

薄層地盤における杭の鉛直支持力算定法の検討

正会員 ○佐藤 光^{*1}正会員 土屋 勉^{*2}正会員 池田篤則^{*3}正会員 島田正夫^{*4}会員外 鈴木真純^{*5}

2. 構造—4. 基礎構造—e. 杭 (鉛直)

回転貫入杭, 模型実験, 薄層, 支持力算定式

1. はじめに

通常の支持層よりも浅い位置に比較的密な砂層 (以下, 薄層と呼ぶ) が存在する場合がある. 薄層を有効に利用すれば, 工期や工費に関して有利に働くものと考えられる. しかし, このような薄層地盤に対する支持力の評価法は確立していない.

一般に杭の鉛直支持力の算定は, 標準貫入試験で得られる杭近傍における地盤の N 値に基づいて行われる. 建築学会の基礎指針¹⁾によれば, この場合の N 値の採用範囲は杭径 d を基準にして, 打ち込み杭で杭先端から下へ $1d$ ~ 上へ $4d$, 場所打ち杭や埋め込み杭で杭先端から下へ $1d$ ~ 上へ $1d$ の範囲となっている. 回転貫入杭工法では, 羽根径 d_w を基準にして, 羽根取り付け深度から下へ $1d_w$ ~ 上へ $1d_w$ となっているものが多い. しかし, 杭先端で深の N 値が変化する地盤においては, 危険側の評価をする可能性があることから, 薄層地盤に支持させる場合には, N 値の採用範囲に関する検討が必要と考える.

また, 回転貫入杭では杭 1 本毎に杭施工時の種々の情報が得られる. これらの情報を杭の打ち

止め管理のみならず, 杭の支持力推定に利用できれば, 回転貫入杭の品質は格段に向上するものと思われる.

これらを背景として, 当研究室では薄層を再現した比較的大型の加圧土槽における施工法の異なる 3 種の杭工法の挙動に関する模型実験^{2),3)}を行ってきた. 本報告では, 模型実験結果に基づいて, 地盤の N 値に基づいた杭の鉛直支持力算定式を誘導すると共に, 回転貫入杭の施工時に得られる杭体トルクに基づいた簡易的な支持力推定式について検討を行う.

2. 実験装置および実験方法

実験装置は, 図 1 のように大型加圧土槽, 上載圧荷装置, サンドレーナー, 回転貫入装置, 載荷フレーム等で構成されている. 東北珪砂 6 号の乾燥砂をノズルとネットを取り付けたサンドレーナーを用いて空中落下させることにより, 模型地盤を作製する. このとき, ノズルの口径を変化させることで地盤の相対密度を調整し, 一般地盤と薄層地盤を作製した.

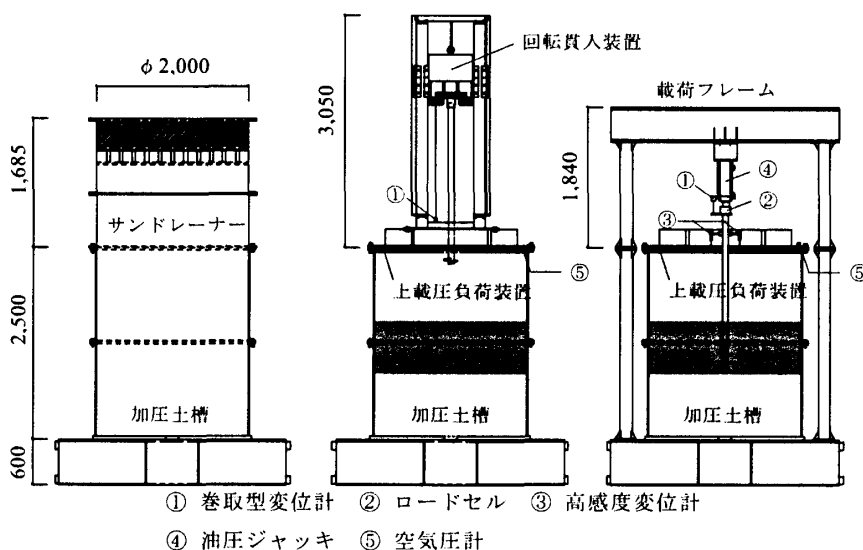
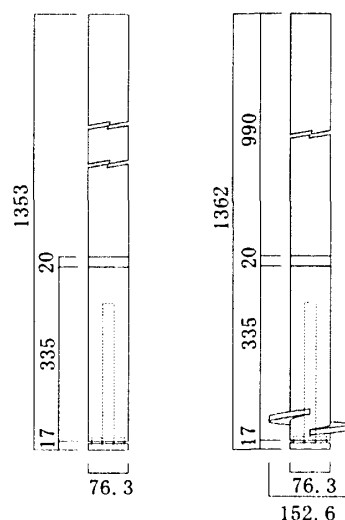


図 1 実験装置 [mm]



< 圧入杭 > < 埋設杭 > < 回転貫入杭 >

図 2 模型杭 [mm]

Estimation of bearing capacity of piles in a calibration chamber on thin sand layer.

SATO Hikaru et al.

模型杭を図2に示す。圧入工法および埋設工法に用いる杭は、杭径 $d_0=76.3\text{mm}$ の閉端の鋼管杭であり、回転貫入杭はそれに直径 $d_w=152.6\text{mm}(=2d_0)$ の螺旋状の羽根を一巻き溶接している。鋼管内面に貼付したひずみゲージにより応力を測定する。また、杭先端面および羽根面荷重をそれぞれ独立して測定するために二重管構造とした。

回転貫入杭 (W) および圧入杭 (J) の施工実験は、地盤作製後、上載圧を負荷した状態で、回転貫入装置または油圧ジャッキによりそれぞれ所定の深度まで杭を貫入させる。埋設杭 (B) は杭先端面以深の地盤作製後、杭を建て込んだ状態で杭周囲の地盤を作製する。施工実験終了後における各杭の載荷実験では、上載圧を負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るが、地盤構成を変化させて上記3種類の杭工法について実験を行った。地盤条件は、均一地盤、二層地盤および薄層地盤であって、モデル名は地表面からの地盤構成 (Lは低密度地盤, Dは高密度地盤) を表す。なお、薄層地盤モデルの数値は杭軸径 d_0 に対する薄層厚の比を示している。また、回転貫入杭の二層地盤モデルについては、施工時の根入れ深さを変化させた実験も実施しており、モデル名の後の数値は羽根径 d_w を基準とした根入れ深さを表している。

3. 載荷試験結果

図3～図5は、鉛直載荷試験における各杭の荷重～沈下度関係について、載荷開始時を原点として整理したものである。

図3は、薄層厚の異なる回転貫入杭 (W) の先端部荷重と沈下度 (S/d_w) の関係であり、薄層厚が大きくなるにつれて極限荷重および初期剛性が大きくなっている。ここでの先端部荷重とは、杭先端面と羽根面に作用する荷重の合計を杭先端

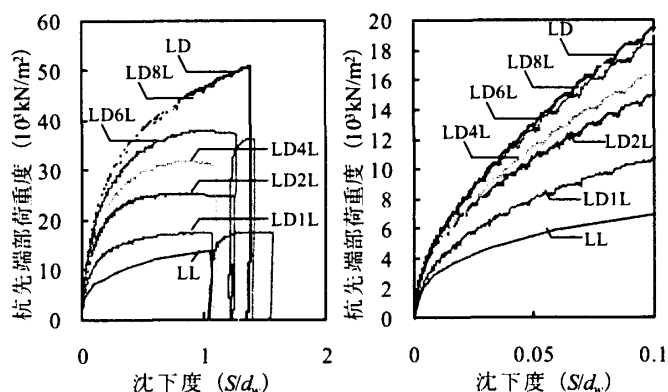


図3 杭先端部荷重～沈下度関係(回転貫入杭)

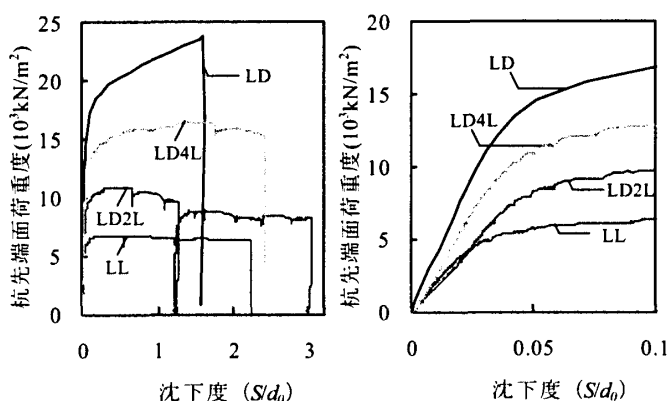


図4 杭先端面荷重～沈下度関係(圧入杭)

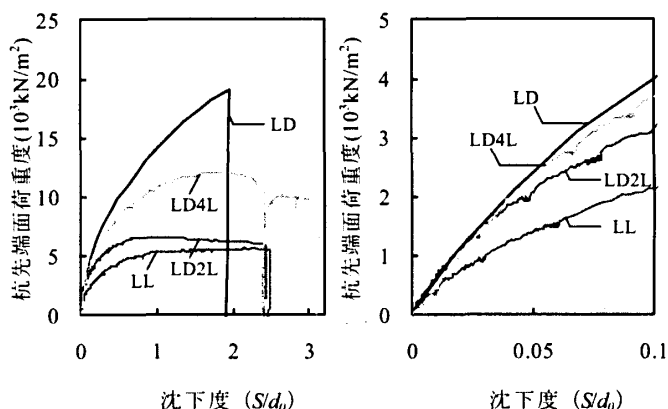


図5 杭先端面荷重～沈下度関係(埋設杭)

表1 実験条件一覧

地盤条件	均一地盤	薄層地盤					二層地盤					均一地盤
モデル名	LL	LD1L	LD2L	LD4L	LD6L	LD8L	LD	LD-1.0	LD-0.5	LD+0.5	LD+1.0	DD
杭施工法	W,J,B	W	W,J,B	W	W,J,B	W	W,J,B	W	W	W	W	W,J,B
上載圧 σ_v (kPa)	100											
相対密度 D_r (%) 【換算A値】	高密度	98 【37】					96~98 【36~37】					
	低密度	32~44 【4~7】	44~51 【7~10】					32~51 【4~10】				
薄層厚 ($\times d_0$)		1	2	4	6	8						
地盤構成 および杭設置位置												

表 2 平均 N 値(\bar{N})一覧

採用範囲 (d_0)	\bar{N}													
	LL	LD1L	LD2L	LD2L'	LD4L	LD4L'	LD6L	LD8L	LD	LD-1.0	LD-0.5	LD+0.5	LD+1.0	DD
1	3.9	35.5	35.5	37.0	35.5	37.0	35.5	37.0	37.0	3.9	3.9	37.0	37.0	37.0
2		22.8												
3		18.5	27.0	27.2						15.0	27.3			
4		16.4	22.8	22.2						20.5	29.7			
5		15.1	20.2	19.3	30.4	31.1				23.8	31.2			
6		14.3	18.5	17.3	27.0	27.2				26.0	32.2			
7		13.7	17.3	15.9	24.6	24.4	31.9			27.6	32.9			
8		13.2	16.4	14.9	22.8	22.2	29.2			28.8	33.4			
9		12.9	15.7	14.0	21.4	20.6	27.0	33.7		29.7	33.8			
10		12.6	15.1	13.4	20.2	19.3	25.3	31.1		30.4	34.1			

の軸部面積で除したものを指す。

図 4 および図 5 は、圧入杭(J)および埋設杭(B)の杭先端面荷重と沈下度 (S/d_0) の関係であるが、薄層厚さによる影響を大きく受けていることが分かる。

4. 平均 N 値に基づく各杭の支持力算定式

杭先端面以深の地盤の平均 N 値 (\bar{N}) に基づいて、杭体各部の支持力算定式を誘導する。

表 2 は、 N 値の採用範囲を杭先端から下へ $1 \sim 10d_0$ まで変化させたときの各実験地盤の \bar{N} である。なお、本報告の N 値は相対密度および上載圧を考慮して Meyerhof が導いた次式による換算 N 値である。

$$N = D_r^2 (0.01 \sigma_v' + 0.7) / 441$$

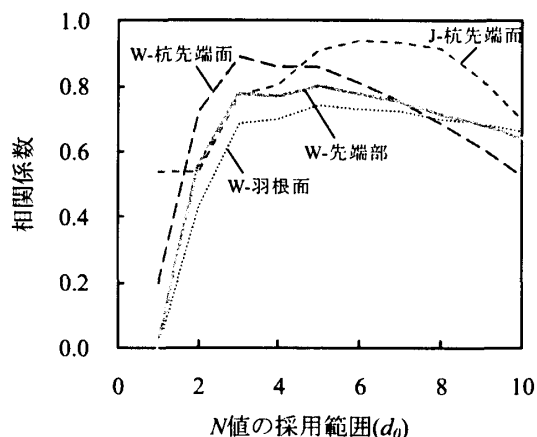
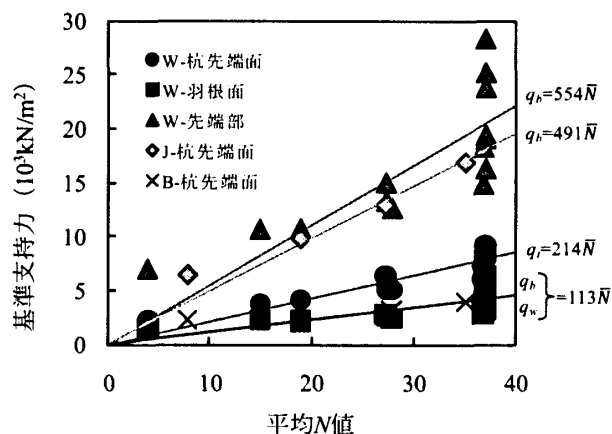
ここで、 D_r : 相対密度 (%)

σ_v' : 上載圧 (kPa)

それぞれの採用範囲について、回転貫入杭は $0.1d_0$ 沈下時、圧入杭および埋設杭は $0.1d_0$ 沈下時を基準荷重とみなし、 \bar{N} との関係プロットした。これらの点に対して原点を通る線形近似を行うことにより、以下のように N 値に基づく杭の支持力算定式の誘導を試みる。

図 6 は、 N 値の採用範囲における支持力算定式の相関係数をプロットしたものである。これによると、高い相関関係を示す N 値の採用範囲は、回転貫入杭の各部では $3d_0$ 、圧入杭では $6d_0$ 程度である。圧入杭の採用範囲が回転貫入杭よりも大きいことは、杭施工時に及ぼす杭先端面以深への影響が広いことを反映しているものと考えられる。

図 7 は、図 6 で相関性が高い範囲における \bar{N} と基準支持力の関係である。これより、最終的に得られた各杭工法支持力算定式を、 N 値の採用範囲と共に表 3 に示した。

図 6 相関係数と N 値採用範囲の関係図 7 基準支持力と \bar{N} の関係表 3 \bar{N} に基づく支持力式

		支持力式 (kN/m^2)	N 値の 採用範囲	相関係数 (R)
回転貫入杭 (W)	杭先端面	$q_r = 214\bar{N}$	$3d_0$	0.89
	羽根面	$q_n = 113\bar{N}$		0.69
	先端部	$q_h = 554\bar{N}$		0.77
圧入杭(J)(杭先端面)		$q_h = 491\bar{N}$	$6d_0$	0.94
埋設杭(B)(杭先端面)		$q_h = 113\bar{N}$	$3d_0$	—

5. 打ち止め情報に基づく回転貫入杭の支持力推定式

図8は回転貫入杭における打ち止め時の先端トルク (T_b) および杭頭トルク (T_o) と基準支持力時における杭先端部荷重および杭頭荷重の関係である。両者の間には概ね比例関係があり、 N 値に基づく支持力算定式と同様に原点を通る1次式で近似可能である。特に、杭頭トルクは一般の実施工でも容易に測定可能であることから、打ち止め管理の指標のみならず、杭の鉛直支持力を概略推定する簡便法として有効と考える。本実験により求めた支持力推定式を以下に示す。

- (1) 回転貫入杭の杭先端部支持力 R_b (kN)

$$R_b = 96.1T_b, (R=0.85)$$

$$R_b = 56.0T_o, (R=0.72)$$

- (2) 回転貫入杭の杭頭支持力 R_o (kN)

$$R_o = 105.7T_b, (R=0.88)$$

$$R_o = 61.5T_o, (R=0.87)$$

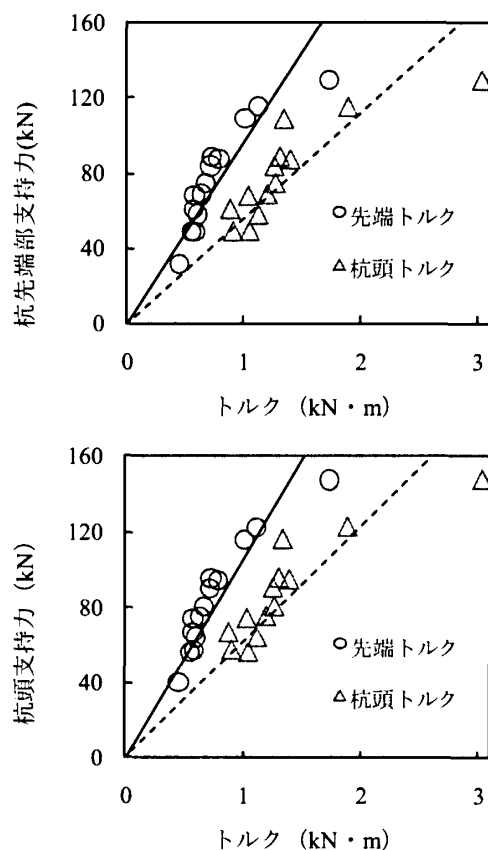


図8 打ち止めトルクと基準支持力の関係

6. 誘導した回転貫入杭の支持力式と実測値の比較

図9は、上記の平均 N 値および杭頭トルクから得られる回転貫入杭の杭先端部の基準支持力に着目して、鉛直載荷実験結果と比較したものである。平均 N 値および杭頭トルクに基づく杭先端部支持力は、薄層厚の大きさに関わらず概ね実測値との差が小さく、有効な算定法であると云える。

7. まとめ

薄層地盤に施工された各種杭工法の鉛直載荷試験結果を利用して、地盤の平均 N 値および杭頭トルク（回転貫入杭）に基づいた支持力式の構築を行ったが、以下のようにまとめられる。

- ①. 回転貫入杭および圧入杭の基準支持力と平均 N 値の関係は原点を通る線形近似で表される。杭先端以深の N 値の採用範囲は、杭工法毎に異なり、建築学会の基礎指針よりも広がる。
- ②. 回転貫入杭においては、打ち止め時の杭頭傍トルクと鉛直支持力は相関性が高く、概ね原点を通る1次式で近似できる。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001.10.
- 2) 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, pp.185-188, 2009.7.
- 3) 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, No82, pp.189-192, 2009.7.

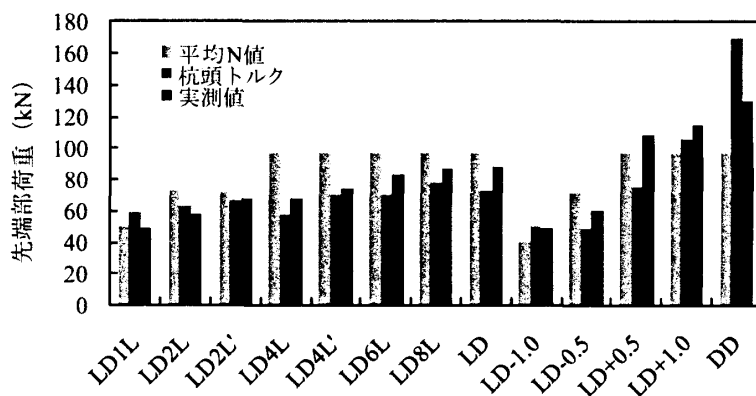


図9 杭先端部支持力推定値と実測値

*1 (株) ドーコン・工修
 *2 室蘭工業大学大学院 教授・工博
 *3 室蘭工業大学大学院 博士後期課程・工修
 *4 室蘭工業大学 専門技術職員
 *5 (株) 大林組

Docon Co., Ltd., M.Eng.
 Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.
 Graduate School, Muroran Inst. of Tech., M.Eng.
 Technician, Muroran Inst. of Tech.
 Obayashi Co., Ltd.