

# 杭先端・地盤部分載荷試験における杭体変位が先端支持力に及ぼす影響

武蔵工業大学 学生会員 ○吉村 啓太  
武蔵工業大学 正会員 末政 直晃 片田 敏行  
テクノックス(株) 正会員 吉田 茂

## 1.はじめに

杭頭載荷試験を簡易化する試験法の一つとしてJ.O.オスターバーク<sup>1)</sup>が提案する杭先端載荷試験がある。その試験法とは、杭体の先端部に載荷ジャッキを取り付けて周面摩擦力と先端抵抗力を互いに反力として載荷し、杭の支持力を推定するものである。しかし、杭先端部と杭体部の変位方向が逆となるため、杭先端地盤に働く拘束圧及びせん断変形が杭頭載荷試験と比較して異なる挙動となる。そこで本研究では、杭先端部と杭体部を別々に変位を制御することが出来る載荷装置を用いた杭先端載荷試験及び杭径よりも小さい載荷盤を用いて載荷する杭先端地盤部分載荷試験の模型実験を行い、先端部と杭体部の載荷速度の違いにおける先端支持力の挙動を把握する。また、本試験における有限要素法解析を行い、先端荷重～先端沈下量関係を明らかにすることを目的とする。

## 2.実験方法

**加圧模型土槽及び模型杭** 実験に用いた加圧模型土槽は内径 33cm、高さ 55cm であり、内部の模型地盤に対して上載圧及び側圧を上面及び側面のゴムメンブレンを介して加えることが出来る。用いた模型杭先端部の概略図を図-1に示す。模型杭は鉄製で杭径 6cm、長さ 78cm、重量 16.4kg であり、杭周面には摩擦力を発生させるための布ヤスリ(#120)を接着したものである。杭内部にはベアリングを介して載荷軸が組み込まれており、杭先端部を独立に載荷することが出来る。なお杭先端部分には直径 3～6cm の載荷盤を装着出来るようになっている。杭を任意の位置で土槽に設置して、気乾状態の豊浦砂を多重ふるいを通して空中落下させ  $Dr=80\%$  の均一な砂地盤を作製する。その後土槽のフタを閉め、上載圧及び側圧によって地盤を拘束する。

**(a)杭先端・地盤部分載荷試験** 杭先端・地盤部分載荷試験は図-1(a)に示すように上方向に杭体を、杭先端部を下方方向に載荷して、その試験方法を再現している。また載荷時における周面摩擦力及び先端抵抗力をロードセル、先端沈下量を変位計を用いて測定する。各実験条件を表-1に示す。

**(b)杭頭載荷試験** 杭頭載荷試験は図-1(b)に示すように、杭体及び杭先端部を共に下方方向に載荷する。載荷時における先端抵抗力をロードセル、沈下量を変位計を用いて測定する。各実験条件を表-1に示す。

## 3.有限要素法解析(FEM 解析)

模型実験と同条件の FEM 解析を行った。地盤と杭の解析モデルを図-2に示す。モデルは本実験で使用した模型地盤を軸対象とし、杭先端部を中心に細かい正方形メッシュを施し、中心から離れるにつれて、一要素につき 5%ずつメッシュサイズを大きくした。またモデルに側圧  $\sigma_h$  及び上載圧  $\sigma_v$  を実験と同様の大きさを加圧した。次に、杭先端部の要素分割した詳細図を図-3に示す。杭頭載荷試験は杭体と先端部の変位方向は同じとなるため節点 A,B の2点共に荷

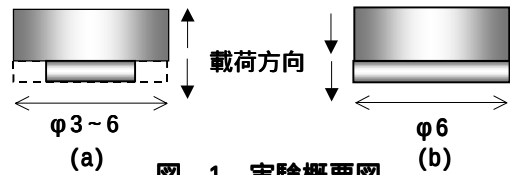


図-1 実験概要図

表-1 実験条件

| 実験ケース | 載荷方法   | 掘入れ深さ(cm) | 上載圧(kPa) | 側圧(kPa) | 杭体載荷速度(mm/sec) | 先端部載荷速度(mm/sec) | 載荷盤径(cm) |
|-------|--------|-----------|----------|---------|----------------|-----------------|----------|
| CASE1 | 杭先端載荷  | 37        | 98       | 49      | 0.02           | 0.04            | 6        |
| CASE2 | 杭先端載荷  |           |          |         |                |                 | 5        |
| CASE3 | 地盤部分載荷 |           |          |         |                |                 | 4        |
| CASE4 | 杭先端載荷  |           |          |         | 0.04           | 0.04            | 3        |
| CASE5 | 杭先端載荷  |           |          |         |                |                 | 6        |
| CASE6 | 杭先端載荷  |           |          |         |                |                 | 5        |
| CASE7 | 地盤部分載荷 |           |          |         |                |                 | 4        |
| CASE8 | 地盤部分載荷 |           |          |         | 0.04           | 0.04            | 3        |
| CASE9 | 杭頭載荷   |           |          |         |                |                 | 6        |

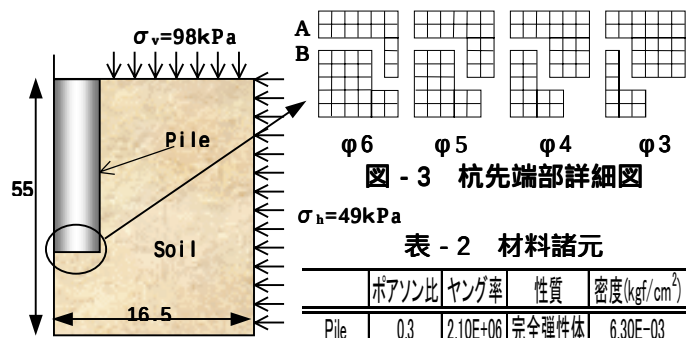


図-2 解析モデル

図-3 杭先端部詳細図

表-2 材料諸元

|      | ポアソン比 | ヤング率     | 性質    | 密度(kgf/cm <sup>3</sup> ) |
|------|-------|----------|-------|--------------------------|
| Pile | 0.3   | 2.10E+06 | 完全弾性体 | 6.30E-03                 |
| Soil | 0.3   | 2.00E+03 | 完全弾性体 | 1.58E-03                 |

表-3 解析条件

|        | 載荷方法   | 節点Aからの荷重(kN) | 節点Bからの荷重(kN) | 載荷盤径(cm) |
|--------|--------|--------------|--------------|----------|
| 節点A4.9 | 先端載荷   | 4.9          | 9.8          | 6        |
|        | 先端載荷   |              |              | 5        |
|        | 地盤部分載荷 |              |              | 4        |
|        | 地盤部分載荷 |              |              | 3        |
| 節点A9.8 | 先端載荷   | 9.8          | 9.8          | 6        |
|        | 先端載荷   |              |              | 5        |
|        | 地盤部分載荷 |              |              | 4        |
|        | 地盤部分載荷 |              |              | 3        |
|        | 杭頭載荷   | 9.8          | 9.8          | 6        |

キーワード: 周面摩擦, 先端支持力, 拘束圧, 砂地盤, 抜け上がり速度, 弾性体

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&FAX03-5707-2202

重を下方方向に载荷し、杭先端・地盤部分载荷試験は、杭先端部と杭体の変位方向が逆となるため節点 B から下方方向、節点 A から上方方向に载荷する事でその試験法を再現した。解析に使用した地盤及び杭の材料諸元と解析条件を表－2 及び表－3 に示す。

#### 4.解析・実験結果及び考察

図－4 に FEM 解析結果を示す。図－4 は载荷盤径/杭径比と先端沈下量の関係を示したものである。この結果より周面摩擦が小さい方は大きい方のそれと比較して先端沈下量を促進させる効果が見られた。その要因として、地盤部分は完全弾性体のため、周面摩擦の大きい方では、杭先端部と杭体部の境界線を境にして引張が大きく、先端地盤が張り、先端沈下量が減少したためだと考えられる。逆に、杭頭载荷においては、杭体と杭先端部の载荷方向が同じであり、先端地盤は圧縮領域となる。そのため、杭頭载荷は大きな沈下を生じる。

図－5 は CASE1～9 における周面摩擦力～杭の抜け上がり量を示したものである。CASE7 は若干下回ったものの全てのケースでほぼ同等な挙動を示し、周面摩擦の極限值もさほどの差は見られなかった。そのことから、载荷盤径の大きさは周面摩擦の極限值にあまり影響がないと考えられる。

図－6 は CASE1～9 における先端抵抗力～先端沈下量関係を示したものである。CASE5,9 はほぼ同等の挙動を示した。CASE1 は载荷初期においては CASE5,9 より上回っているが、沈下量が 0.5cm 以降では下回った。载荷盤径が  $\phi 5$  以下の全てのケースを比較すると、抜け上がり速度 0.04mm/sec(以下 US0.04 と略す)の先端抵抗力は抜け上がり速度 0.02mm/sec(以下 US0.02 と略す)時のそれより大きくなっている。そのことは、杭体载荷速度が速く、かつ载荷盤径が小さいほど周辺地盤のせん断変形が促進されることが要因として考えられる。つまり、微小変位においてはせん断変形が早い方が抵抗力が発揮されるが、それ以後は先端付近の地盤に働く拘束圧が減少するため载荷速度が速い方が極限值に達しやすくなる。つまり沈下の最終段階では、载荷速度が遅い方の極限值が大きくなると予想できる。

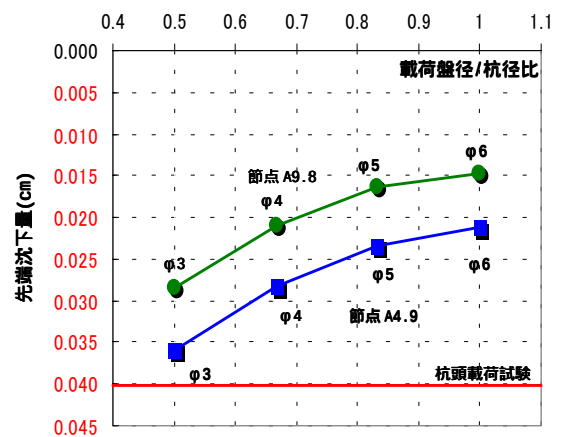
図－7 は载荷盤径を杭径で除した径比と基準先端支持力度(先端沈下量/载荷盤径=10%時の先端応力度)の関係を示したものである。まず、US0.02 においては径比の減少にともない支持力度が小さくなる傾向にあるが、US0.04 においては、その傾向は見られなかった。US0.02 と US0.04 の支持力度を比較すると、载荷盤径  $\phi 5$  以下では、US0.04 の方が大きくなっている。解析結果との比較においては、杭頭载荷が逆に大きな支持力度を示した。そのことは、先端沈下量/载荷盤径比が 10%では、塑性変形が進行していることが挙げられる。

#### 5.まとめ

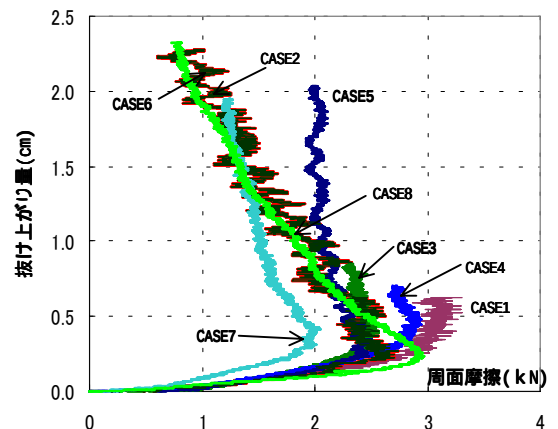
実験結果より、微小変位における先端支持力度は径比が小さくなるにつれ、US0.04 の方が US0.02 それと比較して大きくなる。弾性解析においては、杭体に働く荷重が大きい程、先端沈下量は小さくなる。

#### 【参考文献】

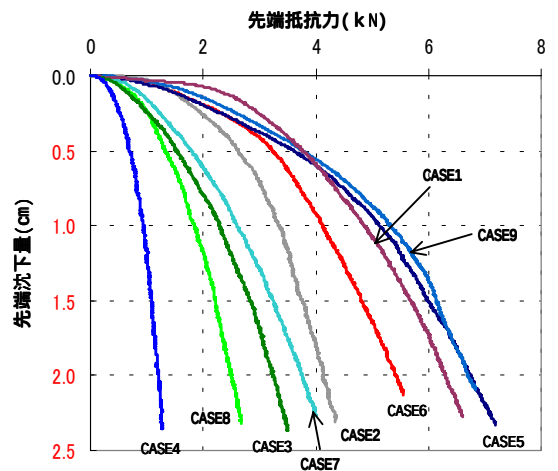
1)J.O.オスターバーク(吉見吉昭訳)杭载荷試験用の新しい加圧装置－埋込み杭及び打込み杭に適用可能－, 基礎工, Vol.19No.8, pp114～119, 1991 2)小椋・須見・岸田・吉福:杭先端载荷試験法の場所打ち杭と既製杭への適用例,土と基礎,43-5(448), pp31～33,1995



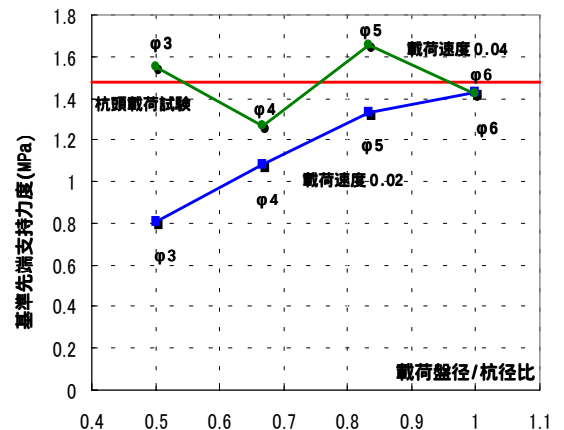
図－4 解析結果 载荷盤径/杭径比～先端沈下量関係



図－5 周面摩擦力～抜け上がり量関係



図－6 先端抵抗力～先端沈下量関係



図－7 载荷盤径/杭径比～基準先端支持力度関係