

## 既往の水平載荷試験結果に基づく単杭の水平地盤反力係数 (その2: 初期剛性および最大地盤反力)

正会員 吉川 那穂\*<sup>1</sup> 同 小林 恒一\*<sup>2</sup>  
同 鈴木 康嗣\*<sup>3</sup> 同 金井 重夫\*<sup>4</sup>  
同 阿部 幸夫\*<sup>5</sup> 岸下 崇裕\*<sup>6</sup>

単杭 静的水平抵抗力 水平載荷試験  
モデル化 初期剛性 最大地盤反力

### 1. はじめに

(その1)では実大水平載荷試験による単杭の地盤反力  $p$ -地表面変位量  $y$  関係を図1のように双曲線によくモデル化できることを報告した。(その2)では図1に示す初期剛性  $k_{h1}$ , 最大地盤反力  $p_{max}$ , 基準変位量  $\delta_y$  について, 杭頭部付近の地盤の強度および杭径との関係を検討した結果を報告する. 使用したデータや双曲線へのモデル化については, 同名論文その1を参照されたい.

### 2. 双曲線モデルの初期剛性 $k_{h1}$

#### 1) 載荷試験の地表面変位量 10mm 時の剛性 $k_{h10}$ の比較

各載荷試験結果から求めた双曲線モデルの初期剛性  $k_{h1}$  と, 載荷試験の水平変位量 10mm の時の剛性  $k_{h10}$  の比較を図2に示す. 杭頭部付近砂質土地盤と粘性土地盤ともに両者の相関は良く, 相関係数は砂質土地盤で 0.93, 粘性土地盤で 0.86 である. 両土質ともに  $k_{h1}$  は  $k_{h10}$  に比べて大きく, 両者の比  $k_{h1}/k_{h10}$  の平均値は 1.49 となった.

#### 2) 初期剛性 $k_{h1}$ と杭頭部付近の $N$ 値, $q_u$ 値の関係

各試験の初期剛性  $k_{h1}$  と, 杭頭部付近の  $N$  値,  $q_u$  値の比較を行った. 砂質土地盤の  $k_{h1}$ - $N$  値関係を図3に, 粘性土地盤の  $k_{h1}$ - $N$  値関係を図4に,  $k_{h1}$ - $q_u$  値関係を図5に示す. 図4には粘性土の  $q_u$  値が無く対象外としたデータも参考値として  $\times$ ,  $+$  でプロットしている. 図3(砂質土)をみると,  $N$  値と  $k_{h1}$  の間には正の相関があり, 小径( $B < 700$ mm)の  $k_{h1}$  の方が大径( $B \geq 700$  mm)の  $k_{h1}$  より大きい傾向が認められる. 図4(粘性土)ではデータのばらつきが大きく  $N$  値と  $k_{h1}$  の間には明瞭な相関性は見られず, 特に  $N$  値が低い部分はばらつきが大きくなっている. これに対して,  $q_u$  で整理した図5をみると, 小径の  $q_u$  値と  $k_{h1}$  の間には正の相関が認められる. しかし, 大径についてはデータが少ないこともあり, 相関を評価することは難しいと考えられる.

### 3. 最大地盤反力 $p_{max}$ と杭頭部付近の $N$ 値, $q_u$ 値の関係

双曲線モデルの最大地盤反力  $p_{max}$  と, 杭頭部付近の  $N$  値,  $q_u$  値を比較する. なお,  $p_{max}$  は試験から得られた最大地盤反力とは完全に一致しないものの対応が見られるので, モデル化の観点から検討を行った. 砂質土地盤の  $p_{max}$ - $N$  値関係を図6に, 粘性土地盤の  $p_{max}$ - $q_u$  値関係を図7に示す. 図6の砂質土では  $p_{max}$  と  $N$  値の相関係数は 0.21 であ

るが, 小径は大径よりも大きい傾向にある. これに対し, 図7の粘性土では小径の  $p_{max}$  と  $q_u$  値の間には正の相関があり, 相関係数は 0.79 である. 大径はデータが少ないことあり相関を評価することは難しいが, 小径と比較しても有意差は見られなかった.

### 4. 双曲線モデルから求まる基準変位量 $\delta_y$

双曲線モデルから求まる基準変位量  $\delta_y$  と杭径  $B$  の関係を図8に示す. 小径は大径に比べてばらつきが大きくなっているが, 全体的には大径の方が小径よりも大きい傾向がある. 小径・大径共に杭頭部の土質の違いによる有意差は見られなかった.  $\delta_y$  と杭径比の関係をみると, 小径では 1%~4%の間, 大径では 2%~3%の間に分布していることが分かる. 全体の平均は 2.8%であった.

### 5. おわりに

実地盤における水平載荷試験結果から, 静的に水平力が作用する単杭の地盤反力  $p$ -地表面変位量  $y$  関係を双曲線にモデル化して検討した結果以下のことが分かった.

双曲線の初期剛性  $k_{h1}$  と, 試験時の水平変位量 10mm の時の  $k_{h10}$  を比較すると, 両者の相関性は良い.

砂質地盤の  $N$  値と  $k_{h1}$  には正の相関が認められたが,  $N$  値と  $p_{max}$  の間には明瞭な相関が認められなかった. また,  $k_{h1}$  と  $p_{max}$  共に小径の方が大径よりも大きい傾向が見られた.

粘性土地盤の  $q_u$  値と小径の  $k_{h1}$  および  $p_{max}$  には正の相関が認められた. 大径はデータ数が少ないため, 両者共に相関を評価することが出来なかった. また,  $k_{h1}$  と  $p_{max}$  共に大径・小径による有意差は見られなかった.

粘性土地盤における  $k_{h1}$  と  $N$  値は  $N$  値が小さい範囲では特にばらつきが大きく, 粘性土の  $k_{h1}$  を求める際には  $N$  値からではなく一軸・三軸圧縮試験結果等を用いたほうがより適切な評価が出来ると考えられる.

双曲線モデルから求めた基準変位量  $\delta_y$  と杭径との間には土質によらず正の相関があり, 杭径比でみると小径は 1%~4%の間, 大径は 2%~3%の間に分布しており, 平均値は 2.8%であった.

今後は更なるデータの収集をして, 設計式の確立に向けて検討を行う予定である.

Coefficient of horizontal subgrade reaction of single piles based on horizontal loading tests in the past  
(Part2. Initial stiffness and maximum subgrade reaction of hyperbolic model)

YOSHIKAWA Nao, KOBAYASHI Koichi, SUZUKI Yasutsugu, KANAI Shigeo, ABE Yukio and KISHISHITA Takahiro

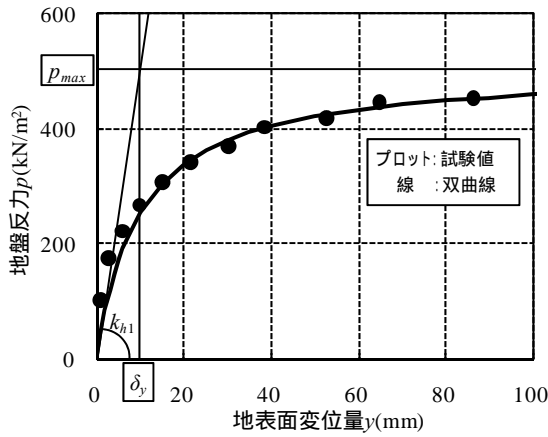


図1 双曲線モデルの例

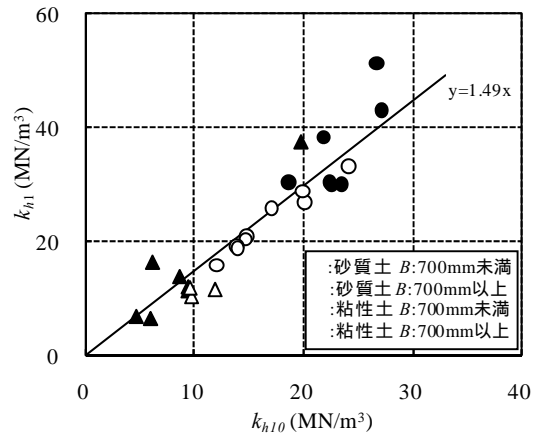


図2  $k_{h1}$  と  $k_{h10}$  との比較

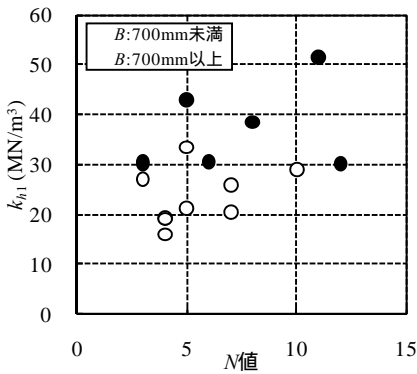


図3  $k_{h1}$ -N 値関係(砂質土)

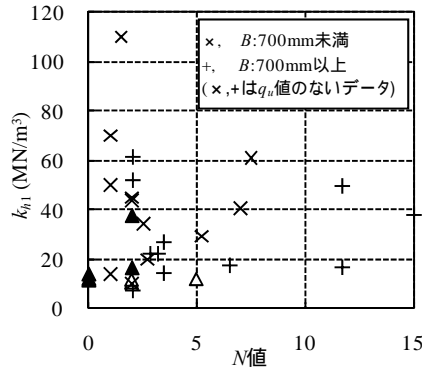


図4  $k_{h1}$ -N 値関係(粘性土)

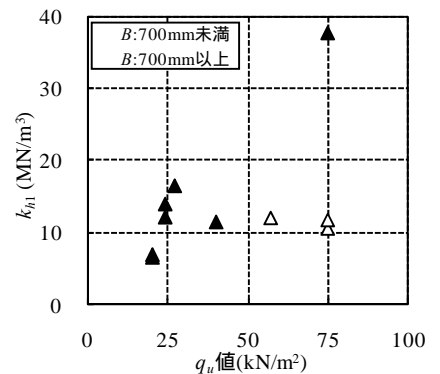


図5  $k_{h1}$ - $q_u$  値関係(粘性土)

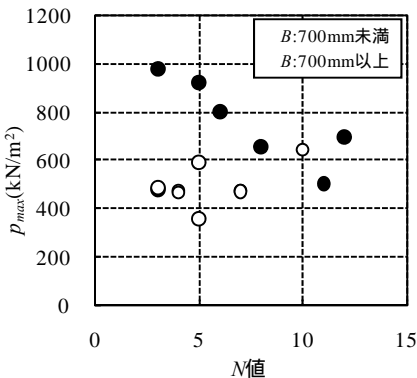


図6  $p_{max}$ -N 値関係(砂質土)

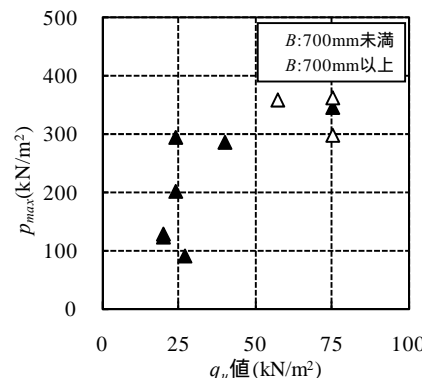


図7  $p_{max}$ - $q_u$  値関係(粘性土)

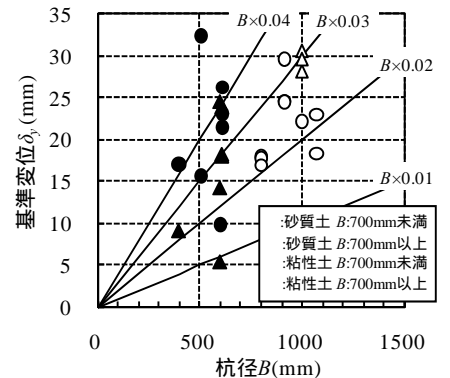


図8 基準変位 $\delta_y$ と杭径Bの関係

謝辞

本報告は日本建築学会基礎構造運営委員会「地盤と基礎構造物の相互作用小委員会 杭の静的水平抵抗 WG」の活動成果の報告である。関係者に記して感謝いたします。また、本研究を実施するにあたり、(独)土木研究所

寒地土木研究所富澤幸一氏、(株)フジタの小林勝巳氏、JFE テクノリサーチ(株)の高野公寿氏、ジャパンパイル(株)の本間裕介氏に、文献収集や分析方法についてなど多大なご協力をいただいた。記して感謝いたします。

\*1 ジャパンパイル(株)  
 \*2 (独)原子力安全基盤機構・博士(工学)  
 \*3 鹿島建設(株)・博士(工学)  
 \*4 千代田工営(株)・博士(工学)  
 \*5 鋼管杭・鋼矢板技術協会  
 \*6 (株)フジタ・博士(工学)

Japan Pile Corporation  
 Japan Nuclear Energy Safety Organization  
 Kajima Corporation  
 Chiyoda Geotech Co., Ltd.  
 Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet Piles  
 Fujita Corporation