

杭の地盤反力-変位関係の推定と推定方法の検証

愛媛大学工学部 正会員 森 伸一郎
愛媛大学大学院 学生会員 込山 貴士

1. はじめに

地震時における杭の挙動を把握するには、杭の水平地盤反力特性を明らかにすることが必要である。異なる深さにおける水平地盤反力特性に関する研究では、直接土圧を測定するという方法もあるが、測定の簡便さから、曲げひずみ測定による弾性梁の基本方程式に基づく推定が多用されている。本研究では、静的な杭頭水平載荷試験を行い、後者の推定法により、水平地盤反力と杭の水平変位の推定を行った¹⁾。さらに、土圧計を用いて、杭周面土圧を測定することにより推定された水平地盤反力を測定土圧値の比較から推定方法を検証した。

2. 実験方法

実施した模型実験は、乾燥砂地盤中に設置した杭先端固定、頭部自由条件の単杭の杭頭部に対し、水平力を静的に繰り返し載荷するものである。図-1に実験装置を示す。模型地盤は、表乾状態の豊浦砂(詳しくは参考文献 1)を参照)を用い、空中落下法により相対密度 $Dr=70\%$ を目標とした模型地盤を作成した。模型杭は、外径 2.1 cm、内径 1.81 cm、長さ 50 cm(埋設長さ 30 cm)、ヤング係数 $E=3.22 \times 10^6$ kPa の中空アクリルパイプを用いた。測定項目は、杭の曲げひずみ、杭頭変位と土圧である。ひずみゲージを杭の前後面に地表面から 3 cm 間隔で 10 断面に貼付して、曲げひずみを測定した。図-2 に土圧計を埋め込んだ杭断面を示す。深さ 11 cm、17 cm の杭の 2 断面に土圧計を杭の前後面に 1 対 2 個で計 4 個埋め込んだ。杭は、周辺地盤全体から反力を受けている。杭全体に作用する地盤反力を求めるために、前後面の測定土圧値の差をとった。杭頭の載荷荷重は、1 方向載荷を前回¹⁾²⁾ 行ったので、 $P=1.96, 3.92, 5.88, 7.84, 9.80, 11.76, 15.68$ N の 7 段階で正負 1 サイクルの繰り返し載荷とした。

杭の水平地盤反力の推定方法について述べる。測定された杭の曲げひずみに杭材料の曲げ剛性(EI)を乗じて曲げモーメントに変換する。それを 5 次多項式で近似する。弾性梁の基本方程式に基づき曲げモーメントを 2 回微分して水平地盤反力を、2 回積分して杭の水平変位をそれぞれ推定する。2 回積分して得られるのは、杭に作用する分布荷重である。その分布荷重を杭幅で除することにより地盤反力を得る。積分の境界条件として、杭先端固定条件から杭先端の変位と傾斜角を 0 とした。

3. 実験結果

1 サイクルの繰り返しを行ったが、正側載荷除荷時についての図を示す。実線は載荷時、破線は除荷時を指す。載荷荷重は載荷時 $P=5.88, 9.80, 15.68$ N、除荷時 $P=9.80, 5.88, 0.0$ N を示す。図-3 に測定曲げひずみと近似曲線を示す。この図から、曲げひずみは、載荷時では深さ 5cm で最大となる。除荷時では、深い所ほどひずみが戻る割合が小さく、分布の最大となる深さは次第に深くなる。図-4 に推定された杭の水平変位を示す。この図から、除荷時の初期の段階でほとんど杭は戻らないことがわかる。図-5 に推定された水平地盤反力を示す。この図から、地盤は荷重

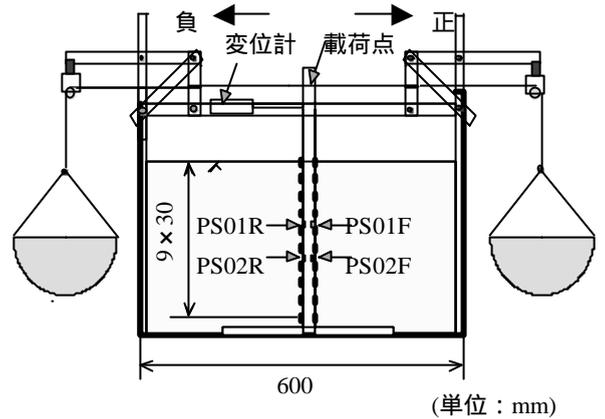


図-1 静的な杭頭載荷実験に用いた実験装置

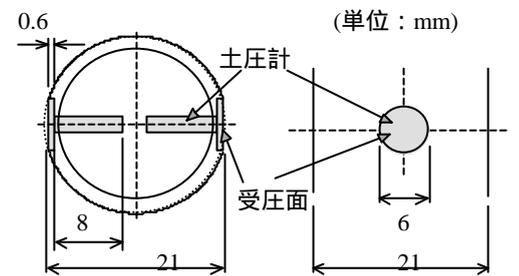


図-2 土圧計を埋め込んだ杭断面

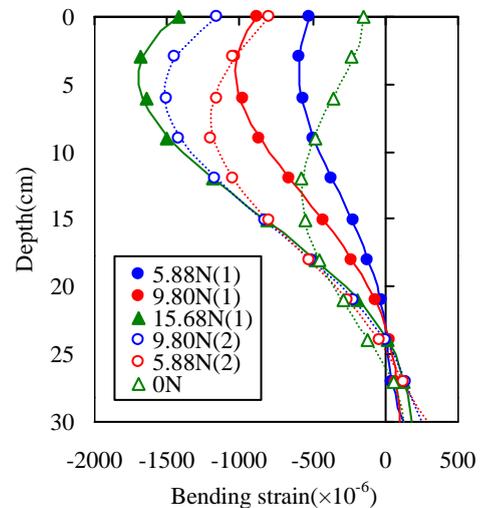


図-3 曲げひずみと近似曲線

杭, 水平地盤反力, 繰り返し載荷, 非線形, 推定

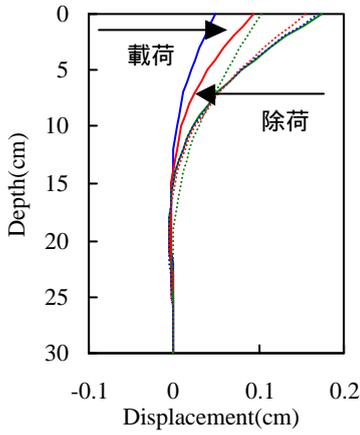


図-4 杭の水平変位

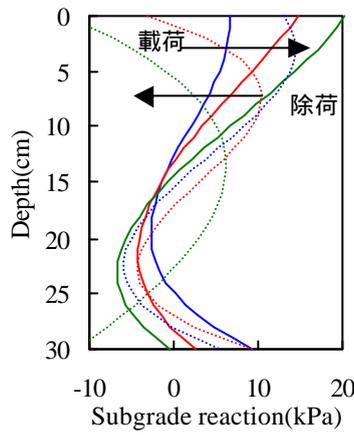


図-5 水平地盤反力

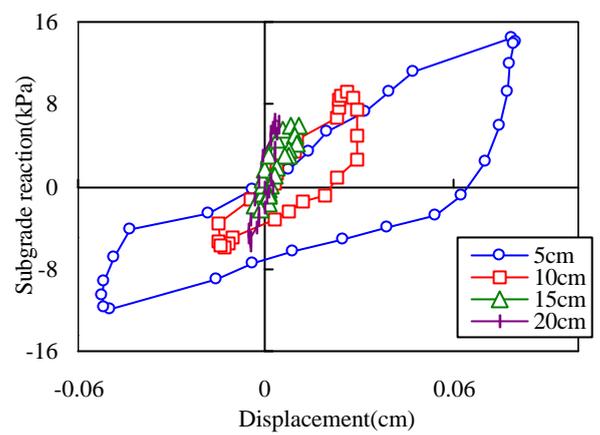


図-6 水平地盤反力～水平変位履歴

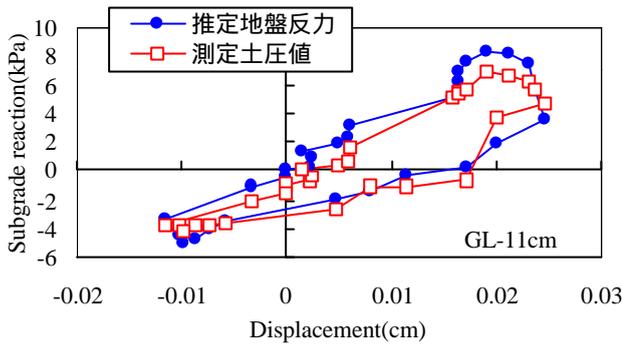


図-7 深さ 11cm の測定土圧値と推定水平地盤反力

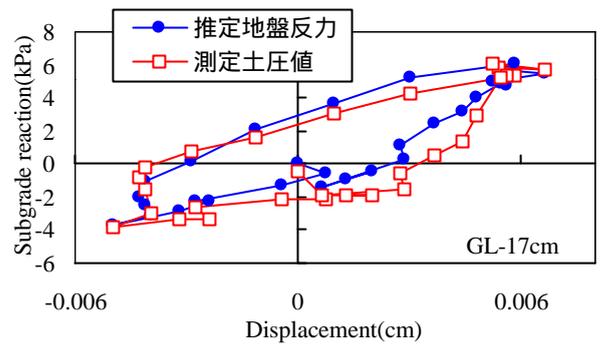


図-8 深さ 17cm の測定土圧値と推定水平地盤反力

を浅い部分で受け持ち、深い部分では逆に押ししていることがわかる。以降の図は 1 サイクルについて示す。図-6 に水平地盤反力～水平変位履歴を示す。この図から、地盤反力の非線形性が表れていることがわかる。

図-7 に深さ 11cm の、図-8 に深さ 17cm の測定土圧値と推定水平地盤反力を示す。この 2 つの図から、測定土圧値と推定された水平地盤反力はほぼ一致していることがわかる。よって、この方法による水平地盤反力の推定は妥当であると考えられる。また、地上突出部における水平変位について推定精度を検討した。地表面まで推定した杭の水平変位とたわみ角を境界条件として、弾性梁の微分方程式に基づき水平変位を算出した。図-9 に高さ 10cm における変位計測定値と推定杭頭変位を示す。この図から、変位の推定についても妥当であることが確かめられた。

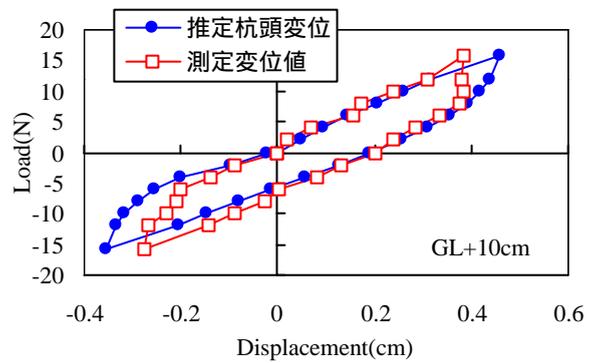


図-9 高さ 10cm の変位計測定値と推定杭頭変位

4. 結論

乾燥砂地盤中における単杭の静的な杭頭載荷実験を行い、杭の曲げひずみから弾性梁の基本方程式に基づく水平地盤反力と変位を推定した。さらに、推定された土圧と杭変位を土圧計と変位計を用いた測定値との比較により、検証を行った。その結果、推定精度の検証から水平地盤反力、杭の水平変位ともによく推定されていることがわかり、用いた推定方法が妥当であることが確認できた。

参考文献

- 1) 森 伸一郎, 込山 貴士: 低拘束圧における乾燥砂地盤中の杭の水平地盤反力の推定, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, pp.856-857, 1999.9
- 2) 森 伸一郎, 込山 貴士: 杭の水平地盤反力の推定に関する検討, 土木学会第25回地震工学研究発表会講演論文集, pp.505-508, 1999.7
- 3) 森 伸一郎, 込山 貴士: 杭の水平地盤反力の推定方法に関する検討, 第1回構造物の破壊解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム, 投稿中, 2000.3
- 4) 森 伸一郎, 込山 貴士: 杭の水平地盤反力特性の推定におけるひずみ計補正の効果, 第35回地盤工学研究発表会, 投稿中, 2000.6