

薄層に圧入した杭の挙動に関する模型実験-2

正会員 ○上田 祥弘\*<sup>1</sup>  
同 土屋 勉\*<sup>2</sup>  
同 島田 正夫\*<sup>3</sup>  
会員外 佐藤 雄太\*<sup>4</sup>  
同 佐藤 拓也

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

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. このような敷地では薄層を打ち抜いて,  $N$  値 50 を超えるような, 深部の砂礫層に杭を支持させるのが一般的である. しかし, ある程度の沈下を許容するパイルド・ラフト基礎においては, このような薄層の積極的な利用も考えられることから, 当研究室では模型実験による検討<sup>1) 2) 3)</sup>を進めている.

前報<sup>3)</sup>では, 写真1に示す杭表面に溶射加工の施された模型杭(以下, 溶射杭と呼ぶ)により均一, 二層および薄層地盤における圧入杭の支持力特性を明らかにしてきた.

本報告では, 写真2に示す杭表面に溶射加工の施されていない模型杭(以下, ストレート杭と呼ぶ)により, 均一, 二層および薄層地盤における圧入杭の支持力実験を行い, 杭表面の粗滑による支持力特性の変化を明らかにすることを目的とする.



写真1 溶射杭

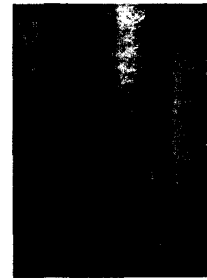


写真2 ストレート杭

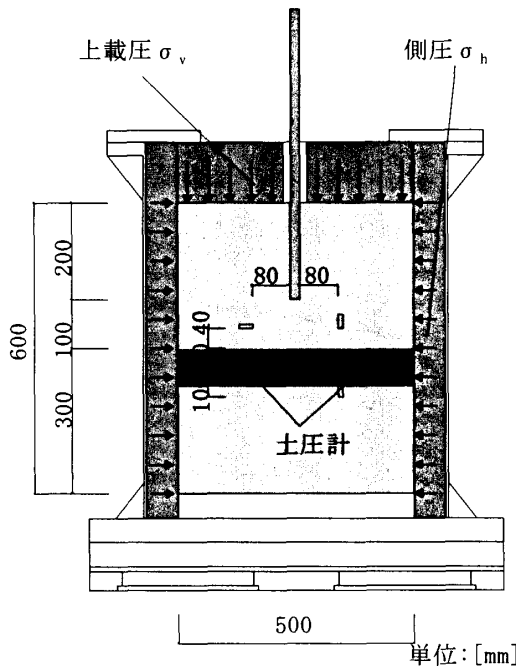


図1 三軸加圧土槽

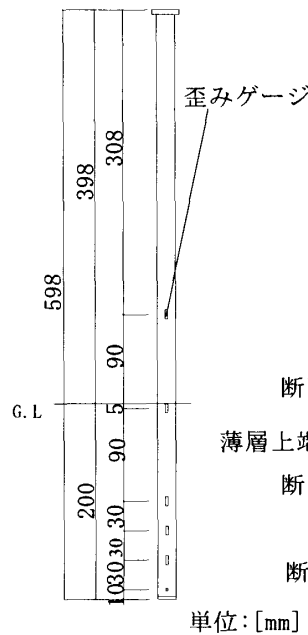


図2 歪みゲージ貼付け位置

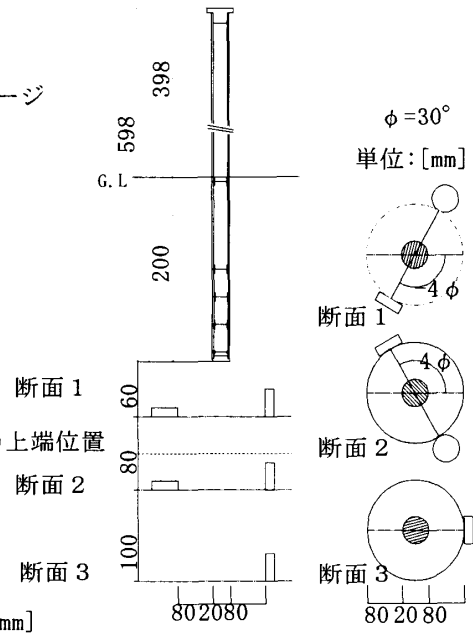


図3 土圧計設置位置

Model Tests of Behavior of Jacked Pile on Thin Sand Layer-2.

UEDA Yasuhiro et al.

## 2. 実験装置および実験方法

本実験に用いた土槽は、図1に示す模型砂地盤の上面に等分布上載圧  $\sigma_v$  を、地盤の側面に等分布側圧  $\sigma_h$  を各々任意に作用させることのできる三軸加圧土槽である。実験に使用する模型杭は杭径  $d=20\text{mm}$  のアルミニウム製模型杭を使用し、内壁面の図2に示す位置に歪ゲージを貼付して軸力を測定している。

実験手順としては、東北硅砂6号を杭先端深度までノズルとネットを利用した空中落下法によって地盤を作製した後、模型杭を設置して再び砂試料を空中落下させて作製する。この時、杭近傍の応力状態を詳細に把握するために土圧計を図3のように埋設する。

等方拘束圧を30分間作用させた後、更に上載圧を2倍にして30分間作用させ、静止土圧 ( $K_0=0.5$ ) を有する正規圧密状態の地盤を再現した。杭頭への荷重は、荷重制御による単調載荷方式 (荷重増分  $=0.3\text{kN/分}$ ) とした。

薄層地盤は、一般地盤 (相対密度 46%) 中に高密度地盤 (相対密度 93%) を配することによって再現し、薄層厚は薄層上端位置を固定し、薄層下端位置で変化させている。杭の設置深度はいずれも薄層上端から  $5d$  上方とした。それぞれの実験条件および実験記号を表1に示す。

## 3. 実験結果および考察

実験で得られたデータを杭先端荷重、杭周面抵抗力および土中土圧に分けて整理し、考察を行う。本項で扱うグラフは薄層上端位置を原点とし、杭先端の沈下方向を正とした。同条件の実験モデルを同色で表し、溶射杭を破線、ストレート杭を実線で示した。薄層下端位置を実験モデルと同色の点線で示す。

### 3. 1 杭先端荷重

#### 1) 圧入施工時挙動

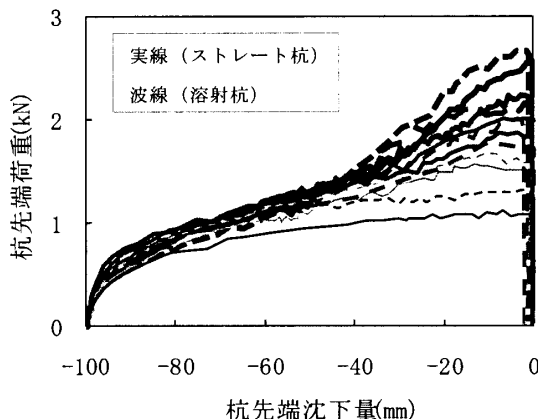
各モデルにおける圧入施工時の杭先端荷重-杭先端沈下量関係を図4(a)に示す。

高密度層 (以下  $D$  層と呼ぶ) を持つモデルでは、 $D$  層に近づくにつれて杭先端荷重が増大する傾向がみられ、 $D$  層の厚さが大きい程、荷重の増大が著しい。薄層厚の薄い LD1L モデルでも杭先端荷重は LL モデルの 130% ほどとなった。

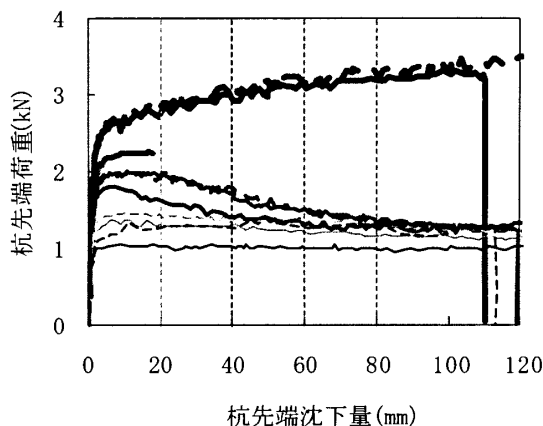
また、溶射加工の有無に着目すると、溶射杭の方がストレート杭よりも杭先端面荷重が僅かに増加する傾向がみられたが、この値には杭先端近くの周面摩擦も含まれていることを注意する必要がある。

表1 実験条件および実験記号

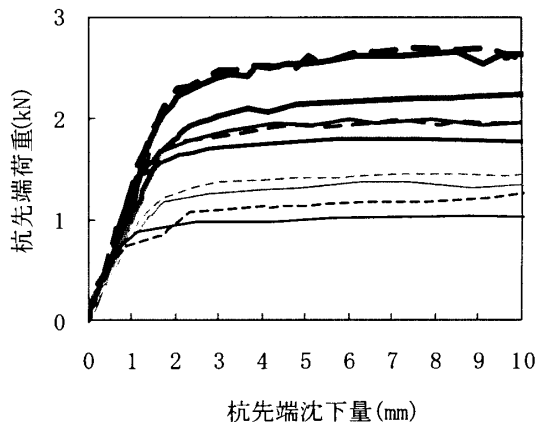
薄層厚	0	1d	2d	3d	4d	15d
相対密度	高密度地盤 $D_r=93\%$ , 一般地盤 $D_r=46\%$					
実験記号	LL	LD1L	LD2L	LD3L	LD4L	LD
土槽断面	[断面図]					



(a) 圧入施工



(b) 鉛直載荷



(c) 鉛直載荷 (沈下初期)

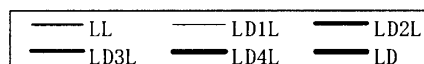


図4 杭先端荷重-杭先端沈下量関係

2) 鉛直載荷実験

各モデルにおける鉛直載荷時の杭先端荷重－杭先端沈下量関係を図4 (b) に、沈下初期の様子を拡大したものを図4 (c) に示す。

沈下のごく初期の1mm付近では、各モデルによる差はみられず、薄層は杭先端荷重に影響を与えていない。これは圧入施工後に杭頭荷重を除荷したことによるもので、再載荷による過圧密地盤の弾性変形によるものと考えられる。さらに載荷重を大きくすると再び地中への貫入が始まり、各モデルで異なる杭先端荷重を示し、溶射の影響による違いはほとんどみられなかった。

LDnLモデルにおいては薄層厚  $n$  に対して  $0.1nd$  沈下した所で荷重がピークを迎え、ピーク後減少する傾向がみられる。これはコアが薄層を打ち抜き、薄層以深の一般地盤の影響を受け始める為と考えられる。

各モデルにおける鉛直載荷時の杭先端降伏荷重の比較を図5 (a) に、そのLDモデルとの比較を図5 (b) に示す。それによると、特に薄層厚  $n$  が小さいときに、薄層厚の増加による荷重の上昇が著しい。薄層厚が厚くなるにつれて荷重増加は緩やかになりLDモデルに近似する。 $2d$ 程度でも、LDモデルに対して7割以上の支持力を有する。

3. 2 全周面抵抗力

1) 圧入施工時挙動

各モデルにおける圧入施工時の全周面抵抗力－杭先端沈下量関係を図6 (a) に示す。それによると、全モデルにおいて溶射杭の周面抵抗力がストレート杭よりも大きく、溶射加工により周面抵抗力が増大した様子が観測できた。特に沈下初期において周面抵抗力が非常に大きく働く様子がみられる。薄層厚の違いによる差はみられず、杭先端荷重でみられた薄層手前での荷重の変化がみられないことから、周面抵抗力は薄層厚の影響を受けないと考えられる。

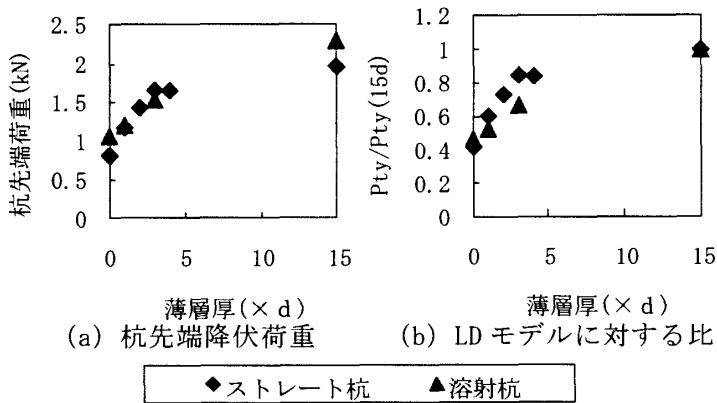
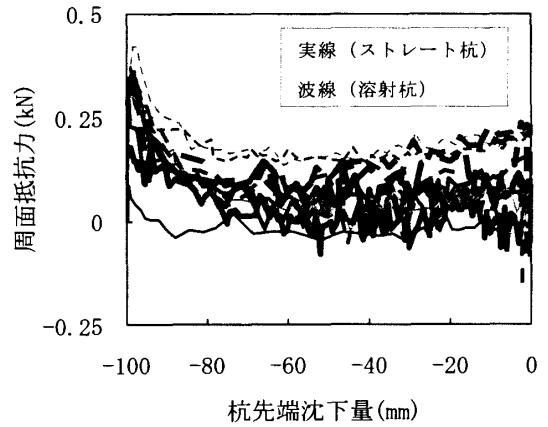


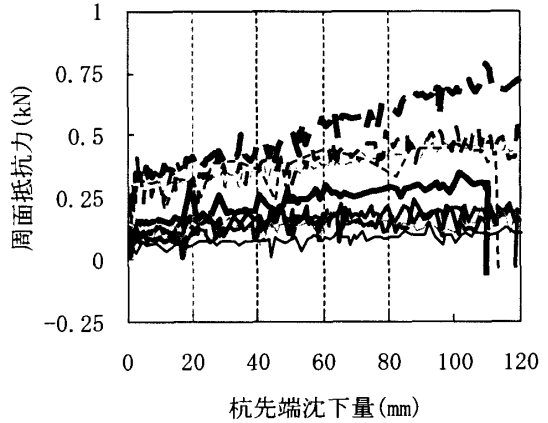
図5 杭先端降伏荷重

2) 鉛直載荷実験

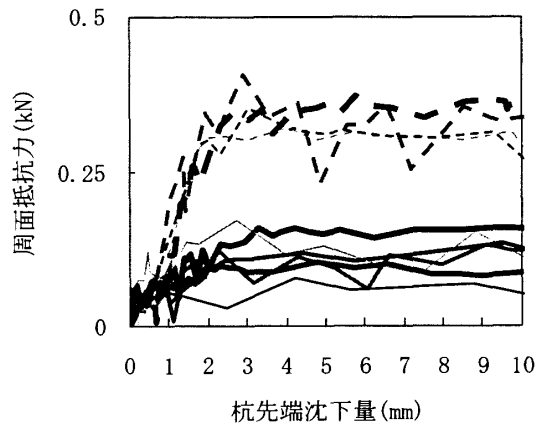
各モデルにおける鉛直載荷時の全周面抵抗力－杭先端沈下量関係を図6 (b) に、沈下初期の様子を拡大したものを図6 (c) に示す。杭先端荷重の場合と同様に、沈下初期の1mm程度のときには各モデルによる差はみられず、薄層は周面抵抗力に影響を与えていない。また、施工初期にみられた大きな周面抵抗力も現れない。載荷初期の周面



(a) 圧入施工



(b) 鉛直載荷



(c) 鉛直載荷 (沈下初期)

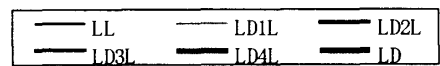


図6 全周面抵抗力－杭先端沈下量関係

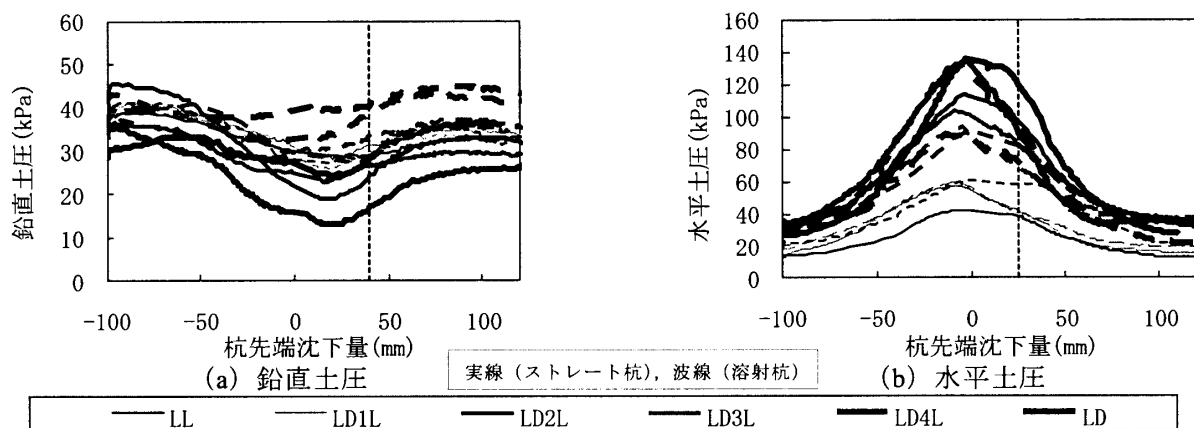


図7 土中土圧－杭先端沈下量関係（設置断面2）

抵抗力は極めて小さいが、1mm程沈下が進むと溶射杭の周面抵抗力は急激に増加する。この時の周面抵抗力は、施工終了時までには発揮された周面抵抗力より明らかに多いことから、鉛直荷重によるD層への貫入が周面抵抗力を増大させていることが分かる特にD層が厚いLDモデルではその傾向が顕著である。

### 3. 3土圧

杭の貫入に伴う土圧計設置断面2の鉛直土圧－杭先端沈下量関係を図7(a)に、水平土圧－杭先端沈下量関係を図7(b)に示す。なお、鉛直土圧は土圧計設置位置を、水平土圧は土圧計中心位置を黒の点線で示す。

#### 1) 鉛直土圧

薄層厚の違いによる土中土圧の変化に明確な差はみられなかった一方で、溶射加工の有無による差は顕著に表れ、溶射杭の方が杭近傍の鉛直土圧を増加させる効果大きいことがわかる。これは溶射杭の周面から伝達された地中応力が地盤を押し下げたためと考えられる。

#### 2) 水平土圧

水平土圧の推移は鉛直土圧と逆になるのが特徴である。また、水平土圧に関しては薄層厚の増加に伴って、大きく増大して鉛直土圧とは異なる傾向がみられた。水平土圧の増加は杭周辺地盤の側方への推移が大きく影響すると思われる。

鉛直荷重が始まると水平土圧は明確に低下した。これは、鉛直荷重開始時点で杭先端下部に形成されたコアが土圧計設置断面に近づいており、土圧計近傍地盤への杭の貫入に伴う負のダイレイタンスが生じたものと推察している。今後の解析的

・理論的な検証によってその詳細なメカニズムの解明が望まれる。

### 4. まとめ

本報告では圧入杭の支持力特性に与える杭周面粗さの影響を薄層地盤と関係づけながら検討してきたが、以下のようにまとめられる。

- ①. 模型杭の周面に溶射加工を施すことにより、杭周面抵抗力を大幅に増加できた。
- ②. 杭周面粗さの違いが杭先端荷重に及ぼす影響はほとんどない。
- ③. 杭が接触する砂地盤の密度の増大（薄層地盤の存在）は、載荷時の杭周面抵抗力の増加に寄与する。
- ④. 溶射杭の周面から伝達された地中応力が地盤を押し下げるため、鉛直土圧は増加する。
- ⑤. 杭の圧入施工に伴って、薄層地盤の水平土圧は大きく増加するが、薄層上端から荷重が始まると逆に大きく減少する。これらは杭周辺地盤のダイレイタンスの影響と推察する。

### 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, No80, pp125-128, 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, No81, pp47-50, 2008. 6.
- 3) 上田祥弘, 土屋 勉, 島田正夫, 他: 薄層に圧入した杭の挙動に関する模型実験, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No82, pp193-196, 2009. 7.

\*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 専門技術職員  
 \*4 千代田工営(株)

Graduate Student, Muroran Inst. of Teac.  
 Professor, Muroran Inst. of Teah., Dr. Eng.  
 Technician, Muroran Inst. of Tech.  
 Chiyoda Geotech Co., Ltd.