-1に解析概要を示す。ファイバーモデル²⁾とは、異なる部材からなる複合体を別々に考慮することで、非線形な曲げ剛性の挙動を評価できる曲げ変形解析である。計算方法としては、断面を中立軸に平行になるように層状に分割した後、圧縮縁ひずみを与える。ここで中立軸位置を仮定し、ひずみは直線的に分布する(平面保持の法則)としてひずみ分布を算出する。各部材の構成則より応力・合力を求め、算出された外力と内力がつり合うように収束計算によって中立軸位置を決定する。そして、各要素に作用する合力と合力作用位置から曲げモーメント M を、圧縮縁ひずみと中立軸位置から曲率 κ を算出する。図-2、図-3に本解析で用いた芯材と改良体の構成則をそれぞれ示す。芯材は未改良杭、改良体は改良杭の曲げ載荷試験結果と一致するようにそれぞれ構成則を設定した。

解析は水平載荷試験において、杭頭での水平変位が2mmと7mmに達した時の2ケースを対象とした。解析手順は、所定の杭頭変位が生じた時のひずみ分布を実験結果より求めて、計測されたひずみに対応する曲げモーメントをファイバーモデルの $M-\kappa$ 関係より算出した。ここで、ファイバーモデルの解析結果は離散データであるため、計測されたひずみの値とファイバーモデルの $M-\kappa$ 関係が一致しない点が生じる。このためデータ点を通り、一次導関数を連続に補間できるスプライン関数³⁾を用いて曲げモーメントの補間データを

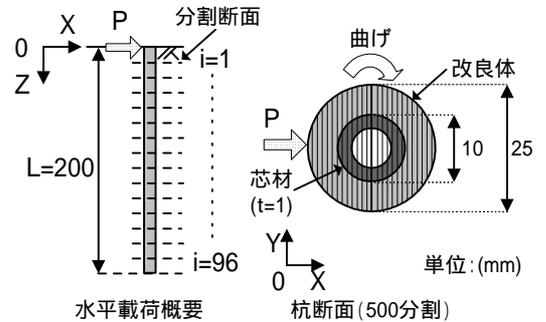


図-1 解析概要

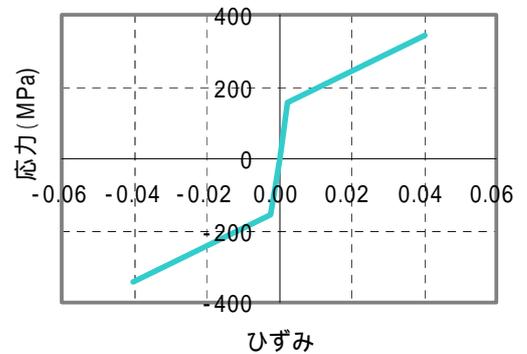


図-2 芯材構成則

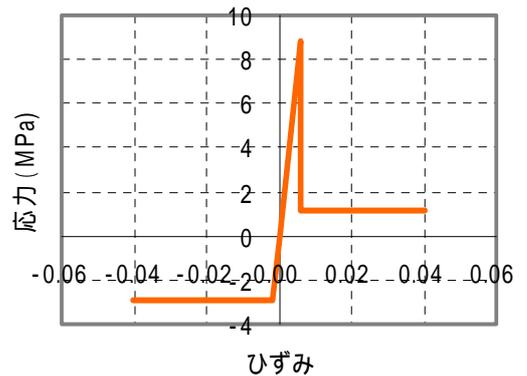


図-3 改良体構成則

キーワード 杭基礎、遠心模型実験、ファイバーモデル

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 TEL & FAX 03-5707-2202

作成した．スプライン関数は区分的多項式の一つで，各データ間を異なる関数形で近似することができる．本解析では3次のスプライン関数を用いて，区間毎に24点の補間データを求めることでファイバーモデルのM- 関係を補間した．

3.解析結果

図-4に改良杭の曲げ荷重試験結果と，ファイバーモデルより求めた M- 関係を示す．実験値と解析値を比較すると，初期の段階から降伏点まで，ほぼ一致していることがわかる．また，降伏後の挙動を見ると，解析値でも塑性後の曲げ耐力の低下を再現できていることが確認できる．このことから，ファイバーモデルを用いることで模型杭の M- 関係について評価できたと考えられる．

図-5に曲げモーメントの深度分布¹⁾を示す．解析値は，ひずみの計測点ではファイバーモデルで求めた値，それ以外の区間ではスプライン関数で計測点間を補間した値を用いている．図より，解析値の分布形状について見ると，深い部分では曲げモーメントが0になるはずが，変位2mm，7mmともに大きくなっているのがわかる．これは，補間データを作成する際に用いた計測点の間隔が広すぎたため，関数の形状としてふくらみが増したことが原因と考えられる．実験値と解析値を比較すると，変位2mmでは実験値と解析値はほぼ一致している．一方，変位7mmの場合は，実験値は曲げ剛性を一定として計算しているため，降伏曲げモーメント以降も値が増加し続けているが，解析値は降伏曲げモーメントに達した後に耐力が低下しているのがわかる．

図-6に地盤反力の深度分布を示す．地盤反力は，3次のスプライン関数で補間した曲げモーメント分布を2階微分することで算出した．図より，実験では一方向に水平荷重したにも関わらず，変位2mm，7mmともにマイナスの地盤反力が生じているのがわかる．これは分布形状の局所的な曲がりやが影響して，微分過程で解析の精度が落ちたと考えられる．この解析結果は実際の現象とは異なっていると思われるため，今後はひずみの計測点を増やすなどして，さらに検討していく必要がある．

4.まとめ

- ・杭の水平荷重実験に対してファイバーモデルを適用した結果，曲げモーメント分布は降伏後に耐力が低下した．
- ・スプライン関数を用いて曲げモーメント分布を近似した結果，解析値の分布形状は深い部分で曲げモーメントが大きくなった．
- ・曲げモーメントを2階微分して求めた地盤反力分布は，実際とは異なる分布形状を示した．

<参考文献> 1)高橋ら：遠心場における地盤改良併用型杭の水平荷重実験，第35回土木学会関東支部技術研究発表会，2007（投稿中）．2)福島ら：地盤改良併用型杭の曲げ変形特性について，土木学会第61回年次学術講演会講演概要集，pp765-766，2006．3)水島ら：理工学のための数値計算法，数理工学社，pp24-31，2002．

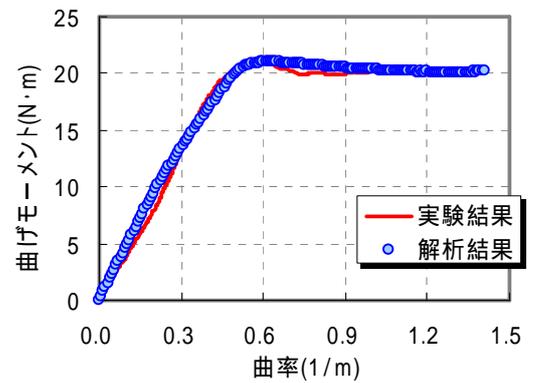


図-4 曲げモーメント-曲率関係

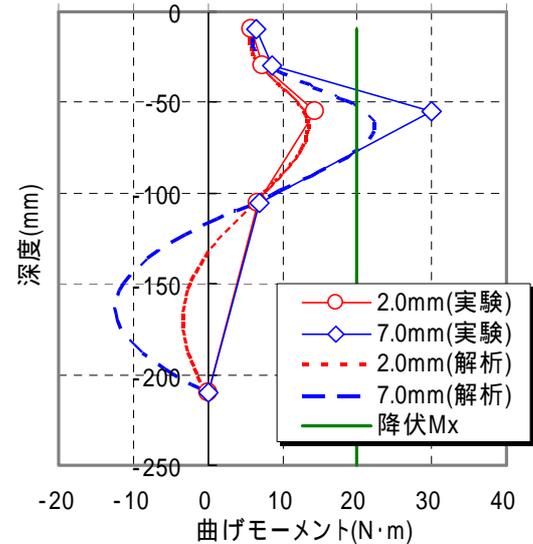


図-5 曲げモーメントの深度分布

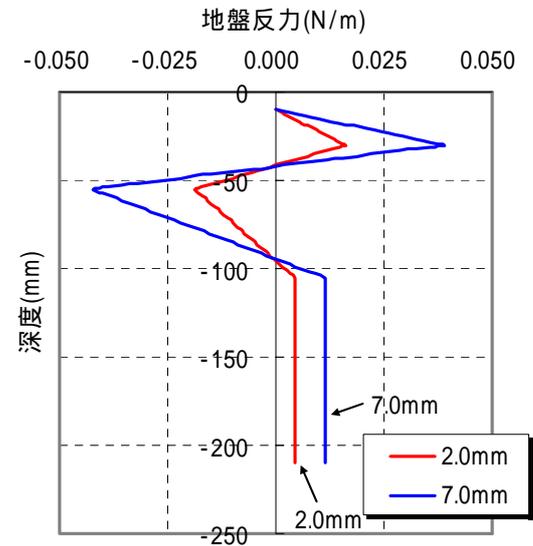


図-6 地盤反力の深度分布