

1. はじめに

2 段階の地震動レベルに対応する耐震設計においては、非線形性が適切に評価された杭の水平方向の地盤反力-変位関係(p - y 関係)のモデル化が重要である。 p - y 関係の測定には、測定された曲げひずみと弾性梁の基本方程式に基づいた推定が多く用いられている。著者らはこれまで、静的な杭頭水平載荷試験を行い、弾性梁の基本方程式に基づく水平地盤反力と水平変位の推定を行い¹⁾、推定方法の検討を行ってきた^{2)~4)}。これまで推定の際には、段階載荷において保持する各荷重段階の後半の安定している時間帯の測定曲げひずみの平均値を用いてきた。本研究では、載荷試験中の全データに対して推定された p - y 関係と各荷重段階毎に安定している時間帯の平均値に対して推定された p - y 関係を比較検討することにより、 p - y 関係の推定におけるばらつきを検討した。

2. 実験と推定方法

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。模型地盤には、表乾状態の豊浦砂を用いた。空中落下法により相対密度 $D_r = 70\%$ を目標とした模型地盤を作成した。模型杭には、外径 2.1 cm、内径 1.81 cm、長さ 50 cm (埋設長 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、杭地中部の曲げひずみと杭頭変位である。ひずみゲージを杭の前後面に地表面から 3 cm 間隔で計 10 断面に貼付して、曲げひずみを測定した。ひずみ計は片持ち梁の理論解に基づく補正がされている^{2),3)}。荷重 1 段階の載荷保持時間は 3 分間とした。後半のひずみの落ち着いている区間 10 秒間の平均値を代表値とした。今回は、荷重 1 段階の 3 分間全範囲と代表値の比較をした。

杭頭の載荷荷重は、 $P=0.98, 1.96, 3.92, 7.84, 15.68$ N の 5 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 回微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水平地盤反力を得る。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ゼロとした。

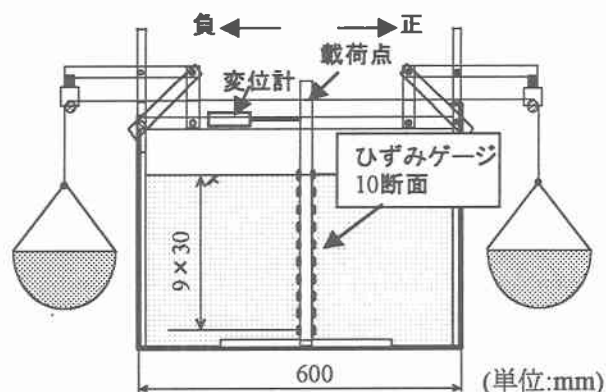


図-1 乾燥地盤中の杭の載荷実験に用いる実験装置

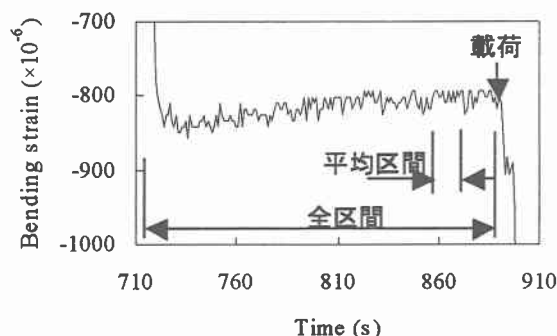


図-2 曲げひずみの選択範囲

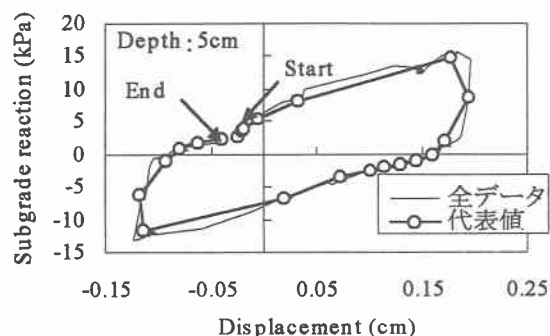


図-3 深さ 5cm の地盤反力～変位関係

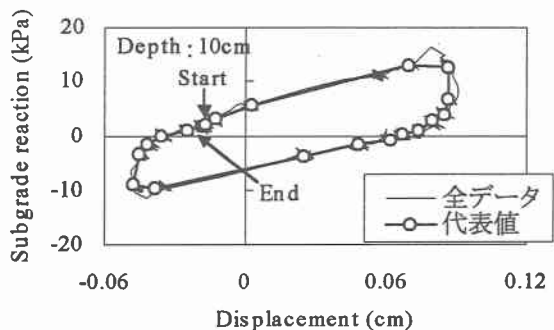


図-4 深さ 10cm の地盤反力～変位関係

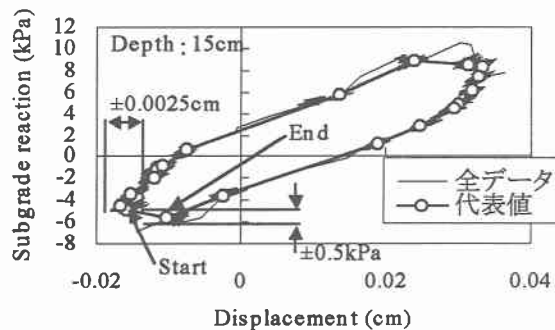


図-5 深さ 15cm の地盤反力～変位関係

3. 実験結果

図-2 に曲げひずみ時刻歴での分析の対象範囲の一例を示す。図は時刻歴の荷重 1 段階を拡大したものである。なお、既往の論文^{1)~4)}では、載荷直前のひずみを初期ひずみとして測定ひずみより差し引いているが、本論文では初期ひずみを差し引いていない。図-3～図-6 に深さ 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm の水平地盤反力～水平変位関係を示す。これらの図から、代表値と全データによる履歴曲線は全体として両者は、よく一致していることがわかる。また、これらの図によれば、深いほどループの大きさに比べて相対的にば

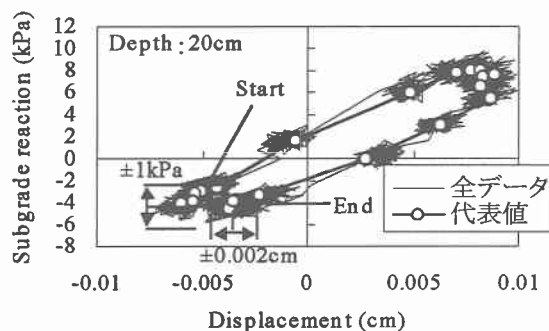


図-6 深さ 20cm の地盤反力～変位関係

らつきが大きいように見える。そこで、地盤反力と変位について、深さ別にばらつきを検討する。表-1 に履歴ループの大きさと荷重保持時間内のばらつきを整理して示す。地盤反力については、深さによらず $\pm 0.5 \sim 1.0$ kPa であり、変位については $\pm 0.002 \sim 0.005$ cm ほどである。すなわち、これまで発表してきた論文の結果である平均値に

表-1 履歴ループの大きさと荷重保持時間内のばらつき

深さ (cm)	履歴の最大最小値		一荷重段階でのばらつき	
	地盤反力 (kPa)	変位 (cm)	地盤反力 (kPa)	変位 (cm)
5	-13～15	-0.13～0.19	± 0.5	± 0.0053
10	-11～16	-0.045～0.085	± 1.0	± 0.0052
15	-6.9～10.5	-0.018～0.032	± 0.6	± 0.0025
20	-6.1～10.1	-0.0071～0.0091	± 1.0	± 0.002

対するばらつきを明確にすることができた。さらに、この結果は静的実験によるものであるが、動的実験における推定の際のばらつきを評価できるものと考えられる。加えて、全データを採用した場合には、載荷時の急激なデータ変動も捉えており、ループの形状としてはよりよいものと考えられる。

4. 結 論

乾燥砂地盤中における単杭の静的な杭頭水平載荷試験を行い、杭の曲げひずみから弾性梁の基本方程式に基づいて推定された水平地盤反力と水平変位のばらつきを検討した。その結果、荷重保持時間 3 分間の全データと後半安定した 10 秒間の平均値としての代表値との両者は全体としてよく一致していること、ばらつきは地盤反力で $\pm 0.5 \sim 1$ kPa であり、深さによらないが、変位では $\pm 0.002 \sim 0.005$ cm であり、深いほど小さいことがわかった。

参考文献

- 1) 森 伸一郎, 込山 貴士: 低拘束圧における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, III, 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方法に関する検討, 第 1 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, pp.213-215, 2000.3
- 3) 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
- 4) 森 伸一郎, 込山 貴士: 杭の地盤反力-変位関係の推定と推定方法の検証, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集, III, 投稿中 2000.9