

杭の鉛直支持性能に及ぼす施工法の影響

部門-細分類: 2.構造-4.基礎構造  
キーワード: 杭, 鉛直支持力, 模型実験

正会員 ○関沢康寛\*1  
同 土屋 勉\*2  
同 大杉富美一\*3  
佐藤隆行\*4

1. はじめに

最近, 杭の支持力特性を議論する場合, 杭施工中に排土を伴わない Displacement pile (例: 打込み杭) と排土を伴う Non-displacement pile (例: 場所打ち杭, 埋込み杭) に分類することが多い. 翼付き鋼管杭は回転貫入工法の一つであり, 先端部に取り付けた翼による回転推進力によって無排土で設置されることから, 一般的には Displacement pile に分類されよう. しかし, 杭貫入中に翼部で杭周面地盤が乱されることや, 翼部と杭先端部の支持力性能が十分に解明されていないことから, 分類に際しては注意が必要と考えられる. そこで本杭の他に, Displacement pile として圧入杭, Non-displacement pile として埋設杭について, 大型加圧土槽を利用した鉛直載荷実験を実施し, これらの鉛直支持性能について基本的な検討を行った. 設定した地盤や杭の施工法は文献<sup>1)</sup>に示したものと同じである.

2. 実験方法

2.1 実験装置

実験装置の概要を図-1に示す.

土槽は内径 2000mm, 深さ 2500mm の円柱形である. 土槽の内側面には砂との摩擦軽減対策としてシリコングリスを塗布したテフロンシートを三重に貼り付けた. 載荷フレームは, 土台, 支柱, 反力梁で構成されており, 土台は大型土槽に固定されている. 上載圧荷装置はエアコンプレッサに接続して, 空気圧により模型砂地盤に上載圧を負荷するもので, 直径 2000mm, 厚さ 50mm のドーナツ形状をしたゴム製空気袋である. 上盤の開口部(直径 114.3mm)に適合し, 砂地盤と上盤の間に装填できる. 模型杭の圧入や鉛直載荷実験では, 油圧ジャッキ(50kN, 200kN, 500kN)を用いている. ロードセル, 全ての歪ゲージや変位計等の各種センサーによる測定値は全て 計測端末に表示・記録される.

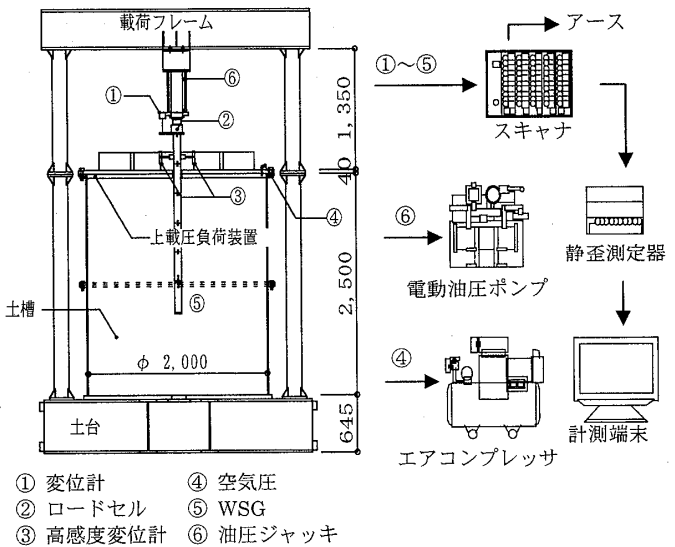


図-1 実験装置の概要

2.2 模型杭及び実験条件

翼付き鋼管杭(回転 1~2)の他に, 圧入や埋設用の杭(圧入 1~2, 埋設 1~2)を製作した. これらの形状を表-1および図-2に示す. 模型杭の材質は STK400, F値=235MPa, ヤング率 E=2.05×10<sup>5</sup>MPa である. 模型杭は文献<sup>1)</sup>に示した方法で施工され, 最終的な設置状況を図-3に示した. 上載圧はすべて 75kPa である. 載荷は多サイクル方式であり, 4サイクル目は杭および装置を損傷しない範囲で載荷重を増大させて測定を続けた. 荷重の保持時間は原則として, 新規荷重を 2分, 履歴荷重を 1分としたが, 模型杭の沈下がまだ進行している場合には保持時間を逐次延長した.

表-1 模型杭一覧

名称	直径 D <sub>o</sub> (mm)	軸厚 t <sub>o</sub> (mm)	杭長 L (mm)	内軸径 D <sub>i</sub> (mm)	ストローク (mm)	翼径 D <sub>w</sub> (mm)	翼厚 t <sub>w</sub> (mm)
回転1	101.6	12	2004	30	50	203.2	12
回転2	48.6	5.1	2007	18	40	97.2	6
圧入1	48.6	5.1	2007	18			
圧入2							
埋設1	76.3	7	2022	22			
埋設2	48.6	5.1	2007	18			

Effect of pile installation method on vertical bearing capacity of pile

SEKIZAWA Yasuhiro et al.

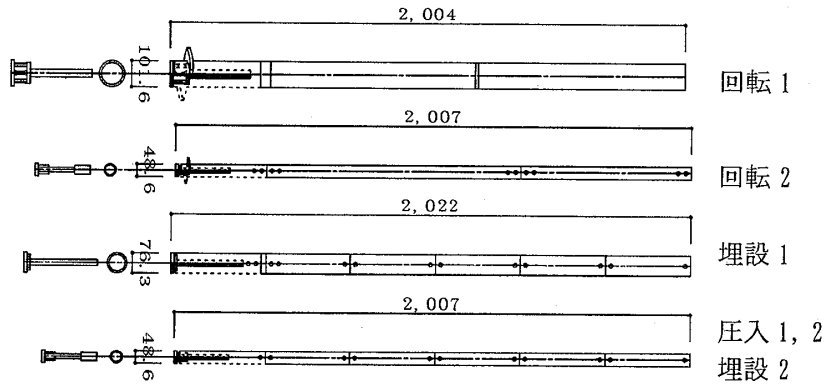


図-2 模型杭の形状

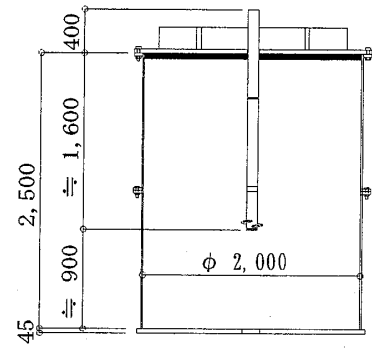


図-3 模型杭の設置状況

### 3. 実験結果および考察

表-2 は、各杭体でそれぞれ回転貫入、圧入、埋設施工後に実施した鉛直載荷試験結果をまとめたものであって、軸径の 10%、30% 沈下時、並びに最大荷重時点に着目して、各部の負担荷重と最終荷重時の沈下量を表示している。なお、これらの値は全て杭頭載荷開始時点をもととして整理しているので、施工中の残留応力は含まれていない。

表-2 実験結果一覧

実験名	10%沈下時の荷重				30%沈下時の荷重				最大荷重				最終沈下量 (mm)
	杭頭	杭先端	翼	杭周面	杭頭	杭先端	翼	杭周面	杭頭	杭先端	翼	杭周面	
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
回転1	105.4	22.4	43.7	39.3	173.5	46.3	85.7	41.4	361.9	137.1	186.5	38.2	227.0
回転2	27.9	3.9	11.7	12.4	45.8	8.9	22.8	14.0	80.6	31.5	38.2	10.9	151.6
圧入1	36.1	23.9	無し	12.2	38.5	26.4	無し	12.0	45.2	31.3	無し	13.9	134.6
圧入2	34.2	21.4		12.9	42.2	27.1		15.2	49.1	31.3		17.8	59.3
埋設1	19.2	8.8		10.4	29.0	17.6		11.4	54.9	41.8		13.1	157.0
埋設2	10.8	5.9		4.9	12.8	8.8		4.0	36.0	26.8		9.2	147.0

#### 3.1 荷重～沈下特性

図-4 は、各部の負担荷重～沈下曲線である。図-5 は、杭頭荷重を杭軸部の先端面積で除した荷重と杭頭沈下量を杭の軸径で除した沈下度の関係を描いたものである。これらから施工法の異なる 3 種の杭について次のような特徴が見られる。

##### a). 回転杭

杭頭部の荷重～沈下関係によると、載荷開始当初は直線分布であるが、10～30% 沈下時付近で曲率が大きくなり、それ以降は次第に曲線の勾配が小さくなっている。杭先端部よりも翼部の方が約 1.5 倍程度負担している。ただし、杭先端部と翼部の曲線形状からは明確な極限值は見られなく、更に実験を続けるなら、これらの負担荷重も幾分増加するものと思われる。また、完全に除荷した際、杭先端に引張力が生じていることから、載荷前に残留していた圧縮力が載荷と除荷の繰り返し荷重によって減少していくことが明らかになった。杭周面部のピークは 10% 沈下時よりも小さな付近で現れ、そこから緩やかに下がっていく傾向がみられる。

以上のように、回転杭では荷重の初期段階では杭周面部がその多くを負担し、載荷荷重が増大するにつれて翼部と杭先端部の負担割合が大きくなるのが特徴と云える。

##### b). 圧入杭

圧入杭は初期の沈下剛性が大きいのが特徴であり、3 サイクルめでようやく 10% 沈下量付近に達する。その時点では極限荷重の 70%～80% 程度となる。支持力の増大は、杭先端によるものが大きい、圧入 1 では杭径

の1.5倍程度の沈下量約60mm程度で極限荷重に達して、その後は沈下量の増大に伴って負担荷重が減少している。杭周面部に関しては、圧入1では荷重の初期段階の沈下量2mm程度でピークを迎え、その後の負担荷重はほぼ一定である。

### c). 埋設杭

載荷荷重は沈下量に伴って増大し、実験を終了した150mm程度の沈下量になっても明確な極限值が得られない。杭周面部の負担は杭径の10%程度沈下した以降はほとんど変化が無いことから、上記の傾向は杭先端支持力の漸増に起因するものである。

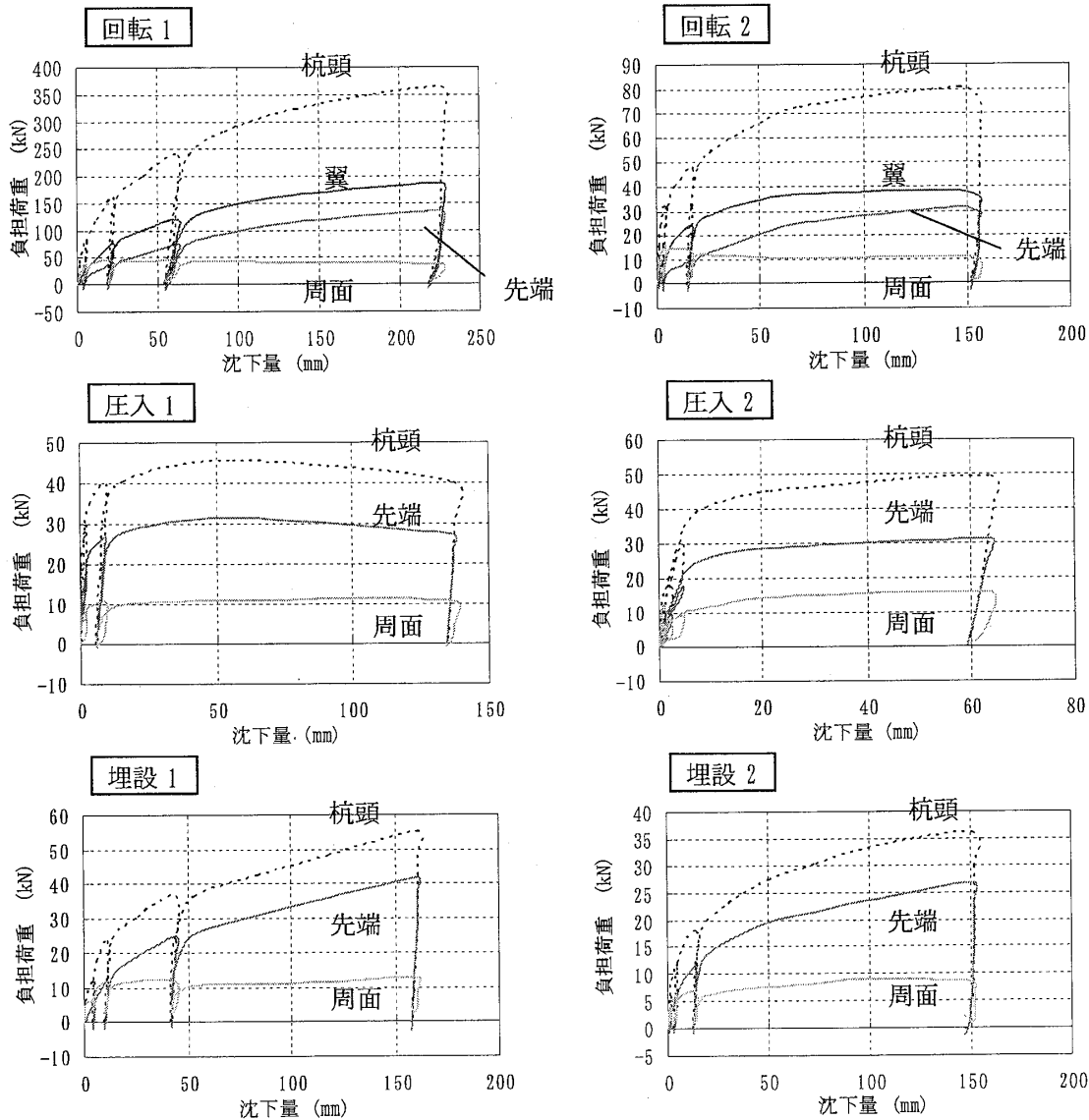


図-4 各部の負担荷重～沈下曲線

### 3.2 支持力度

実大の載荷試験では杭径の10%沈下時を基準沈下量としているが、本実験では、基準荷重以降も大きな支持力増が生じた。そこで、実験が行われた範囲での最大荷重時に着目して杭体各部の支持力度をプロットしたのが図-6である。回転杭および圧入杭の杭先端部はほぼ同様の値であり、埋設杭のそれよりも明らかに大きい。回転杭の翼部は杭先端部の2/5程度である。杭周面部に着目すると、回転杭の値は圧入杭よりもわずかに小さいか、埋設杭の1.2~2倍程度になっている。

### 3.3 沈下剛性

図-7は、初期剛性として杭頭の極限荷重度の1/3をその時点の沈下度で除した値を整理したものである。ただし、第1サイクルの最大荷重が極限荷重の1/3に達していないことや初期の杭と地盤のなじみの問題も懸念されるので、いずれも第2サイクル時の値から算出している。沈下剛性は概ね圧入杭>回転杭>埋設杭の順であるが、これらの間には大きな差が認められない。この理由として、模型砂地盤が非常に密であるため、土を押しつけ施工しても地盤の密度の上昇につながらない事が考えられる。

### 3.4 杭周面の $\mu \cdot K$

図-8は、杭周面摩擦特性を比較するために、周面抵抗力 $f_s$ を上載圧 $\sigma_v$ で除した $\mu \cdot K$ ( $\mu$ :摩擦係数,  $K$ :土圧係数)を整理したものである。圧入杭と埋設杭は最大時と残留時の値がそれぞれ近似するが、回転杭では残留値が最大値の70~80%となっている。なお、杭径を2倍にした回転杭の $\mu \cdot K$ が他より大きいことから、土槽に対する寸法効果が影響していると思われる。

### 4. まとめ

本論文では、施工法の異なる3種の杭の鉛直載荷実験を行い、以下の点を明らかにした。

- ①回転貫入杭は圧入杭と比べて極限荷重に達するまでの沈下量が明らかに大きい。
- ②杭先端部の支持力度が回転杭と圧入杭で近似している事から、上記の違いは翼部の作用によるものである。
- ③回転貫入杭の翼部支持力度は杭先端部の40%程度であり、杭先端部と同一に取り扱う事ができない。
- ④初期剛性は3種の杭に大きな違いは見られないが、埋設杭の支持力度は回転杭や圧入杭よりも明らかに小さい。

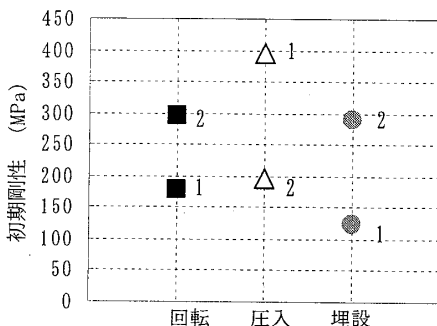


図-7 初期沈下剛性

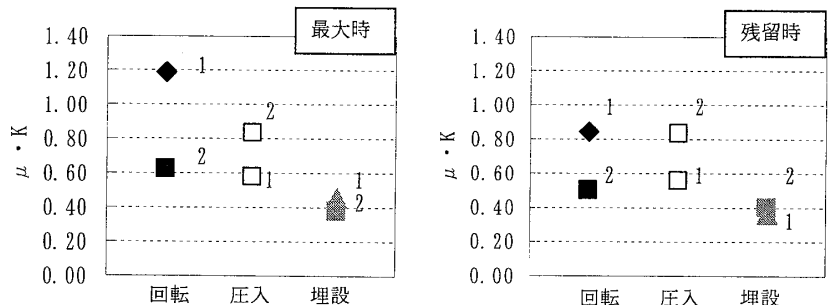


図-8 杭周面の $\mu \cdot K$

### 参考文献

1) 草野憲蔵・土屋 勉・他：加圧土槽を利用した模型杭の施工実験，日本建築学会北海道支部研究報告集，NO.76，2003.6.

\*1 室蘭工業大学・博士前期課程 \*2 同・教授・工博 \*3 同・博士後期課程・工修 \*4 (株)佐藤工務店

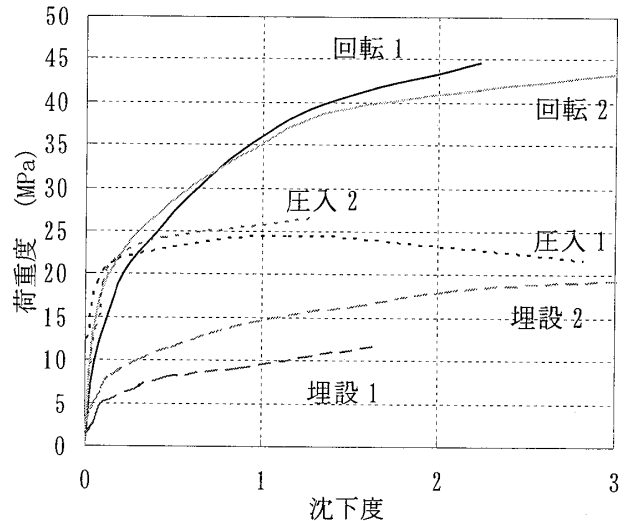


図-5 荷重度～沈下度関係

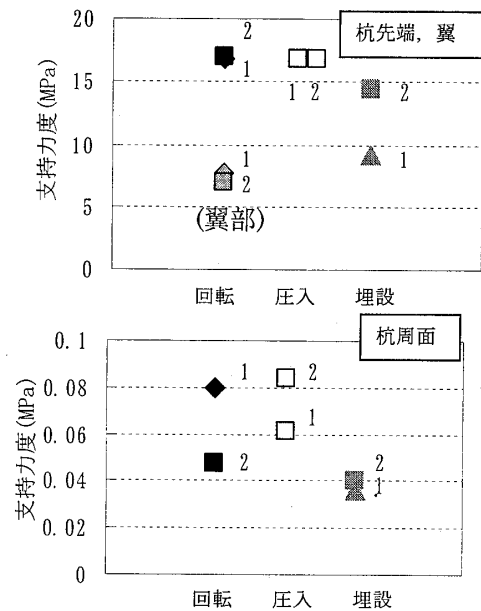


図-6 支持力度