

## 羽根面と杭先端面の支持力機構に基づいた回転貫入杭の鉛直支持力算定式

正会員 ○池田篤則\*<sup>1</sup> 同 土屋 勉\*<sup>2</sup>  
同 永井 宏\*<sup>3</sup>

## 2. 構造—4. 基礎構造—e. 杭 (鉛直)

## 回転貫入杭, 模型実験, 支持力算定式

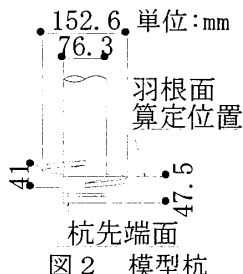
## 1. はじめに

回転貫入杭は小径から大径まで種々開発<sup>1)</sup>されているが, 先端支持力の評価は羽根を考慮した杭先端部の有効面積に地盤のN値を乗ずる方式で行われるのがほとんどである。しかし, 羽根面と杭軸部の先端面の抵抗を分離計測した大型模型実験<sup>2)</sup>によると, 両者の支持力機構が異なることが明らかになっている。

本報告では, 回転貫入杭の支持力を合理的に評価することを目的に, 載荷の進行に伴う羽根面と杭先端面の支持力発現状況を考慮した新たな支持力算定式の構築を試みる。なお, 本報告は著者らの実験結果<sup>3)</sup>を再整理してまとめたものである。

## 2. 実験概要

実験装置は, 図1に示すような大型の円柱土槽, 回転貫入装置, 上載圧負荷装置等で構成される。地盤材料は砂砂6号であり, ノズルとネットを介した空中落下法で作成している。模型杭の先端形状を図2に示す。模型杭は軸径76.3mm, 羽根径152.6mmであり, 各所にひずみゲージを貼付して軸力を計測している。また, 模型杭の先端部は二重管構造とし, 杭先端面荷重と羽根面荷重を独立して測定している。実験条件の一覧を表1に示すが, 杭形状と上載圧(100kPa)は全て同一条件とした。地盤構成は支持層を有する二層地盤もしくは杭先端部に密な薄層を有する薄層地盤としている。薄層地盤の場合のモデル名には, 薄層厚を杭径で除した値を付加している。二層地盤のモデル名には, 支持層への根入れ長を羽根径で除した値(正: 支持層より上で打ち止め,

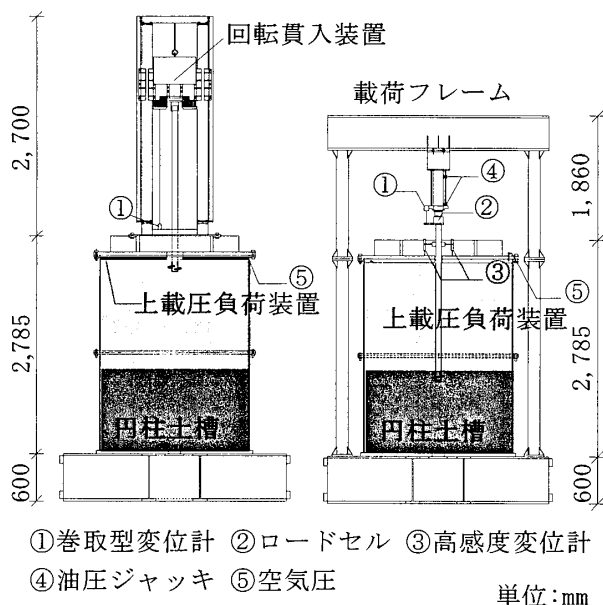


負: 支持層より下で打ち止め)を付加している。杭の設置手順や地盤の換算N値の算定法は既報<sup>3)</sup>と同様である。

## 3. 実験結果

## 3.1 載荷試験結果

載荷試験結果の一覧を表2に示す。表には杭頭変位が羽根径の10%に到達する基準荷重時を極限支持力として, その時の杭体各部の荷重を示している。長期許容支持力時は杭先端部荷重(杭先端面荷重+羽根面荷重)が極限支持力の1/3となった時の杭体各部の荷重を示している。杭の荷重—変位曲線については, LDモデルを代表として極限支持力までの範囲を図3に, 長期許容支持力までの範囲を図4に示す。また, 杭先端部に対する杭先端面および羽根部の負担割合を図5および図6に示している。



Study on vertical bearing capacity of screwed pile based on load shearing of helix and pile tip.

IKEDA Atsunori et al.

表 1 実験条件一覧

モデル名	LD1L	LD2L	LD4L	LD6L	LD8L	LD	LD+1.0	LD+0.5	LD-0.5	LD-1.0
地盤	薄層					二層				
上載圧 $\sigma_v'$ (kPa)	100									
相対密度 $D_r$ (%)	98 【37】									
【換算N値】	43~51 【7~11】									
根入れ長 ( $\times dw$ )	0	0	0	0	0	0	+1.0	+0.5	-0.5	-1.0
薄層厚 ( $\times d_0$ )	1	2	4	6	8	20	20	20	20	20
杭と地盤構成										

表 2 実験結果一覧

モデル名	長期許容支持力時					極限支持力時				
	杭頭変位 (mm)	杭先端面荷重 Rab (kN)	羽根面荷重 Raw (kN)	杭先端部荷重 Rap (kN)	杭頭荷重 Ra (kN)	杭頭変位 (mm)	杭先端面荷重 Rub (kN)	羽根面荷重 Ruw (kN)	杭先端部荷重 Rup (kN)	杭頭荷重 Ru (kN)
LD1L	0.60	7.1	9.3	16.3	22.0	15.62	19.0	30.1	49.0	56.0
LD2L	1.40	10.2	9.2	19.4	26.1	15.62	23.6	34.4	58.1	64.0
LD2L'	1.40	10.6	12.3	22.9	29.8	15.62	29.5	39.2	68.7	75.2
LD4L	1.76	10.7	12.0	22.7	28.7	15.62	27.9	40.0	67.9	74.2
LD4L'	0.70	11.0	13.9	24.9	32.2	15.62	30.7	44.0	74.7	80.5
LD6L	2.36	13.0	14.9	27.9	34.8	15.62	33.7	50.1	83.8	90.5
LD8L	0.92	11.0	18.3	29.4	42.2	15.62	36.7	51.4	88.1	94.6
LD	2.54	16.3	18.0	34.3	43.3	15.62	43.0	60.0	103.0	113.6
LD'	2.16	13.5	16.1	29.6	37.2	15.62	37.1	51.7	88.8	95.7
LD+1.0	1.61	9.8	6.8	16.7	23.4	15.62	18.0	32.0	50.0	58.7
LD+0.5	2.03	10.7	9.9	20.6	26.4	15.62	24.3	37.5	61.8	68.0
LD-0.5	2.45	17.9	19.2	37.1	44.5	15.62	42.9	68.3	111.2	118.1
LD-1.0	2.05	17.1	21.7	39.7	46.9	15.62	41.0	78.2	119.1	126.3

3. 2 杭先端面と羽根面の荷重分担

図3を見ると、極限支持力時では杭頭荷重に対して杭先端部は約9割を占めており、杭先端面に比べ羽根面の負担荷重がかなり大きい。図4を見ると、長期許容支持力時では杭頭荷重に対して杭先端部は約8割であり、羽根面の荷重は杭先端面よりもわずかに大きいだけである。

杭先端面と羽根面の負担割合を示した図5を見ると、変位が増加するのに従い杭先端面の負担割合は減少し、羽根面の負担割合は増加しており、極限支持力時では杭先端面が約0.4、羽根面が約0.6である。長期許容支持力時での負担割合を示した図6を見ると、杭先端面が0.5弱、羽根面が0.5強である。変位が1mmよりも小さい範囲では羽根面が杭先端面よりも負担割合が小さい。このように、変位の進行に伴い杭先端面と羽根面の支持力に寄与する割合が変化していることが明確になった。

LD以外の他のモデルでも同様の傾向が見られたので、長期許容支持力の評価においては、極限

支持力に一律の安全率を与える方式は合理的とは言えない。

4. 支持力式の構築

前節の結果を踏まえて、極限支持力および長期許容支持力の算定においては、杭先端面と羽根面にそれぞれの寄与係数を導入する方式の構築を試みる。

4. 1 N値の評価方法

羽根面と杭先端面の支持力を分離して評価するために、地盤のN値の範囲をそれぞれ検討する。すなわち、各モデルの支持力実験結果と杭先端近傍の平均N値の関係をプロットしたのに対して、原点を通る近似直線の相関係数を求める。図7は平均N値の計算範囲を杭先端面から下方へ変化させた結果である。なお、範囲の表示は杭先端面は杭径、羽根面は羽根径で除した値としている。それによると、杭先端面の支持力は杭先端面より杭径の3倍、羽根面の支持力については羽根径の2.5倍の範囲が最も高い相関となっている。しかし、羽根面については羽根面下のゆるみ領域の存在、施工による羽根上面の締めりや羽根下部の土が羽根上面に回り込む現象といった、羽根面よりも上部の影響が大きいと考えられる。そこで、羽根下方だけでなく上方についても検討したものが図8となるが、羽根面基準と表示したものは、平均N値の範囲の基準位置が図2における羽根面算定位置である。図8によると、平均N値の算定範囲を羽根面より上は0.5dwで固定として、下への範囲を変化させた場合(図中の実線)、下へは2.5dwの範囲までとしたものが最も相関が高く、杭先端面から下方のみとした場

合（図中の破線）よりも優れている。羽根面よりも下 2.5dw, 上 0.5dw で高い相関を示したので, 次に, 下は 2.5dw で固定として, 上の範囲を変化させた（図中の点線）ところ, 上へは範囲を広げるほど相関が低下する結果となった。

以上のことから, 支持方式を求める際に用いる平均 N 値の範囲は次の通りとした。

杭先端面：杭先端面より下方へ杭径の 3 倍

羽根面：羽根面より下方へ羽根径の 2.5 倍, 上方へ 0.5 倍

なお, 図 7 および図 8 には既往の回転貫入杭で用いられることの多い N 値の範囲（杭先端面より上下に 1dw）における相関も示している。この場合, 相関係数は杭先端面で 0.30, 羽根面で 0.63 であり, 上記の範囲で求めた場合よりもかなり低い結果となっている。

#### 4. 2 支持方式の提案

上記で定めた範囲の平均 N 値と支持力の実験結果の関係をプロットし, 最小二乗法による原点を通る近似直線から支持方式を導いた。図 9 は極限支持力時, 図 10 は長期許容支持力時について求めた結果であり, これらの支持方式は以下の通りとなる。

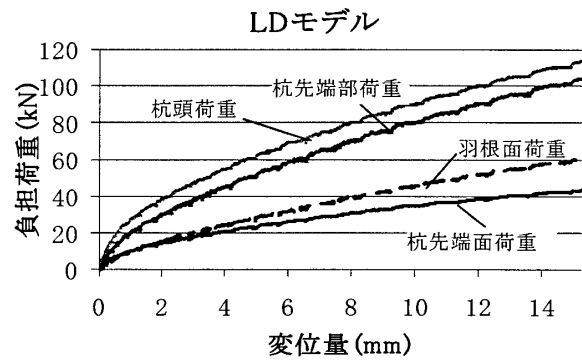


図 3 荷重-変位曲線（極限支持力時まで）

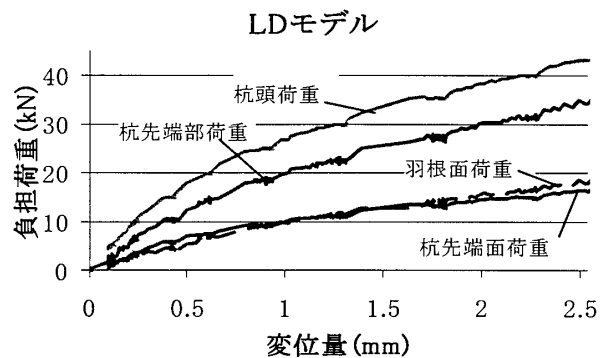


図 4 荷重-変位曲線（長期許容支持力時まで）

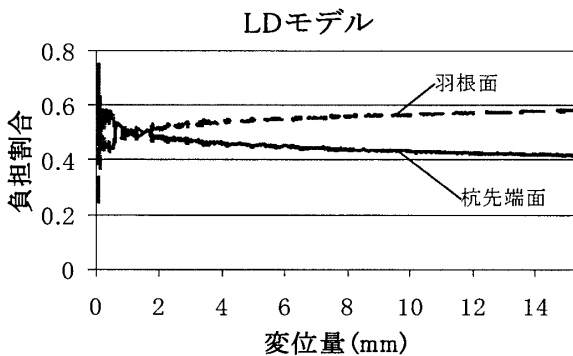


図 5 先端部の荷重負担割合（極限支持力時まで）

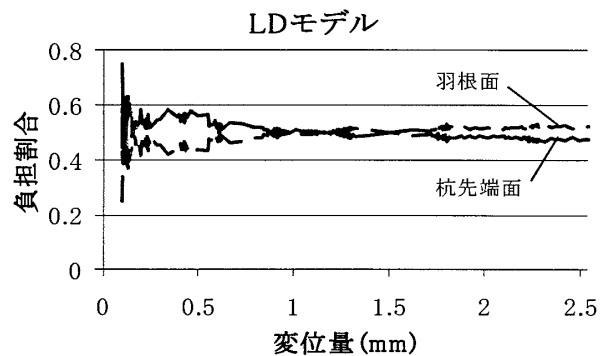


図 6 先端部の荷重負担割合（長期許容支持力時まで）

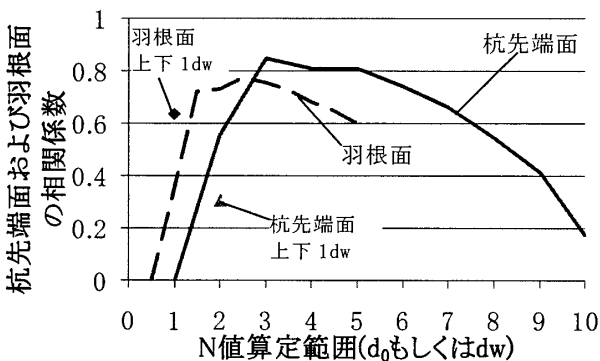


図 7 平均 N 値の範囲の検討-1

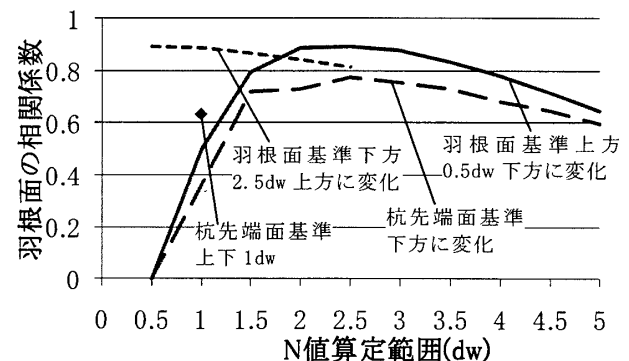


図 8 平均 N 値の範囲の検討-2

- ・極限支持力式 (kN) :  $R_{up}=215N_pA_p+137N_wA_w$
- ・長期許容支持力式 (kN) :  $R_{ap}=75N_pA_p+36N_wA_w$
- $N_p$  : 杭先端面の平均 N 値  
(杭先端面より下へ  $3d_0$  の範囲)
- $N_w$  : 羽根面の平均 N 値  
(羽根面より上へ  $0.5w$ , 下へ  $2.5dw$  の範囲)
- $A_p$  : 杭先端面積 ( $m^2$ )
- $A_w$  : 羽根面積 ( $m^2$ )

表3は採用した平均N値および上記の支持力式による計算結果を示している。図11および図12には、計算値と実験値の比較をそれぞれ極限支持力時および長期許容支持力時について示している。計算値と実測値の比は、極限支持力および長期許容支持力についてそれぞれ0.90および1.01であり、支持力計算式の精度は概ね良好と考えられる。

5. まとめ

以下の特徴を有する合理的な回転貫入杭の新しい支持力評価法を構築した。

- ①杭先端面と羽根面の支持力とN値の範囲をそれぞれ評価していること。
  - ②極限支持力および長期許容支持力において、杭先端面と羽根面の寄与率を考慮していること。
- 今後は、既往の原位置載荷試験結果と比較し、本報告の計算式の適用性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 土屋勉：回転貫入杭工法の動向と今後の課題，基礎工，Vol.34，No.11，pp.2-6，2006.11.
- 2) 土屋勉，大杉富美一，他：回転貫入杭の貫入・支持力特性に関する模型実験，日本建築学会構造系論文集，第620号，pp.75-80，2007.10.
- 3) 佐藤光，土屋勉，池田篤則，他：薄層地盤における杭の鉛直支持力算定法の検討，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.83，pp.143-146，2010.7.

表3 計算結果一覧

モデル名	平均N値		長期許容支持力時				極限支持力時		
	杭先端面	羽根面	杭先端面 Rab (kN)	羽根面 Raw (kN)	杭先端部 Rap (kN)	杭先端面 Rub (kN)	羽根面 Ruw (kN)	杭先端部 Rup (kN)	
LD1L	19.0	14.5	6.5	7.2	13.7	18.7	27.3	46.0	
LD2L	27.9	19.0	9.6	9.4	19.0	27.4	35.7	63.1	
LD2L'	27.3	15.0	9.4	7.4	16.8	26.8	28.1	54.9	
LD4L	36.8	27.9	12.6	13.8	26.4	36.2	52.4	88.6	
LD4L'	37.0	26.0	12.7	12.8	25.5	36.4	48.9	85.3	
LD6L	36.8	29.6	12.6	14.6	27.2	36.2	55.6	91.8	
LD8L	37.0	28.1	12.7	13.9	26.6	36.4	52.8	89.2	
LD	37.0	28.1	12.7	13.9	26.6	36.4	52.8	89.2	
LD'	37.0	28.1	12.7	13.9	26.6	36.4	52.8	89.2	
LD+1.0	15.0	17.1	5.1	8.4	13.5	14.7	32.0	46.7	
LD+0.5	27.3	22.6	9.4	11.1	20.5	26.9	42.4	69.3	
LD-0.5	37.0	33.6	12.7	16.6	29.3	36.4	63.1	99.5	
LD-1.0	37.0	37.0	12.7	18.3	31.0	36.4	69.6	106.0	

- \*1 室蘭工業大学大学院 博士後期課程
- \*2 室蘭工業大学大学院 教授・工博
- \*3 室蘭工業大学大学院 助教・博士 (工学)

- Graduate School, Muroran Inst. of Tech., M. Eng.
- Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng.
- Assistant Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng

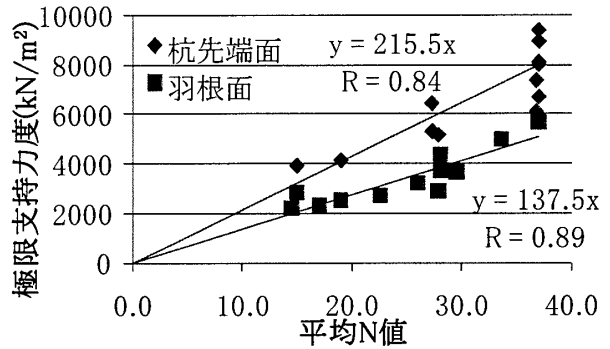


図9 極限支持力と平均N値の関係

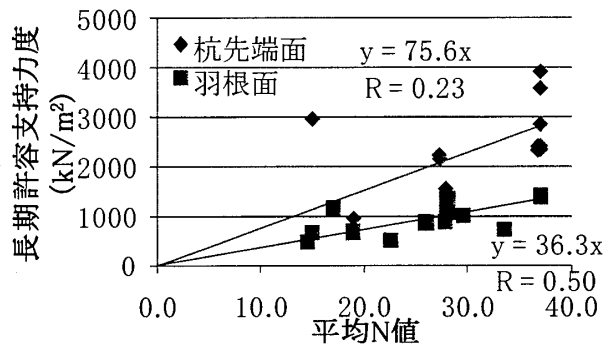


図10 長期許容支持力と平均N値の関係

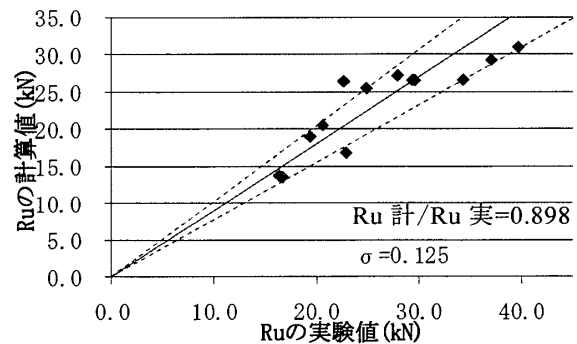


図11 極限支持力式の精度

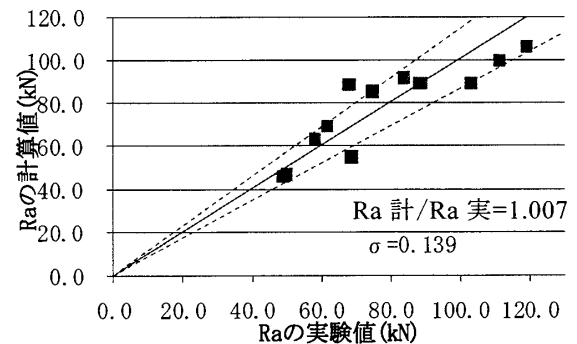


図12 長期許容支持力式の精度