

薄層地盤に施工される各種杭工法の支持力特性に関する模型実験

正会員 ○石川隆太*1 正会員 土屋 勉*2
 正会員 島田正夫*3 非会員 池田篤則*4
 正会員 若松宏輔*5 正会員 佐藤 光*1

2. 構造－4. 基礎構造－e. 杭（鉛直）
 回転貫入杭，模型実験，薄層

1. はじめに

軟弱層が深い地盤において、支持層よりも浅い位置に比較的密度の高い砂層（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・ラフト基礎においては、このような薄層の積極的な利用が考えられる。

本報告では、比較的大型の加圧土槽に薄層を再現した模型砂地盤を作製して、施工法の異なる3種類の模型杭の施工および載荷実験を実施し、施工時の杭先端面荷重や鉛直支持力性能について検討した。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は、図1のように大型の円柱加圧土槽、回転貫入装置、載荷フレーム等で構成されている。模型地盤は砂試料に東北硅砂6号を用い、ネットを介した空中落下法（NN法）により作製する。この際、サンドレーナーに取り付けたノズルの口径を変化させることで密度を調整し、一般地盤と薄層地盤を作製する。

模型杭を図2に示す。先端面荷重と羽根面荷重を独立して測定できるように、2重管構造として、ひずみゲージにより応力を測定した。

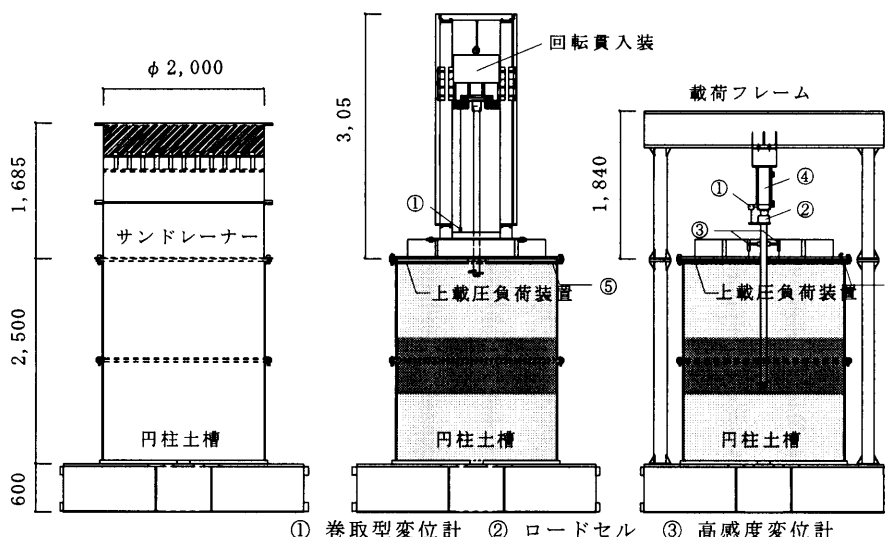
回転貫入杭の施工実験は、地盤作製後、上載圧を负荷させた状態で所定の深度まで回転貫入させ、引き続き上載圧を維持したままで残留応力の推移を測定する。

圧入杭の施工実験は、地盤作製後、上載圧を负荷させた状態で所定の深度まで断続的に連続載荷を行う。

埋設杭の施工実験は、杭先端以深の地盤作製後、杭を建て込んで杭周囲地盤を作製して、上載圧を负荷させる。

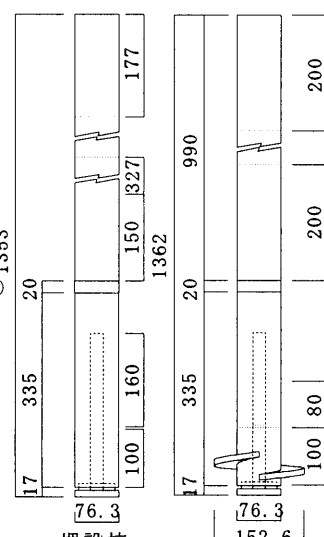
施工実験終了後における各杭の載荷実験では、上載圧を负荷させた状態で、杭頭への段階載荷を実施する。

表1は実験条件の一覧であり、モデル名は地盤の相対密度（低密度:L, 高密度:D）、数字は薄層厚を示している。なお、表中の換算N値は、相対密度および上載圧を考慮してMeyerhofが導いた次式で求めた値である。



① 巻取型変位計 ② ロードセル ③ 高感度変位計
 ④ 油圧ジャッキ ⑤ 空気圧

図1 実験装置 [mm]



埋設杭 < 圧入杭 > < 回転貫入杭 >
 図2 模型杭 [mm]

Model tests of pile installation and bearing capacity of pile on thin sand layer.

ISHIKAWA Ryuta et al.

$$N = \frac{D_r^2(0.01\sigma_v' + 0.7)}{441}$$

ここで、 D_r : 相対密度 (%)
 σ_v' : 有効上載圧 (kN/m²)

3. 実験結果および考察

ここでは、薄層地盤の標準モデルとして LD2L を取り上げ、支持層地盤 LD や支持層のない地盤 LL における実験結果と比較検討する。

3. 1 施工中の挙動

図 3 は施工中の杭先端面荷重を薄層上面から杭先端面までの距離の関係で表したものである。回転貫入杭の杭先端面荷重は圧入杭の 10~20%程度である。これは螺旋羽根による杭先端付近地盤の拘束圧低減作用によるものであり、回転貫入杭の優れた施工性を表している。圧入杭は薄層手前 200mm 付近から徐々に杭先端面荷重が増加するが、LD2L は LD に比べ増加量が小さい。それに対して、回転貫入杭は薄層手前 100mm 付近から杭先端面荷重が急増し、LD2L と LD の増加量は同程度である。このことから、回転貫入杭は圧入杭よりも、施工中における薄層厚の影響を受け難いといえる。

図 4 は施工中における杭周面荷重を薄層上面から杭先端面までの距離の関係で表したものである。値そのものが小さく、明確な比較は難しいが、回転貫入杭の方が圧入杭よりも小さな値となっている。杭軸部の回転運動が周面摩擦をカットしていることを反映したと考えられる。また、LD ではほとんど 0 となっていることから、施工中の回転軸がぶれて杭周面と地盤の間に隙間が生じた可能性も考えられる。圧入杭の杭周面荷重をみると、LD2L は施工の初期段階を除き、ほぼ一定になるのに対して、LD では杭先端面が薄層の手前 200mm 付近から増大している。この時点で杭先端近傍の地盤の拘束圧が上昇したものと推察される。

杭先端面荷重 (N/mm²) 杭先端面荷重 (N/mm²)

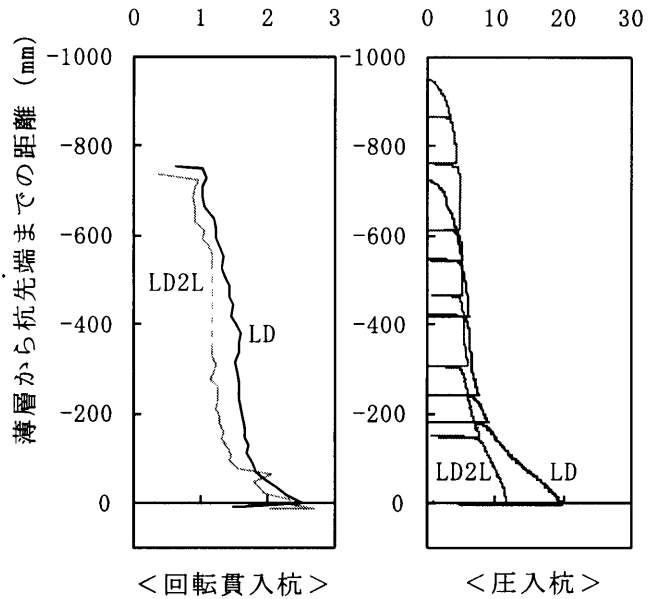


図 3 杭先端面荷重～沈下量関係 (施工時)

杭周面荷重 (N/mm²) 杭周面荷重 (N/mm²)

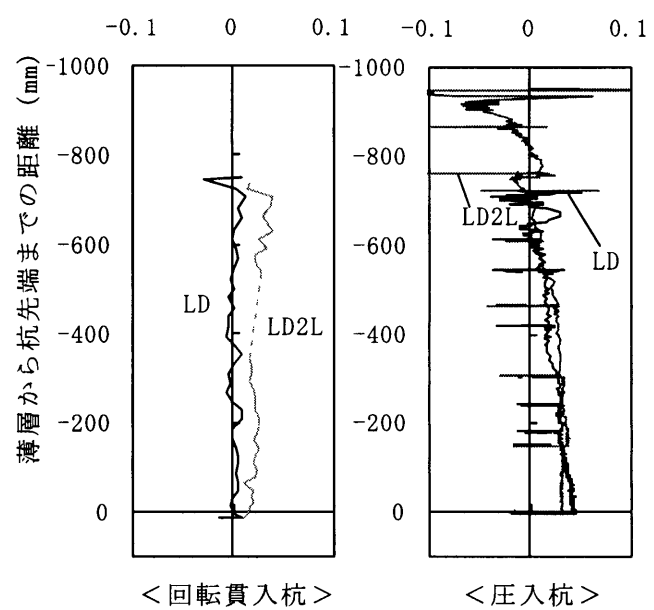


図 4 杭周面荷重～沈下量関係 (施工時)

表 1 実験条件一覧

実験名称	LL	LD	LD2L	LL	LD	LD2L	LL	LD	LD2L
杭施工法	回転貫入(W)			圧入(J)			埋設(B)		
杭径 d_0 (mm)	76.3								
羽根径 d_s (mm)	152.6						—		
地盤	均一	二層	薄層	均一	二層	薄層	均一	二層	薄層
上載圧 σ_v' (kN/m ²)	100								
相対密度 D_r (%)	薄層	98(37)	98(37)	—	96(35)	98(37)	—	98(37)	98(37)
(換算N値)	その他	32(4)	51(10)	51(10)	43(7)	51(10)	43(7)	51(10)	51(10)
薄層厚 ($\times d_0$)	0	20	2	0	20	2	0	20	2
模式図									

3. 2 施工に伴う残留応力

図 5 は杭先端面について施工中の最大荷重と施工後の残留応力をまとめたものである。圧入杭の杭先端面応力は $0.7 \sim 1.0 \text{ N/mm}^2$ で、ほとんど残留応力が発生していない。それに対して、回転貫入杭では LD で 1.5 N/mm^2 程度、LD2L で 1.0 N/mm^2 程度で、施工中の最大応力に対して、LD で 60%、LD2L で 40% を占める残留応力が発生した。これらは、回転貫入杭の杭先端面には地盤の復元力に対して羽根面がアンカーの役割を果たしたことにより発生したと考えられる。

3. 3 鉛直載荷時の挙動

(1) 杭先端面荷重

図 6 は鉛直載荷試験における杭先端面荷重～沈下度関係であり、載荷開始時を原点として整理している。

(a) の回転貫入杭では、沈下初期において LD2L と LD が概ね一致している。初期の沈下剛性に関しては、軸径の 2 倍（羽根径）程度以上の薄層を有する地盤は支持層と同等とみなせるものと思われる。

(b) の圧入杭では、載荷の全過程で LD2L の杭先端面荷重が LL よりも大きく、LD より小さい。LD2L 程度の層厚では、杭圧入による杭先端近傍の拘束圧の上昇が LD 程顕著ではないことを反映しているものと考えられる。また、LD2L では載荷重が約 $0.3d_0$ 沈下時でピークに達した後減少する傾向がある。

(c) の埋設杭では、LD2L の先端面荷重は明らかに LL よりも大きく、載荷の初期段階では LD に近似した値を示している。ただし、載荷が進むにつれて LD2L と LD の杭先端面荷重の差が顕著になって、大沈下時の LD2L は LL の挙動にむしろ近くなる。

(2) 杭先端の沈下剛性

図 7 は各種杭工法について、杭先端面の初期沈下剛性の比較である。初期沈下剛性とは基準荷重の $1/3$ 時点における剛性であり、その時点での杭先端面荷重を沈下量で除して求めた。基準荷重は沈下量が軸径の 10% に達した時の荷重とした。

回転貫入杭や埋設杭については LD と LD2L で概ね同様の初期沈下剛性を有する。それに対して、圧入杭では LD2L の初期沈下剛性は LD の半分程度であり、薄層厚が軸径の 2 倍程度では支持層と同等の初期沈下剛性を確保できないことがわかる。この原因として、施工時に発生した圧入杭先端のコアが、薄層以深の一般地盤に接近したためと考えられる。

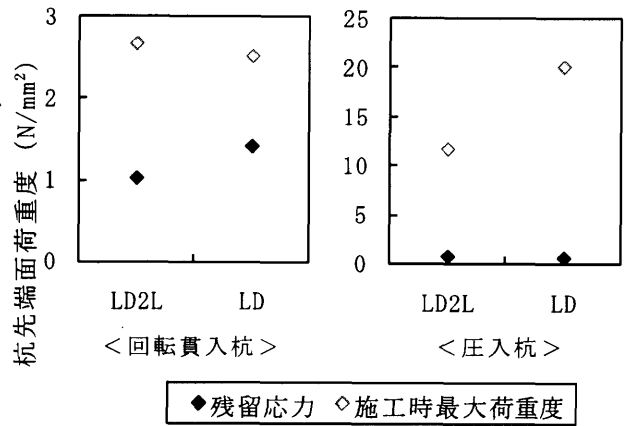


図 5 杭先端面残留応力

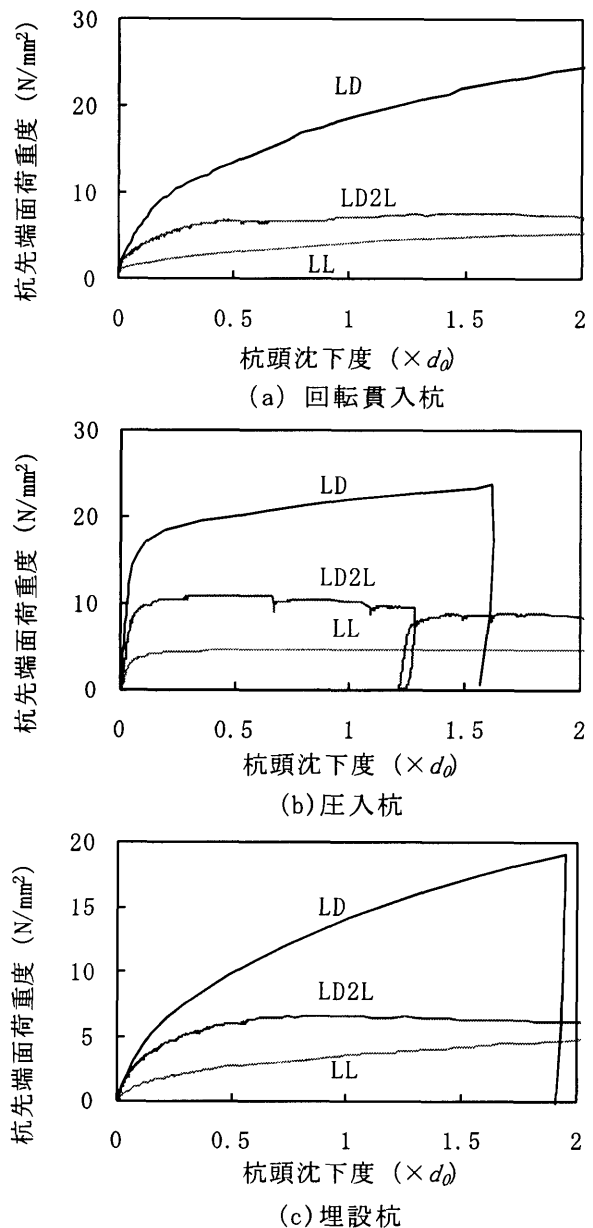


図 6 杭先端面荷重～沈下度関係（沈下時）

(3) 杭周面荷重

図 8 は鉛直載荷試験における杭周面荷重度～沈下度関係であり、載荷開始時を原点として整理している。

(a)の回転貫入杭では、杭周面荷重度は全てのモデルにおいて $0.1d_0$ 程度で最大値を示す。その後、LD は定常状態となるのに対し、LD2L は減少傾向を示す。LL についても同様の傾向である。

(b)の圧入杭では、LD が LD2L および LL より大きな値を示す。これは施工時に引き続き、杭周面の拘束圧が上昇しているためである。

(c)の埋設杭では、回転貫入杭および圧入杭とは異なり LD と LD2L の値が概ね同等となる。このことから、 $2d_0$ 程度の沈下度の範囲において、薄層厚の影響はほとんどないといえる。

4. まとめ

薄層地盤と支持層地盤に施工された各種杭工法の挙動を比較することで、以下の知見が得られた。

- ① 施工中における、圧入杭の杭先端面荷重度は杭先端以深の地盤構成によって大きく異なるが、回転貫入杭のそれは薄層地盤と支持層地盤でほぼ同様である。
- ② 極限支持力は地盤種別によって大きく異なるが、初期の沈下剛性は圧入杭を除き薄層地盤と支持層地盤であまり変わらない。
- ③ 薄層地盤においては、杭工法に関わらず極限支持力に達した後、沈下の進行に伴い杭先端面荷重が減少する傾向がある。
- ④ 回転貫入杭と圧入杭の、杭周面荷重度は杭先端部の薄層厚の影響を受ける。

【参考文献】

- 1) 土屋勉, 大杉富美一, 他: 回転貫入杭の貫入・支持力性能に関する模型実験, 日本建築学会構造系論文集, No620, pp.75-80, 2007. 10.
- 2) 島田正夫, 土屋勉, 他: 回転貫入の貫入・支持力に関する二層地盤での模型実験, 第 42 回地盤工学研究発表会, pp.1215-1216, 2007. 7.
- 3) 池田和正, 土屋勉, 他: 模型実験による薄層の先端支持性能に関する研究, 日本建築学会大会梗概集, B1 構造(I), pp.597-598, 2008. 9.
- 4) 佐藤光, 土屋勉, 他: 回転貫入杭の施工時応力および鉛直支持力に及ぼす薄層厚の影響, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No82, 2009. 7 (投稿中).

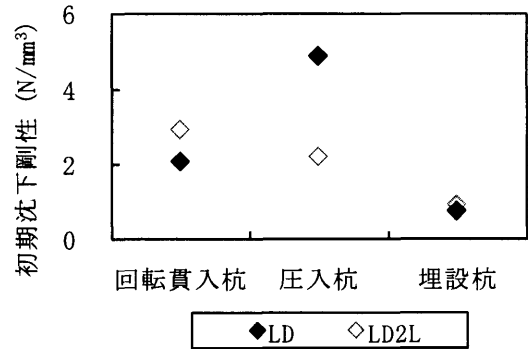
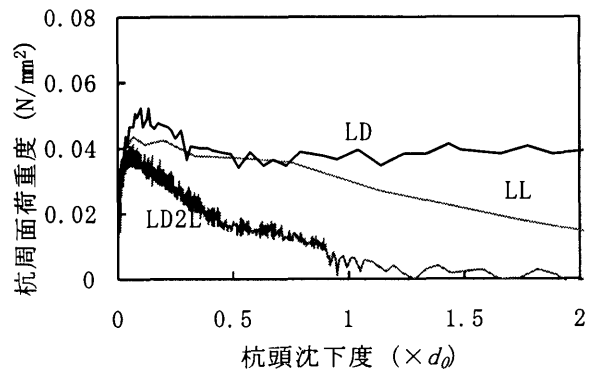
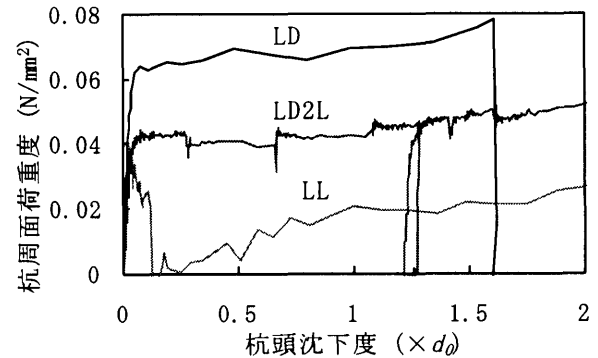


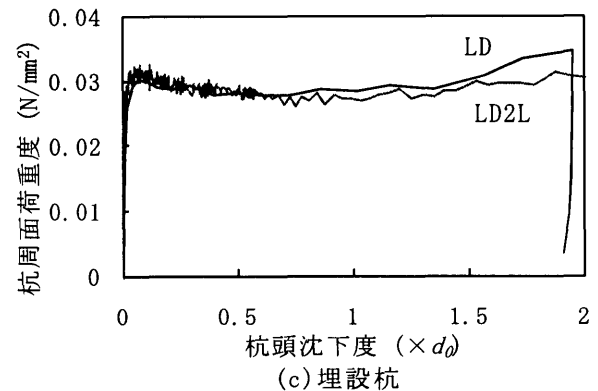
図 7 初期沈下剛性 (杭先端面)



(a) 回転貫入杭



(b) 圧入杭



(c) 埋設杭

図 8 杭周面荷重度～沈下度関係 (沈下時)

*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 室蘭工業大学大学院 博士後期課程 修士(工学)

*5 (株) 北海道日建設計 修士(工学)

Graduate School, Muroran Inst. of Tech.

Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.

Technician, Muroran Inst. of Tech.

Graduate School, Muroran Inst. of Tech., M.Eng.

Hokkaido Nikken Sekkei Co., Ltd., M.Eng.