軟弱な粘土地盤における杭の地盤反力特性

武蔵工業大学　　学○大川寛　正　末政直晃　正　片田敏行
産業安全研究所　　正　堀井宣幸

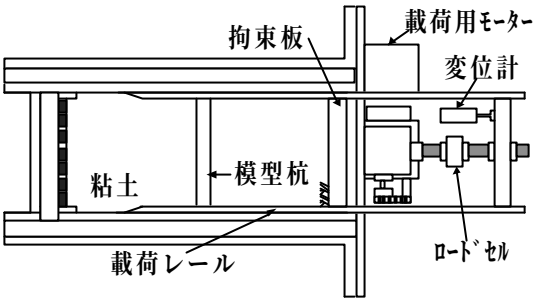
1. はじめに

軟弱地盤に構造物を建設する場合、下部構造物には杭基礎を用いる場合が多い。一般に、地震時に軟弱地盤では杭と地盤の間に相対変位が生じ、杭基礎は地盤強度の低下や杭と地盤の間に隙間が発生するなどの複雑な挙動を示す。そのような現象は構造物に多大な影響を及ぼす可能性があり、軟弱地盤中の杭基礎の挙動を把握する事は重要であると考えられる。そこで本研究では杭の一部を模擬した杭要素試験および遠心場において水平交番載荷実験を行った。そして実験より得られた地盤反力～杭変位関係から軟弱地盤中の杭の挙動について検討した。

2. 杭要素試験

2-1. 実験概要

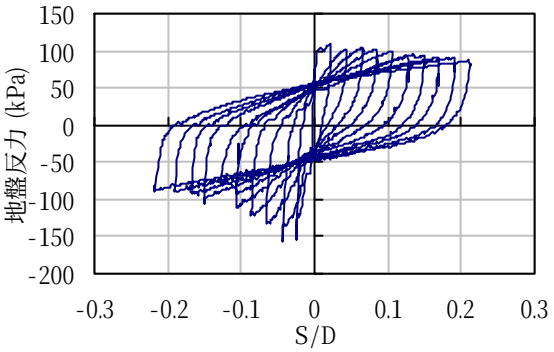
実験装置を図－1 に示す。実験容器は幅 500mm、高さ 105mm、奥行き 500mm の鋼製である。模型杭はアルミ製の剛体杭で、長さ 100mm、直径 45mm のものを用いた。試料は藤の森粘土を用い、49kPa にて圧密を行った。実験は載荷ジャッキを用いて、0.014cm/s の速さで 1mm ずつ増加する変位を 10 回与えた。実験時には載荷ジャッキに作用する荷重をロードセルで、杭の変位を変位計によりそれぞれ計測した。



図－1　杭要素試験　実験装置

2-2. 実験結果

図－2 に地盤反力～S/D 関係を示す。ここで、ロードセルの測定値から摩擦分を引き、杭の投影面積で除した値を地盤反力、変位を杭径で除した値を S/D とした。図より変位が増加するにつれ、地盤にかかる荷重が増加していることがわかる。また載荷回数が増えるにつれ、各変位における地盤反力が徐々に減少している。これは繰り返し載荷によって、周辺の地盤が乱されたためであると考えられる。

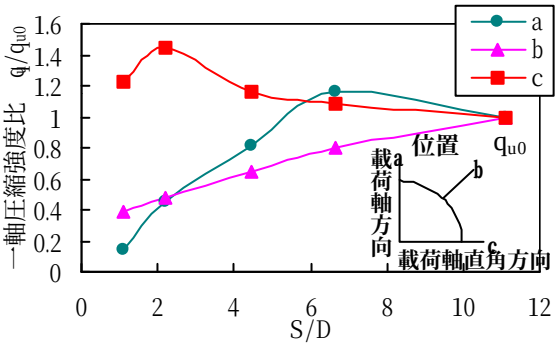


図－2　地盤反力～S/D 関係

そこで杭周辺地盤の劣化状況を把握するために針入度試験を行った。本試験は以下の計算式により一軸圧縮強度を求めるものである。

$$q_u = \frac{2kx}{6A_p + jbH}$$

ここで　k：バネ定数、x：杭変位、q_u：一軸圧縮強度、A_p：杭先端断面積、ψ：杭の周長、H：層厚、β：低減係数である。試験は杭から放射状に 8 箇所、それぞれ杭から 5mm、10mm、20mm、30mm、50mm の位置で合計 40 箇所の計測を行った。



図－3　針入度試験結果

針入度試験の結果として、一軸圧縮強度比 q_u/q_{u0} と杭表面からの距離を杭径で正規化した S/D の関係を図－3 に示す。図より載荷軸方向に近いほど、地盤が劣化していることがわかる。載荷軸 45 度方向の地盤は遠方から杭に近づくにつれて、地盤強度がほぼ線形に減少するが、載荷軸方向の地盤強度はより急激に減少している。一方、載荷軸直角方向においては、近傍でわずかに強度が大きくなっている。これはすでに圧密の段階で、応力集中のために、杭周辺の地盤強度が増加したためではないかと考えられる。

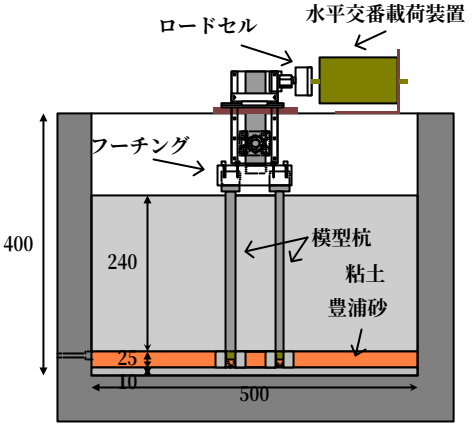
キーワード：杭基礎　地盤反力係数　軟弱地盤　繰り返し載荷
連　絡　先：武蔵工業大学　地盤工学研究室　〒158-8557　東京都世田谷区玉堤 1-28-1　TEL&FAX　03-5707-2202

3．水平交番載荷実験

3-1.実験概要

実験装置を図－4 に示す。実験容器は内寸幅 500mm、高さ 400mm、奥行き 300mm の鋼製である。杭は場所打ちコンクリート杭（φ800）を想定し、遠心加速度 50G 場で曲げ剛性 EI が一致するように、直径 15mm、肉厚 1mm のアルミを用い 4 本の群杭とした。4 本の杭のうち 1 本には、杭の内側にひずみゲージが取り付けられており、曲げモーメントを計測することができる。実験条件は空圧 2.7MPa、加振周波数 17Hz とした。模型地盤は予め圧密応力 10kPa にて予備圧密を行い、その後強度が深さに比例して増加するように透水圧密、遠心圧密を行った。全ての圧密の終了は√t 法により確認した。

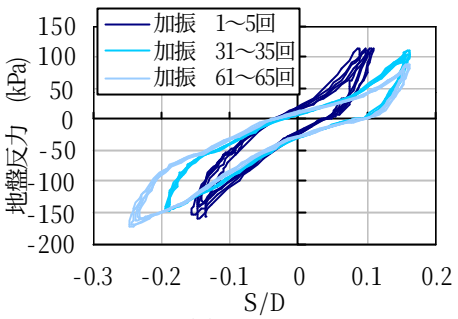
遠心圧密終了後、水平交番載荷システムを設置し、再度遠心加速度 50G 場に到達させ載荷実験を行った。なお計測項目は、フーチング部の変位、杭に作用する水平荷重および曲げモーメントである。



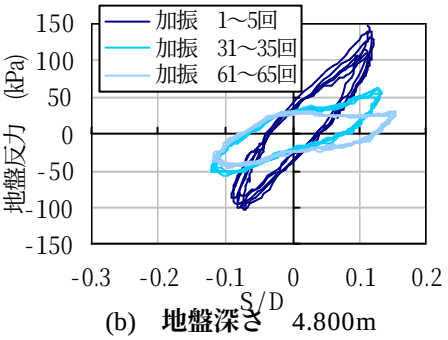
図－4　水平交番載荷実験　実験装置

3-2.実験結果

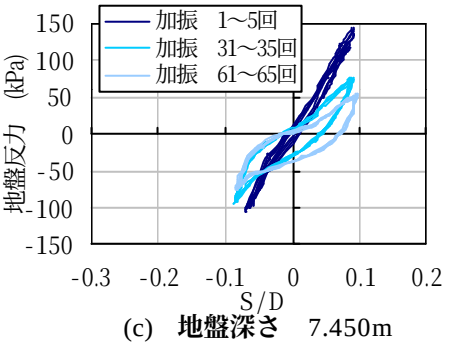
以下の値は全て実物換算してある。ロードセルから得られた水平荷重は 30.16kN、フーチング部の変位は±206.13mm となった。またひずみゲージにより測定した曲げモーメントから地盤反力を算出し、各深さにおける地盤反力～S/D 関係を図－5 に示す。各深さにおいて加振が進むにつれ地盤反力が減少している。また地盤深さ 0.825m においては加振初期からハードスプリング現象が顕著に見られ、地盤深さ 4.800m、7.450m においては加振が進むにつれそのような現象が見られる。これは加振初期に地表面で隙間が生じ、時間の経過に伴って地盤深くへと進行していった為であると考えられる。



(a)　地盤深さ　0.825m



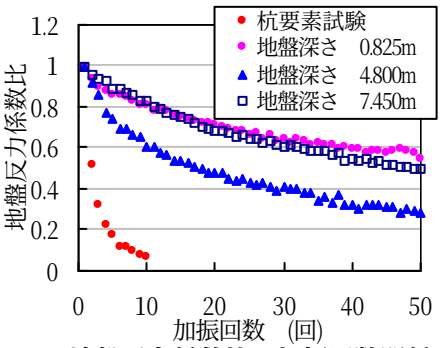
(b)　地盤深さ　4.800m



(c)　地盤深さ　7.450m

図－5　地盤反力～S/D関係

図－6 に杭要素試験及び水平交番載荷実験における地盤反力係数比～加振回数の関係を示す。ここで地盤反力係数比は加振一回目の地盤反力係数で各回数の値を正規化したものである。図から両実験とも、加振回数に比例して地盤反力係数比は減少していることがわかる。また水平交番載荷実験においては杭と地盤の間に隙間が生じたため、地盤深さ 0.825m と 7.450m では同程度となった。次に杭要素試験と水平交番載荷実験を比較すると、杭要素試験の方が地盤反力係数比は大きく減少する結果となった。ただし、水平交番載荷実験では加振の際、杭の変位量がほぼ一定であるのに対して、杭要素試験では変位量を 1mm ずつ増加させており、微少変位における地盤反力係数で正規化している。



図－6　地盤反力係数比～加振回数関係

4．まとめ

本実験の結果、以下の知見を得た。

- 針入度試験の結果より、杭周辺の地盤は一様に劣化しているのではなく杭に近づくにつれて載荷軸 45 度方向の地盤はほぼ線形で、載荷軸方向の地盤は 2 次放物的に強度が減少している
- ハードスプリング現象は変位量が大きい地表面ほど顕著に見られた。
- 繰り返し載荷によって地盤反力は減少していく挙動を確認できた。また地盤反力係数比は、地盤の深さが浅いほど小さくなることが分かった。

謝辞：本研究を行うにあたり、厚生労働省産業安全研究所　堀井宣幸氏、豊沢康男氏、玉手聡氏には多大な援助とご指導を賜り、厚く御礼申し上げます。