

薄層に圧入した杭の挙動に関する模型実験

正会員 ○上田 祥弘*1
同 土屋 勉*2
同 佐藤 光*1
同 島田 正夫*3
同 安田 達士*4
会員外 角田真由子*5

2. 構造-4. 基礎構造-e. 杭 (鉛直)

薄層, 模型実験, 鉛直載荷, 先端支持力, 可視化

1. はじめに

軟弱層が深く分布している地盤において, 比較的密な砂層 (以下, 薄層と呼ぶ) が存在する場合がある. ある程度の沈下を許容するパイルド・ラフト基礎では, このような薄層の積極的な利用が考えられることから, 当研究室では模型実験による検討を進めている.

昨年度までの研究^{1), 2)}では, 薄層地盤に支持された埋設杭の載荷実験を実施すると共に, 杭先端近傍地盤の砂粒子挙動について観察するための半円筒土槽を使った可視化実験を行った.

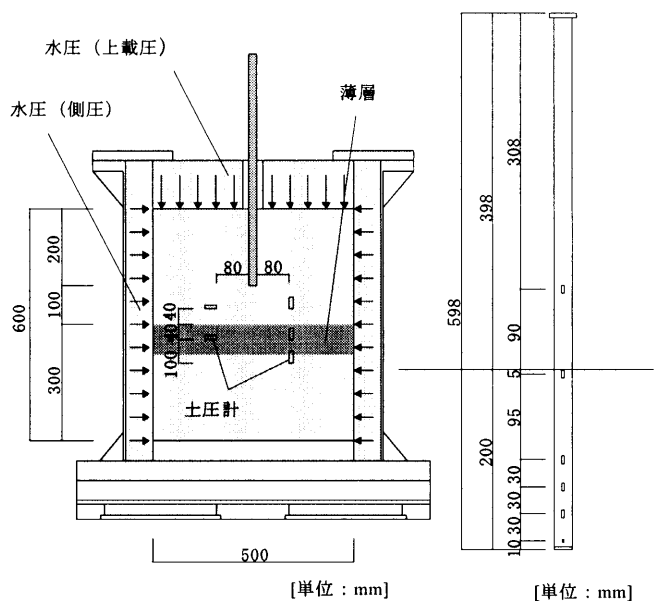
本報告では, 新たに圧入杭に着目して均一, 二層および薄層地盤について鉛直載荷実験および可視化実験を行い, 圧入杭の支持力特性の解明を目的としている.

2. 実験装置および実験方法

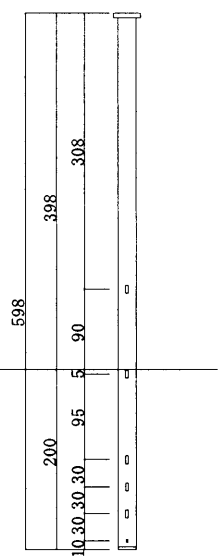
2. 1 支持力実験

図1は支持力実験の装置である. 珪砂6号をノズルとネットを利用した空中落下法により堆積させる. ノズル径と落下高さを調節することで, 所定の相対密度を有する模型砂地盤を作製している. 模型杭 (アルミニウム製, 直径 $\phi=20\text{mm}$, 肉厚 $t=2\text{mm}$) は, 周面抵抗が発揮されるよう表面に溶射加工 ($R_{max} \approx 200\ \mu\text{m}$) を施し, 図2に示す位置にひずみゲージを貼付してある.

実験方法は模型杭を薄層上端より 100mm ($5d$) 上方から薄層上端まで圧入施工し, その後載荷する. 薄層地盤以外の均一および二層地盤においても同様に行う.



[単位: mm]



[単位: mm]

図1 支持力実験装置

図2 模型杭

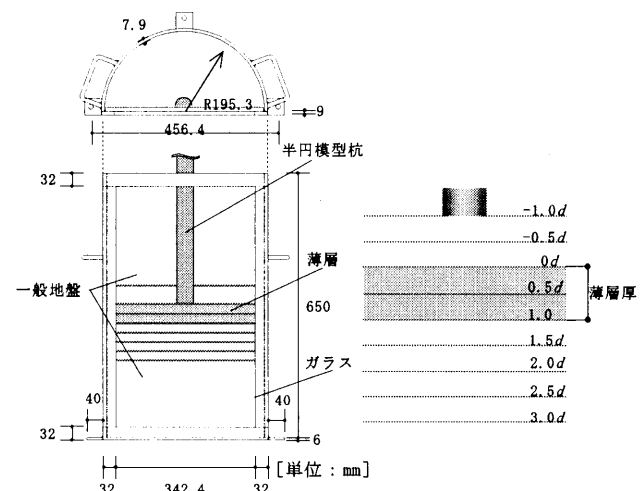


図3 半円筒土層

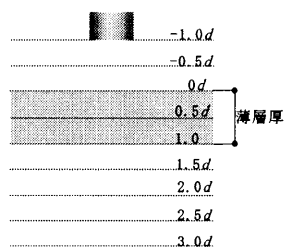


図4 色砂配置図

Model Tests of Behavior of Jacked Pile on Thin Sand Layer.

UEDA Yasuhiro et al.

実験条件を表1に示す。LLは低密度の一般地盤が均一に分布するモデル、LDは一般地盤の下に高密度な支持地盤が土槽底部まで分布するモデルである。薄層モデルはLDnLと表示し、nは杭径に対する薄層厚さの比である。薄層地盤は低密度地盤L(相対密度 $D_r=54\%$)中に、所定の厚さの高密度地盤D($D_r=92\%$)を配することで再現している。また、杭の設置深度および薄層上端位置は全ての試験体で同じ条件とし、薄層下端を下げることで薄層厚を変化させている。

2.2 可視化実験

図3に示すような半円筒土槽を用いて、杭の沈下に伴う地盤の粒子挙動を観察する。模型杭は、杭径 $d=40\text{ mm}$ の半円中空断面、杭長 600 mm 、先端は閉端となっている。なお、杭と観察用のガラスの接触部分にはテフロンシートを貼付し、摩擦低減を図っている。地盤は支持力実験と同様にネットを介した空中落下法により作成する。所定の深度まで砂を撒いた後に色砂を配置し、その後再び砂を撒く。この手順を繰り返し模型杭設置深度(土槽底面より 350 mm)到達後模型杭を設置して、再び砂を撒く。色砂の配置図を図4に示す。

実験条件は表2に示している。地盤の相対密度に関しては支持力実験と同様であるが、地盤には拘束圧を作用させていない。

3. 実験結果および考察

3.1 支持力実験

(1) 圧入施工～載荷終了までの挙動

図5は、圧入施工開始から載荷終了までの杭先端面荷重の変化をプロットしたものである。なお、薄層到達時に一度除荷しているが、その部分の変化については煩雑さを避けるため除外している。横軸の0は薄層上端位置である。薄層下端位置は各モデルの杭先端面荷重と同じ線種で示している。

圧入施工を開始すると急激に増加した先端面荷重は、徐々に緩やかな増加傾向を示し、 -40 mm 程度の貫入まではモデルによる差は見られない。しかし、薄層モデルでは薄層上端 30 mm 手前付近から、荷重の増加が大きくなる傾向がある。杭先端下部に形成されたコアが高密度な薄層へ近づいたことを示唆するものと考えられる。LD1Lのピーク荷重は杭先端が薄層手前で発生しており、LLモデルより僅かに大きいだけである。LD2L、LD3L、LD4Lと薄層厚が大きくなるほどピーク荷重が大きくなるが、その増加量は小さくなる。ピーク後は、LDで

は荷重が増加し続けるが、薄層モデルでは薄層下端 $40\sim 60\text{ mm}$ 手前付近から減少し、最終的にはLLと同程度の荷重に収束する。薄層以深の低密度地盤の影響が非常に大きいといえる。

(2) 圧入杭の支持力特性

圧入杭の支持力特性を検討するために、薄層上端まで圧入施工した杭と前報^{1),2)}の埋設杭の載荷試験結果を、図6にプロットした。埋設杭の各モデルはそれぞれ2回実験を行った平均の曲線である。

図6の(a)は杭先端面荷重～沈下関係である。埋設杭は載荷直後に荷重が緩やかに増加し、 $4\sim 5\text{ mm}$ 付近で降伏した後も増加は続いている。それに対して、圧入杭では載荷直後に荷重が急激に増加し、 2 mm 付近で降伏した後はほとんど増加しない。 2 mm 沈下時の荷重を比較すると、圧入杭は埋設杭の2倍以上である。

表1 支持力実験条件

薄層厚		1d	2d	3d	4d	15d
相対密度		薄層地盤 $D_r=92\%$ 、一般地盤 $D_r=54\%$				
実験記号	LL	LD1L	LD2L	LD3L	LD4L	LD
土層断面						

表2 可視化実験条件

薄層厚	1d	3d	7d
相対密度	薄層地盤 $D_r=92\%$ 、一般地盤 $D_r=54\%$		
実験記号	LD1L	LD3L	LD
土層断面			

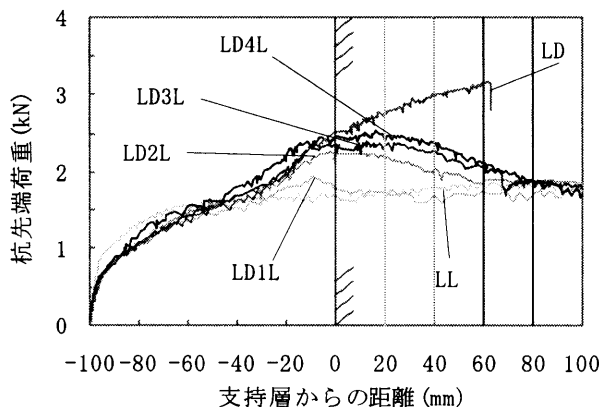


図5 荷重-沈下曲線 (施工～載荷時)

図6の(b)は杭周面抵抗力～沈下関係である。埋設杭では荷重直後に急激に増加しピークを迎え、その後は緩やかに減少し一定になる。それに対して、圧入杭では荷重直後から少し遅れて増加し、その後はほぼ一定になる。圧入杭、埋設杭ともに2mm付近で最大値に達している。最大時での荷重は埋設杭の方が圧入杭よりも大きくなっているが、沈下が進んだ状態の残留荷重は、杭種による違いはあまりなさそうである。

図7は0.5d(10mm)沈下時点の杭先端面荷重に着目して、支持層モデルに対する比を薄層厚との関係でプロットしたものである。埋設杭では薄層厚4dでも支持層モデルの8割にすぎない。それに対して、圧入杭では薄層厚2dで8割、薄層厚3dでは9割にも達しており、圧入杭の方が埋設杭よりも薄層厚を有効に利用できるといえる。

3. 2 可視化実験

(1) 圧入施工時の変形状況

写真1は、圧入施工が終了した時点(杭先端が薄層上端に到達した1d沈下時点)における杭先端近傍地盤の色砂の変形状況である。薄層上端面はこの時点で杭径の半分程度の沈下が発生していることから、杭先端部には一般地盤によるコアが形成されていることが分かる。薄層自体の色砂の間隔に着目すると、LD3LとLDでは0.5d～1.0d間の1/2程度になって、薄層がかなり圧縮されている様子が分かる。しかし、LD1Lは0.5d～1.0d間と0.5d～1.0d間の間隔が同程度になっており、薄層部が杭先端荷重を支える様子がさほど見られない。

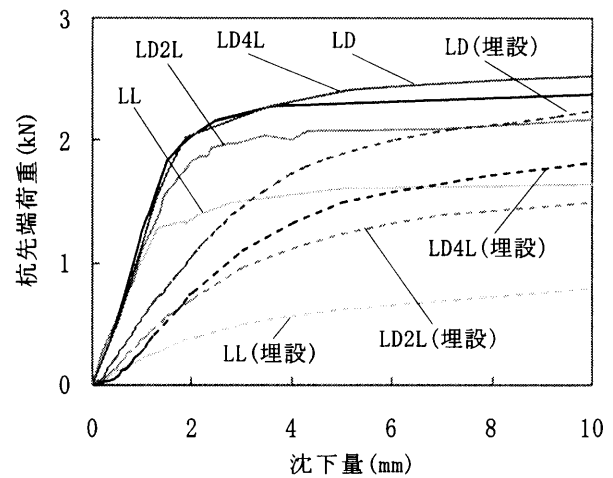
(2) 荷重試験時の変形状況

写真2は、荷重開始後から0.2d沈下時点(施工開始から1.2d沈下時点)における杭先端近傍地盤の色砂の変形状況である。破線で囲んだ領域はコア部分であり、モデルによる差はほとんど見られない。LD1Lでは薄層部の変形の様子が(1)の施工終了時点とあまり変化していないことから、既にパンチチング破壊の状態に達しているものと推察される。

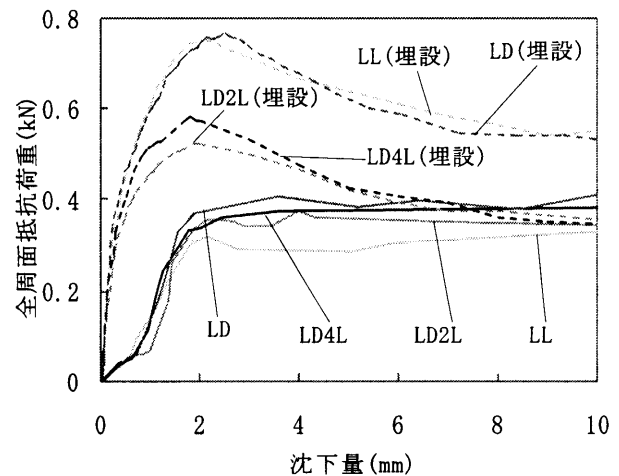
(3) 砂粒子挙動の特徴

図8は圧入開始から杭先端が薄層上端に達するまでの施工期間中の砂粒子挙動である。これにより、杭直下は杭の沈下量とほぼ同等に移動しており、コア(高密度地盤)と考えられる。上記以外の部分では砂粒子は杭位置から放射状に移動しており、移動量は杭から遠ざかるほど小さい。杭の沈

下に伴い砂粒子の軌跡が弧を描きながら水平方向へ移動する傾向が強くなる。



(a) 杭先端荷重-沈下関係



(b) 全周面抵抗荷重-沈下関係

図6 荷重-沈下曲線(埋設杭と圧入杭の比較)

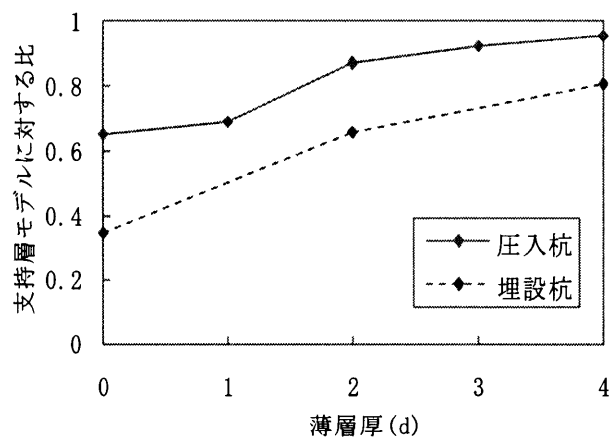
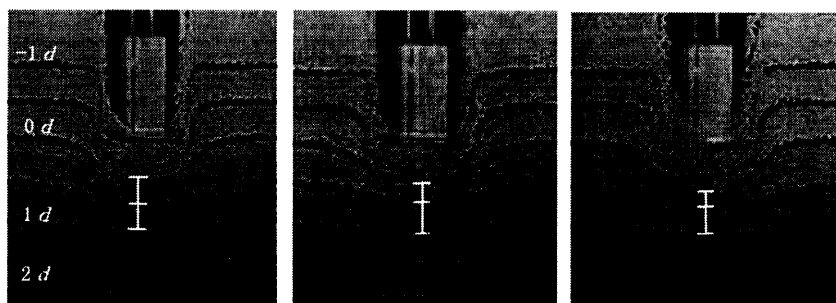


図7 杭先端荷重と薄層厚の関係



(a) LD1L (b) LD3L (c) LD

写真1 色砂変形図(1.0d沈下時)

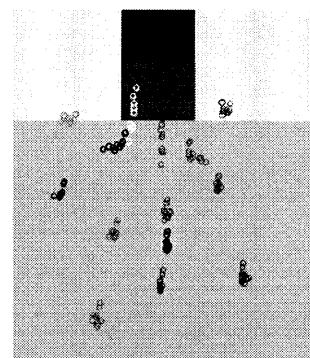
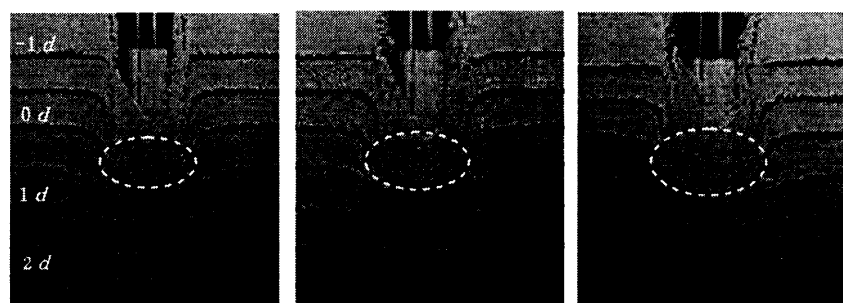


図8 砂粒子挙動(LD)



(a) LD1L (b) LD3L (c) LD

写真2 色砂変形図(1.2d沈下時)

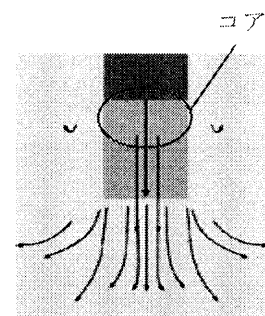


図9 砂粒子挙動イメージ図

これらから、砂粒子挙動イメージを示したのが図9である。これにより、杭直下に形成されるコアがそれ以外の部分を押し広げながら沈下していき、コア側方にあたる地盤では、コアにより側方へ押し広げられた砂が、側方に存在していた砂を押し上げるため砂粒子が上方へ移動するものと推察される。

4. まとめ

本報告をまとめると以下ようになる。

- ①. 圧入杭の先端支持力は薄層上端1.5d手前付近から増加して、薄層下端2d~3d手前でピークに達する。
- ②. 圧入杭は載荷初期での杭先端支持力の増加が大きい。

- ③. 埋設杭は薄層厚4d程度で支持層の8割にすぎないが、圧入杭では薄層厚2dで支持層の8割、3dで9割となる。
- ④. 圧入杭の周面摩擦力の発揮する時点は埋設杭よりも遅れるが、残留摩擦力はほぼ同様である。
- ⑤. 圧入杭では杭先端が薄層に到達する以前にコア形成がなされる。これは、載荷に伴う杭先端面荷重の急増といった圧入杭の挙動を裏付けるものである。

参考文献

- 1) 若松宏輔, 土屋 勉, 池田和正, 他: 薄層に支持させた杭の模型実験, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 80, pp. 125-128, 2007. 7.
- 2) 池田和正, 土屋 勉, 若松宏輔, 他: 薄層に支持させた杭の模型実験-II, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 81, pp. 47-50, 2008. 6.

*1 室蘭工業大学大学院 博士前期課程
 *2 室蘭工業大学大学院 教授・工博
 *3 室蘭工業大学大学院 技術職員
 *4 金沢大学大学院 博士前期課程
 *5 (株) 村上建築設計室

Graduate Student, Muroran Inst. of Tech.
 Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng.
 Technician, Muroran Inst. of Tech.
 Graduate Student, Kanazawa University.
 Murakami Architect Office Co., Ltd.