

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

正会員 ○佐藤 光^{*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}非会員 内海真理子^{*6}

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) が介在する場合がある. 従来はこの層を貫通させてより深い支持層に杭支持されるのが一般的であったが, 最近では環境負荷の軽減を図った社会資本整備が求められるようになり, 建築基礎構造においても杭材料, 掘削土量, コスト等の削減が必要になっている.

当研究室では, そのような観点から大型および三軸土槽を利用し, 薄層地盤における模型杭の鉛直支持力に関する検討^{1)~3)}を進めてきた.

本報告では, 回転貫入杭と薄層の組み合わせに着目して, 回転貫入杭の施工および載荷時の挙動に及ぼす薄層厚さの影響について検討する.

2. 実験装置および実験方法

実験装置を図1に示す. 模型地盤は東北珪砂6号であって, ネットを介した空中落下法 (NN法) により作製する. 一般地盤と薄層地盤の区別は, 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ている.

回転貫入杭の施工実験は, 地盤作製後, 上載圧を負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. その後, 上載圧を負荷させた状態で杭頭への段階載荷による鉛直載荷実験を実施する.

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.

3. 施工時応力に及ぼす影響

図2は, 施工時における杭体各部の応力および杭体トルクの変化を薄層上面から杭先端面までの距離の関係で描いたものである. なお, 各部荷重

度は各部荷重を各部面積で除した値であり, 引張力を負, 圧縮力を正としている. また, 貫入率は1回転当たりの貫入量を羽根ピッチで除した値である. それらによると, 杭先端面荷重, 羽根面荷重, 杭頭近傍杭体トルクおよび貫入率は薄層手前100mmから急増もしくは急減する. また, そ

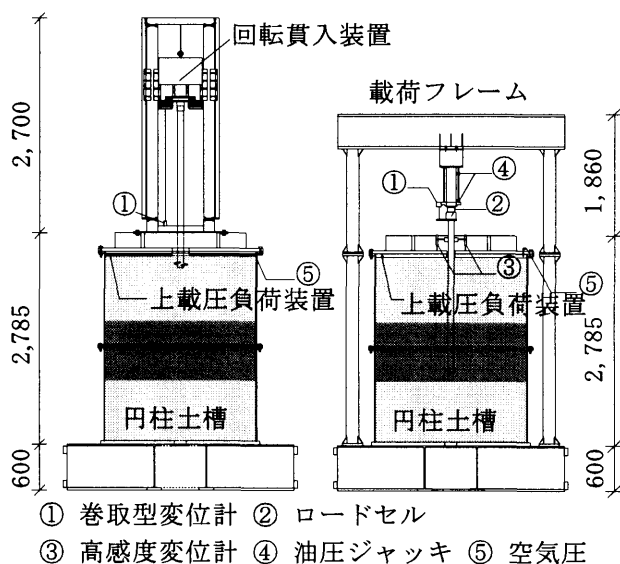


図1 実験装置[mm]

表1 実験条件

実験名称		LL	LD	LD1L	LD2L	LD4L	LD6L
杭施工法		回転貫入					
杭径 d_o (mm)		76.3					
羽根径 d_p (mm)		152.6					
地盤		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)			
(換算N値)		その他		32 (4) 51 (10)			
薄層厚 ($\times d_o$)		0	20	1	2	4	6
模式図							

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

SATO Hikaru et al.

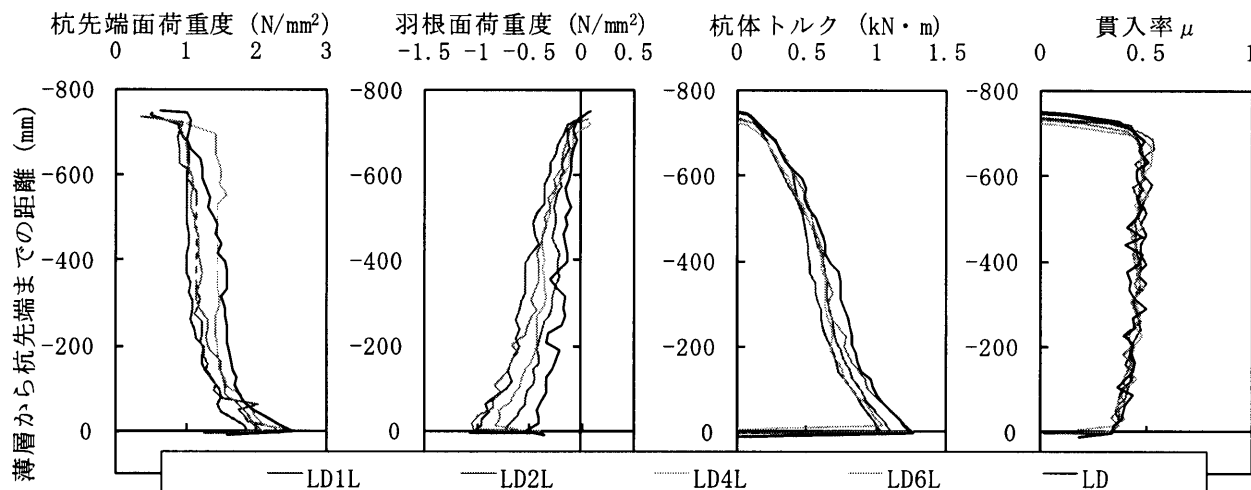


図2 施工時の各部応力、杭体トルクおよび貫入率

これらの変化量は薄層厚の違いに関わらず概ね同程度であることから、高密度な薄層地盤深度が推定可能となり、杭の打ち止め管理の指標となり得る。

図3は、打ち止め管理に無関係な施工開始直後（400mm程度以内）を除いた回転貫入杭の杭先端面荷重と杭頭近傍杭体トルクの関係である。杭先端面荷重は杭頭近傍杭体トルクと相関性があり、次のような一次式で近似できる。杭径毎にこのような関係式が得られれば、実務においても施工時における杭先端面荷重を容易に推測できる。

$$P_b = 8.40 T_t$$

ここで、 P_b ：杭先端面荷重（kN）

T_t ：杭頭近傍杭体トルク（kN・m）

図4は、杭先端面の残留応力と施工終了直後からの経過時間の関係である。なお、0.3hour付近の値のズレはモータ荷重4.3kNを除荷したためである。モータ荷重除荷後、地盤の復元力により杭先端面荷重度はやや増加傾向を示すが、2hourでおおよそ0.8～1.5kN程度の一定値に収束する。二層地盤のLDが最も残留応力が大きい、薄層厚の違いによる明確な傾向はみられない。

3. 鉛直載荷時に及ぼす影響

図5および図6は、杭体各部の荷重度～沈下度関係について、載荷直前を原点として示す。杭先端面および羽根面荷重度共に薄層地盤における曲線は、LD1Lを除いて沈下初期にはLDと概ね一致するが、沈下の進行に伴い薄層厚が薄いものからそれぞれの曲線に分岐していく。大沈下時には、杭先端面および羽根面荷重度共に最大値を示した後低下する傾向がある。

表2は、杭先端面および羽根面荷重度の変化点

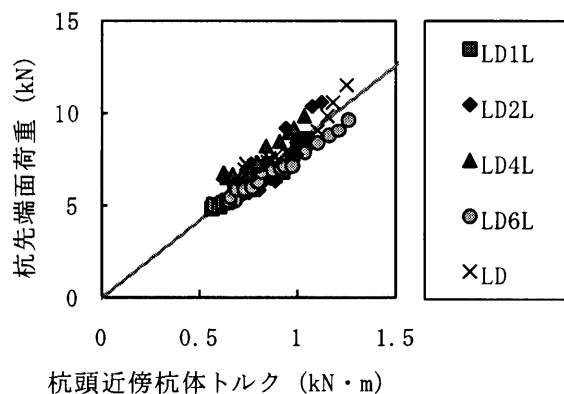


図3 杭先端面荷重と杭頭近傍杭体トルクの関係

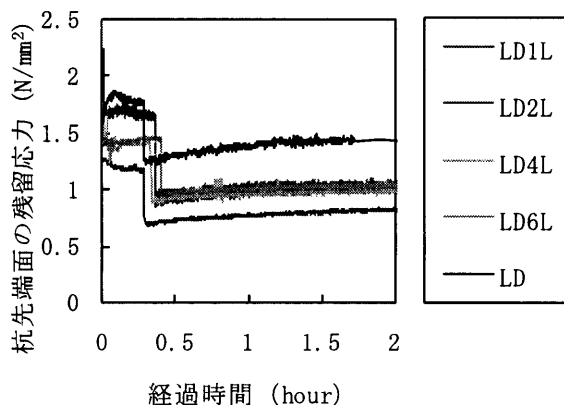


図4 杭先端面荷重度～経過時間

を $\log P \sim \log S_0$ 法および $\angle S_0 / \angle \log t \sim P$ 法により求めたものである。変化点は杭先端面に3カ所、羽根面に2カ所みられた。杭先端面には、沈下量 $0.01d_0$ 程度までの極めて初期の沈下時に変化点①'があり、薄層厚に関わらず概ね同程度の値であった。これらの値と載荷開始時に残留していた杭先端面荷重度の和は施工時の最大荷重と概ね一致していた。従って、変化点①'は施工時の履歴

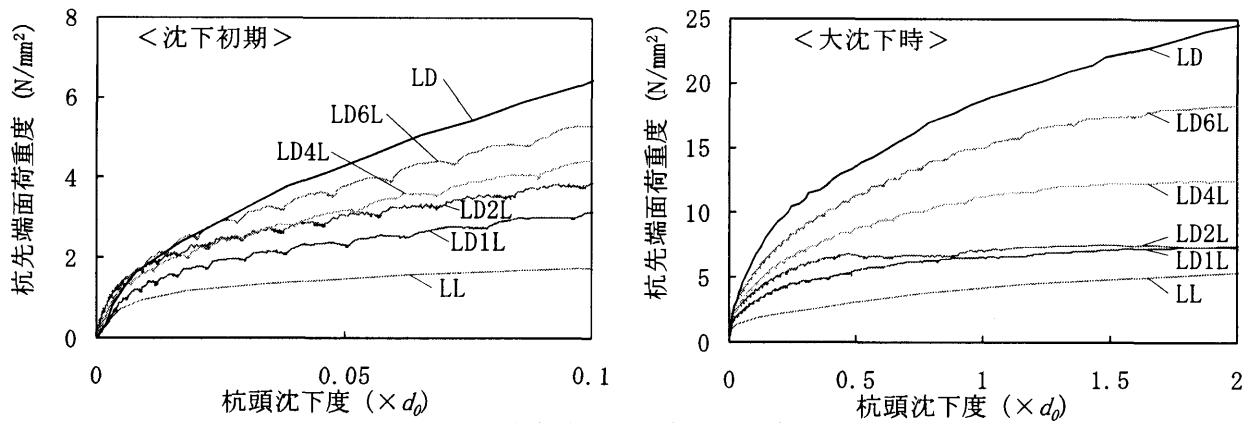


図5 杭先端面荷重～沈下度関係

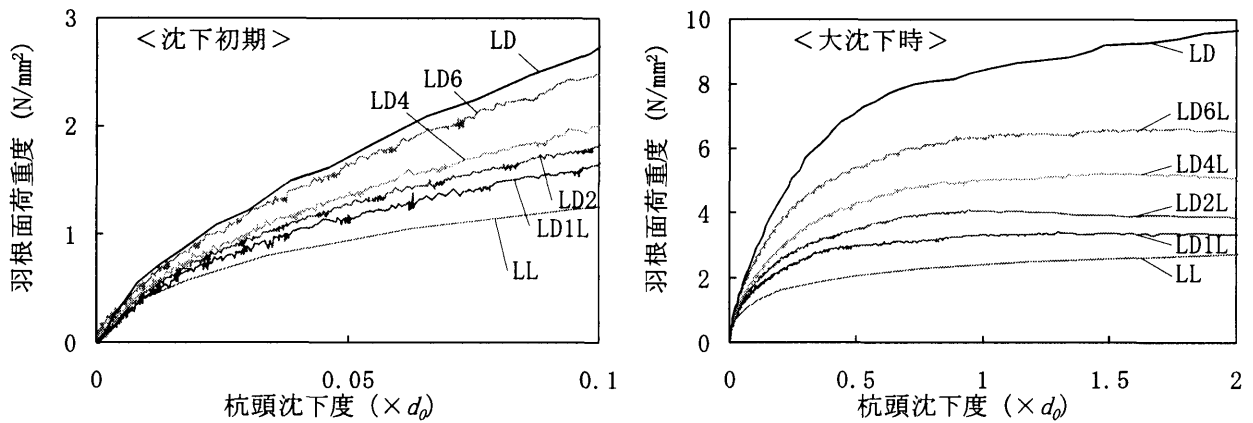


図6 羽根面荷重～沈下度関係

表2 荷重の変化点

実験名	杭先端面 (N/mm ²)						羽根面 (N/mm ²)			
	①'		①		②		①		②	
	(× d ₀)	(N/mm ²)	(× d ₀)	(N/mm ²)	(× d ₀)	(N/mm ²)	(× d ₀)	(N/mm ²)	(× d ₀)	(N/mm ²)
LD1L	0.006	0.94	0.25	4.4	0.89	6.3	0.25	2.3	0.55	3.0
LD2L	0.005	1.27	0.18	4.9	0.42	6.6	0.19	2.5	0.45	3.3
LD4L	0.003	0.87	0.30	7.0	1.18	11.5	0.24	3.1	0.71	4.7
LD6L	0.006	1.33	0.23	7.8	1.37	16.7	0.19	3.5	0.92	6.2
LD	0.006	1.29	0.21	9.6	1.93	24.2	0.25	5.0	0.65	7.8

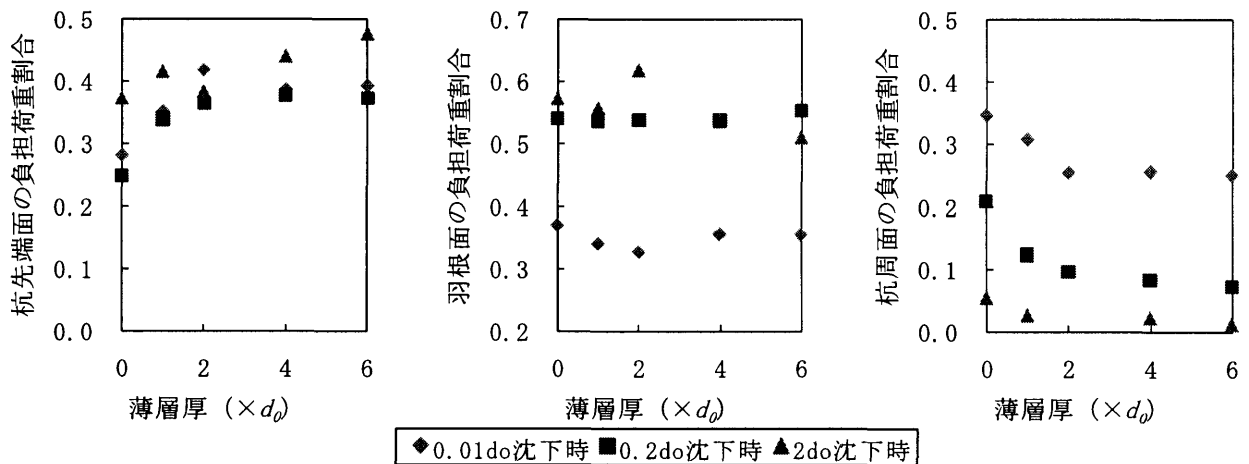


図7 荷重負担割合と薄層厚の関係

荷重による影響を表わすものと考えられる。沈下量 $0.25d_0$ 程度に現れる変化点①は、杭先端面および羽根面共に、薄層厚に関わらず同程度の沈下時に現れ、その点の荷重度は薄層が厚い程大きくなる傾向がある。一方、変化点②は、薄層厚が厚い程、荷重度と共に沈下量も大きくなる傾向がある。また、変化点②は杭先端面の方が羽根面よりも大沈下時に現れる。

図 7 は、 $0.01d_0$ 、 $0.2d_0 (=0.1d_w)$ 、 $2d_0 (=1d_w)$ 沈下時に着目して、杭頭に対する杭体各部の負担荷重の割合と薄層厚の関係を示したものである。全体的な傾向としては、羽根面の荷重負担割合は薄層厚に関わらず一定になるが、 $2d_0$ よりも薄い薄層厚では杭先端面の荷重負担割合は小さくなり、杭周面の荷重負担割合が逆に大きくなる。また、沈下初期の $0.01d_0$ 時については、杭周面の値が大きく、羽根面の値が小さくなる。これは、羽根面が薄層の若干手前に位置するので羽根下面に低密度地盤があることや施工時に発生する羽根下面の空洞の影響²⁾によるものと考えられる。

表 3 は、 $0.01d_0$ 沈下時、 $0.2d_0 (=0.1d_w)$ 沈下時および $2d_0 (=1d_w)$ 時の杭頭荷重度を示したものである。表中の括弧内は支持層モデル LD に対する杭頭荷重度の比であって、図 8 にはこれと薄層厚の関係を示した。それによると、沈下量が小さい時点程 LD の値に近いことがわかる。 $0.01d_0$ 沈下時では、薄層厚 $2d_0$ 以上で薄層厚の影響をほとんど受けず、LD の 90% 程度となり、沈下初期については薄層厚 $2d_0$ 以上で支持層と同等として扱える。 $0.2d_0 (=0.1d_w)$ 沈下時では、概ね薄層厚に比例して増加し、薄層厚 $6d_0 (=3d_w)$ で LD に対して 80% 程度の値となる。 $2d_0 (=1d_w)$ 沈下時では、薄層を貫通することもあり、 $2d_0 (=1d_w)$ 程度の薄層厚による支持力増加はほとんどみられない。

4. まとめ

本論文で得られた知見を以下に示す。

- ①. 薄層上端面までの施工において、杭先端面荷重、羽根面荷重、杭体トルクおよび貫入率は薄層厚に関わらず同様な挙動であり、打ち止め管理の指標になる。

表 3 各沈下時の杭頭荷重度

実験名	$0.01d_0$ 沈下時 (N/mm^2)		$0.2d_0$ 沈下時 (N/mm^2)		$2d_0$ 沈下時 (N/mm^2)	
LL	3.4	(0.70)	40.4	(0.36)	65.6	(0.26)
LD1L	3.7	(0.78)	56.0	(0.50)	81.9	(0.32)
LD2L	4.3	(0.89)	64.0	(0.57)	86.1	(0.34)
LD4L	4.2	(0.88)	74.2	(0.66)	129.3	(0.51)
LD6L	4.8	(0.99)	90.5	(0.81)	174.6	(0.69)
LD	4.8	(1.00)	112.1	(1.00)	253.8	(1.00)

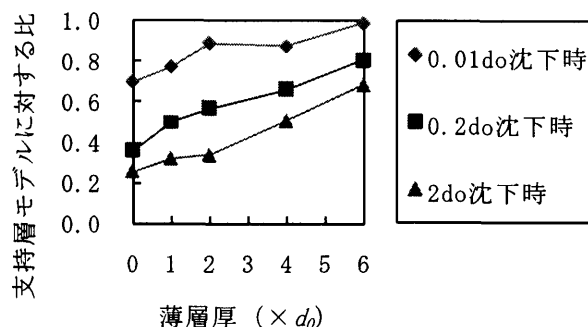


図 8 支持層モデル LD に対する比と薄層厚の関係

- ②. 載荷初期 (沈下量 $0.01d_0$) における杭体各部の挙動は、薄層厚の影響をほとんど受けない。
- ③. $0.2d_0 (=0.1d_w)$ 沈下時の杭頭荷重は、薄層厚にほぼ比例して増加し、杭径の 6 倍 (羽根径の 3 倍) の薄層地盤では支持層地盤の 80% 程度になる。

【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, No. 620, pp. 75-80, 2007. 10.
- 2) 中沢楓太, 土屋勉, 他: 回転貫入杭の支持力性能に及ぼす打ち止め方式の影響, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 80, pp. 129-132, 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) 石川隆太, 土屋勉, 他: 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, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 82, 2009. 7 (投稿中)。

*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)

*6 栃木アンカー工業 (株)

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.

Tochigi Anchor Kougyou Co., Ltd.