

大型加圧土槽を利用した鋼管杭の施工および鉛直載荷実験

正会員 ○田内大紀\*1 会員外 島田正夫\*4  
 同 土屋 勉\*2 同 草野憲蔵  
 同 大杉富美\*3 同 小林 涉  
 同 関沢康寛\*1

2. 構造 4. 基礎構造

杭, 施工時応力, 鉛直支持力, 模型実験

1. はじめに

建設工事における騒音・振動や工事に伴って発生する掘削残土の処分法が大きな社会問題となっており, これらを克服した回転貫入型の杭工法(回転杭)の開発が盛んになっている。しかし, 回転杭の貫入メカニズムや杭設置に伴う残留応力と支持力機構の関係が未だ十分に解明されていないのが現状である。

本報では大型加圧土槽における模型砂地盤を利用して, 上記の回転杭の他に, 回転杭と軸部寸法を同じくするストレート杭を圧入施工した杭(圧入杭)および予め埋込み施工した杭(埋設杭)を含めた3種の杭の施工実験および鉛直載荷実験を実施し, これらの鉛直支持力性能について検討を行った。

2. 実験装置

実験装置の概要を図1に示す。

基本的には昨年度の実験装置<sup>1)2)</sup>と同様であるが, 所定の土槽の基で回転杭を貫入させるために, モーター最大出力トルクを約8.6kN・mから13.5kN・mへと増大させた。また, 土槽の内側面には砂との摩擦を軽減するためのテフロンシート貼りを従来の3重から2重に変更した。

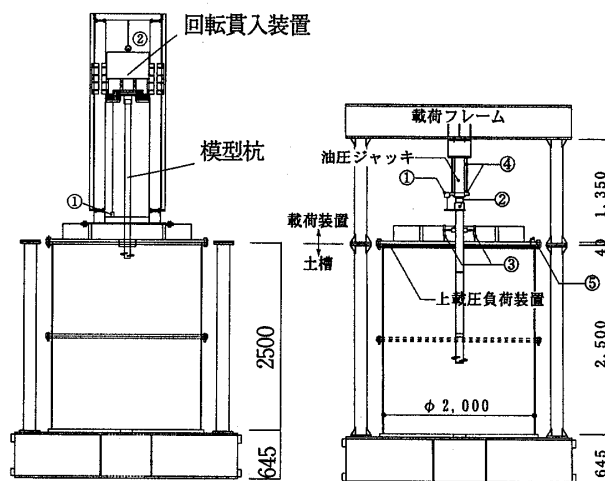
3. 模型杭および実験条件

模型杭は, 回転杭(回転1~5), 圧入杭(圧入1~3)および埋設杭(埋設1~3)の3タイプであって, これらの形状や寸法を表1および図2に示す。模型杭の材質はS1K400, F値=235MPa, ヤング率E=2.05×10<sup>5</sup>MPaである。これらの杭には歪ゲージを貼付してあり, アムスラーを用いた圧縮試験によって較正值が得られている。また, 杭先端部のみの負担力を測定するために2重管を採用している。圧入1と埋設1については, 杭先端部の荷重分布を測定するために, 2重管内軸を3個の円環に分割し, 特殊な加工を施して歪ゲージを貼り付けてある。

表2に3タイプの模型杭の実験条件をまとめた。

回転杭は, 相対密度が約94%の模型砂地盤に上載圧0.05~0.15MPaを加えて回転貫入実験を実施した後, 上載圧を維持したまま鉛直載荷実験を行った。

圧入杭は相対密度が約94%の模型砂地盤に上載圧0.1MPaを加えて圧入実験を実施した後, 上載圧を維持



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 実験装置の概要

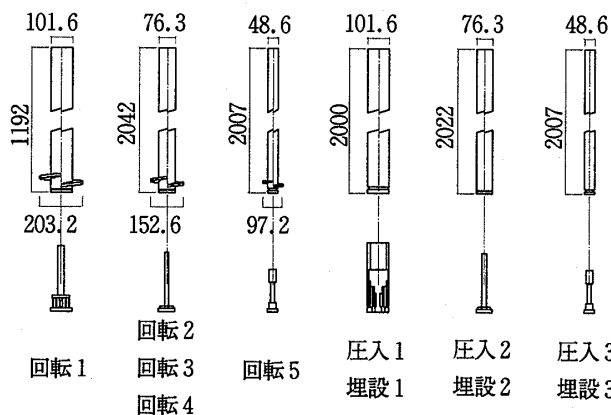


図2 模型杭の形状

表1 模型杭一覧

実験名	直径 Do (mm)	軸厚 to (mm)	材長 L (mm)	内軸径 Di (mm)	翼	翼径 Dw (mm)	翼厚 tw (mm)
回転1	101.6	12.7	1192	30		203.2	12
回転2, 3, 4	76.3	7	2042	22	有	152.6	12
回転5	48.6	5.1	2007	18		97.2	6
圧入1, 埋設1	101.6	12.7	2000	30			
圧入2, 埋設2	76.3	7	2022	22			
圧入3, 埋設3	48.6	5.1	2007	18			

Pile installation and vertical loading tests of steel pipe piles in a calibration chamber.

TAUCHI Daiki et al.

したまま鉛直載荷実験を行った。

埋設杭は杭周囲に空中落下法により砂地盤を充填した後、上載圧0.1MPaを加えて鉛直載荷実験を行った。

上記の鉛直載荷実験はいずれも多サイクル方式で行っており、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、新規荷重を2分、履歴荷重を1分とした。ただし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することとする。なお、施工実験終了時の杭先端以深は900mm程度を確保することとした。

#### 4. 施工実験結果および考察

##### 4.1 回転杭

###### (1) 先端荷重

図3は回転杭の杭先端部の荷重と貫入深度の関係を示したものである。先端荷重は翼径が大きい程小さく、同じ翼径の場合には上載圧が大きい程荷重は幾分大きくなる傾向がある。ただし、これらの値は貫入開始後200mm程度を過ぎるとほとんど一定値になり、後述する圧入杭の先端荷重の約1割程度に過ぎないのが特徴的である。圧入杭に比べて回転杭の先端荷重が小さいのは、翼部による先端地盤の拘束圧低減作用によるものと考えられる。

###### (2) 翼部荷重

図4は翼部の荷重と貫入深度の関係を示したものである。貫入初期の200mm程度までは回転推進力はいずれも一様に増大している。しかし、回転3～回転5は200mm貫入付近から引張力が停滞または減少した後、再び徐々に増大する傾向がある。

翼部の回転推進力をより詳しく解明するために、翼部の付け根近傍の軸部応力を独立に測定したものを図5に示した。ここで、a～dは図6に対応している。それによるとa～cは引張力を示したが、dは圧縮力となった。そのような分布傾向は本実験における回転杭の全ケースにおいてみられた。このことから、翼部の回転推進作用は翼部位置によって異なり、始端付近dではむしろ貫入に対する抵抗力となることが明らかになった。

###### (3) 翼上部トルク

図7は翼上部のトルクと貫入深度関係を示したものである。翼上部トルクは翼径および上載圧が大きい程大きくなるが、先端荷重と同様に貫入量の増大の割にはトルク値の上昇は見られない。

##### 4.2 圧入杭

図8は圧入杭の杭先端荷重と貫入深度の関係を示している。貫入初期では圧入1～圧入3は近似している。貫入深度の増加に伴って圧入3が圧入1や圧入2よりも大きい値を示しているが、杭径による明確な差は無さそうである。先端荷重は20～25MPaであって、回転杭に比べてはるかに大きくなっている。

表2 実施条件

実験名	模型杭		地盤 上載圧 (MPa)	施工方法	載荷装置	
	直径 Do (mm)	翼径 Dw (mm)			ジャッキ容量 (kN)	
回転1	101.6	203.2	0.1	回転貫入	500	
回転2			0.05			
回転3	76.3	152.6	0.1			
回転4			0.15			
回転5	48.6	97.2	0.1			
圧入1	101.6		0.1	圧入	500	
圧入2	76.3		0.1			
圧入3	48.6		0.1			
埋設1	101.6		0.1	埋設	200	
埋設2	76.3		0.1			
埋設3	48.6		0.1			

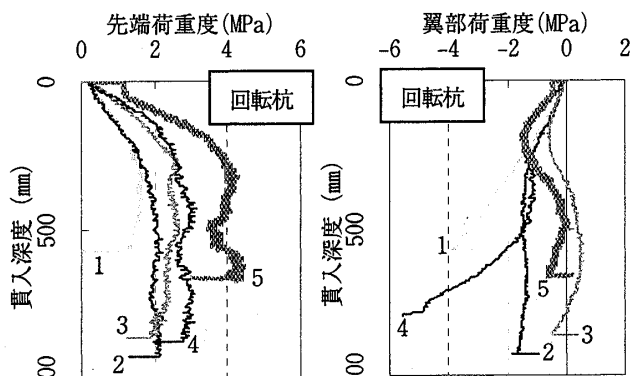


図3 先端荷重

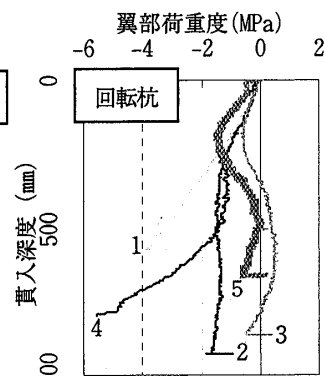


図4 翼部荷重

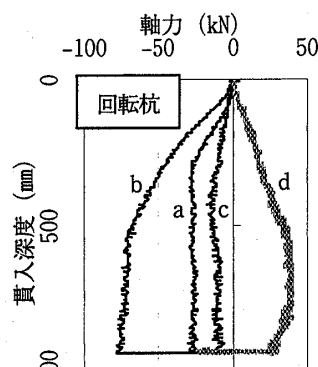


図5 軸部荷重分布

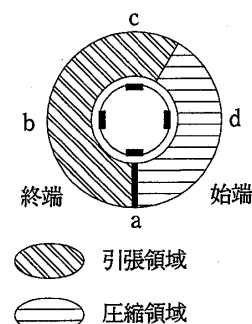


図6 測定位置、推進作用

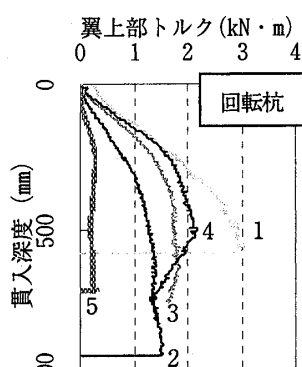


図7 翼上部トルク

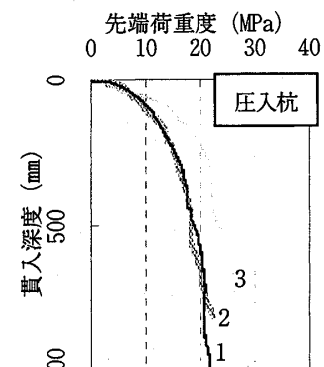


図8 先端荷重

### 4.3 残留応力度

3タイプそれぞれの方法で杭を沈設した後に杭体に残留している応力を、図9にプロットした。

杭先端部をみると、圧入杭が最も大きい値を示し、回転杭と埋設杭がほぼ同等値を示している。埋設杭は杭径によらず同程度の値を示しているが、圧入杭では杭径が小さいほど大きい残留応力度を示す傾向が見られる。

回転杭の翼部では、回転推進力となる引張り力が残留するが、翼径が小さいほど応力度は大きくなっている。

杭周面部では、回転杭が正の値を示し、圧入杭および埋設杭は負の値を示す。杭周面に残留する応力度を絶対値で比較すると、回転杭>圧入杭>埋設杭の順となる。

## 5. 鉛直載荷実験結果および考察

### 5.1 杭体荷重一覧

表3は、0.1D (0.1Dw) 沈下時、0.3D (0.3Dw) 沈下時および1D (1Dw) 沈下時における各杭体の杭先端部、翼部、杭頭部および杭周面部の荷重一覧である。なお、杭施工後の荷重を原点として、杭頭載荷による増分荷重を示している。それによると、杭径または上載圧が大きい程大きな荷重を示している。杭タイプで比較すると、概ね杭先端部の大きさは圧入杭>回転杭>埋設杭、杭周面部の大きさは圧入杭>埋設杭>回転杭の順である。なお、回転5の杭周面部がいずれの沈下時においても負の値を示しているのは、杭施工による残留応力が他よりもかなり大きかったことにも関連しており、測定精度面も含めた更なる検討が必要と考えている。

### 5.2 初期沈下剛性

図10は杭頭部の初期沈下剛性を表している。ここでの初期沈下剛性は、杭頭部の基準支持力度の1/3をその時点の沈下度で除した値としている。それによると、同杭径での沈下剛性は概ね圧入杭>埋設杭>回転杭の順になっている。上載圧を変化させた回転杭の場合には、いずれも200MPa程度と大きい差がみられない。この理由として、相対密度94%の高密度砂地盤であること、および回転杭特有の低い杭先端拘束圧の影響を反映しているものと考えられる。

### 5.3 各部の荷重度～沈下度関係

杭径の異なる試験体の挙動を一般化して評価するために、杭体の各部の負担荷重をその部分の面積で除し、沈下量を杭径または翼径で除した結果について検討する。

#### (1) 杭先端部

図11は杭先端部の荷重度～沈下度関係である。圧

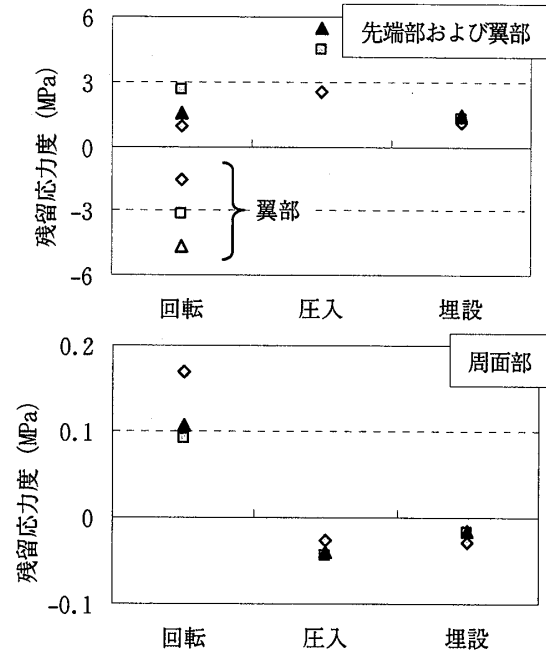


図9 各部残留応力度

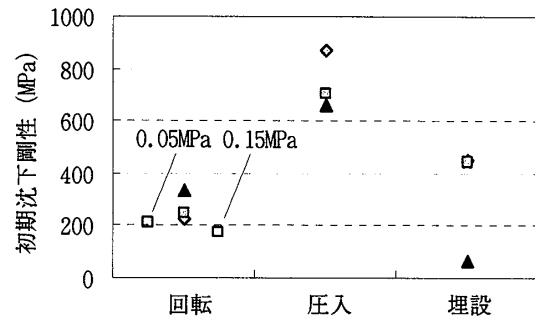


図10 初期沈下剛性

◇ φ101.6 □ φ76.3 ▲ φ48.6

表3 杭体荷重一覧

	0.1D (0.1Dw) 沈下時				0.3D (0.3Dw) 沈下時				1D (1Dw) 沈下時			
	杭先端部 (kN)	翼部 (kN)	杭頭部 (kN)	杭周面部 (kN)	杭先端部 (kN)	翼部 (kN)	杭頭部 (kN)	杭周面部 (kN)	杭先端部 (kN)	翼部 (kN)	杭頭部 (kN)	杭周面部 (kN)
回転1	58.2	106.4	180.6	16.0	96.0	169.6	270.0	4.5	145.4	207.2	348.6	-4.0
回転2	26.0	72.6	107.5	8.9	44.8	105.1	156.6	6.7	81.5	128.5	219.8	9.8
回転3	28.9	68.0	113.4	16.4	50.7	107.2	169.3	11.4	102.2	145.3	256.0	8.6
回転4	27.7	72.5	118.9	18.7	55.7	124.7	194.4	14.0	114.4	165.6	296.0	16.0
回転5	11.9	35.9	47.5	-0.4	19.8	49.0	65.4	-3.3	35.2	56.8	88.0	-4.1
圧入1	153.6	-	225.8	72.2	172.4	-	247.9	75.6	275.0	-	169.8	84.4
圧入2	80.6	-	144.4	56.0	90.5	-	157.3	58.7	94.6	-	161.5	59.4
圧入3	28.4	-	54.9	23.4	35.0	-	68.1	30.2	38.2	-	76.2	35.3
埋設1	19.8	-	41.3	16.4	65.4	-	101.3	28.9	73.8	-	114.9	31.3
埋設2	23.4	-	42.2	18.6	30.6	-	45.7	15.6	41.9	-	58.1	15.5
埋設3	4.5	-	14.8	10.3	10.8	-	22.4	11.7	13.0	-	19.7	6.5

D: 杭径, Dw: 翼径

入杭の荷重度は載荷初期で急増して沈下度0.1付近でほぼ最大の約20MPaに達する。これらの値は圧入施工中の値と同等であるが、杭径の増大に伴って幾分大きくなる傾向がみられる。

回転杭の荷重度は沈下に伴って徐々に増加する傾向があり、沈下度1付近で圧入杭とほぼ同等値となる。上載圧の増大に伴って荷重度は明確に上昇している。これらの値は回転貫入中の荷重度1.5~4MPaよりもはるかに大きい。

埋設杭は沈下に伴って徐々に増加するが、回転杭の値よりもかなり小さい。圧入杭と同様に杭径の増大に伴って荷重度は大きくなる。

(2) 翼部

図12は回転杭の翼部荷重度~沈下度関係である。沈下度1付近では、先端荷重度の1/2程度の大きさである。杭先端部と同様に、上載圧の増大に伴って翼部荷重度も明確に上昇している。

(3) 杭周面部

図13は杭周面部の荷重度~沈下度関係である。圧入杭および埋設杭は、載荷の初期に急増してその後はほぼ一定値で推移する。回転杭では、載荷初期に急増してピークに達した後減少する傾向を示し、他の杭に比べて周面抵抗力がかなり小さいのが特徴となっている。最終的に負の値を示すものもみられるが、施工に伴う残留応力の影響である。すなわち、回転杭の周面抵抗の多くは施工中に既に発揮されており、新たな杭頭載荷時に抵抗する部分が小さいことが明らかになった。

6. まとめ

本報をまとめると以下ようになる。

- ①. 回転貫入杭では翼部に回転推進力が作用する領域とむしろ回転抵抗力が作用する領域の存在がある。
- ②. 施工後の残留応力は杭先端部では圧入杭が最も大きく、回転杭および埋設杭が同等値を示す。杭周面部では回転杭と他の杭では正負逆になるが、絶対値で比較すると回転杭>圧入杭>埋設杭の順になる。
- ③. 鉛直載荷された場合、回転杭の沈下剛性は圧入杭よりもかなり小さいが、基準沈下量付近における先端荷重度は圧入杭とほぼ等しい。翼部の荷重度は先端部の約1/2である。
- ④. 回転杭の支持力は上載圧による影響が大きかったが、回転杭の寸法効果は圧入杭や埋設杭に比べて明確でなかった。

\*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 同・技術職員

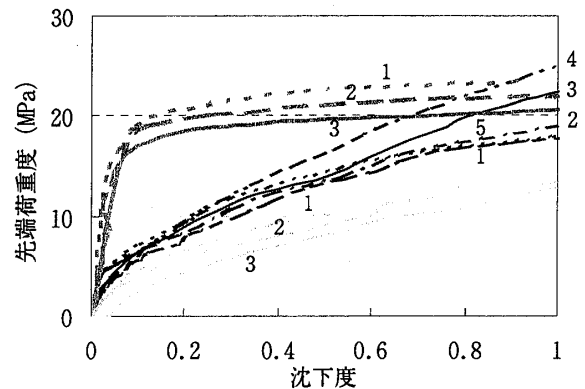


図1.1 先端荷重度

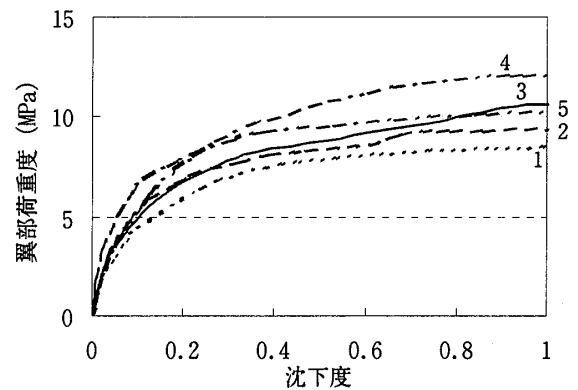


図1.2 翼部荷重度

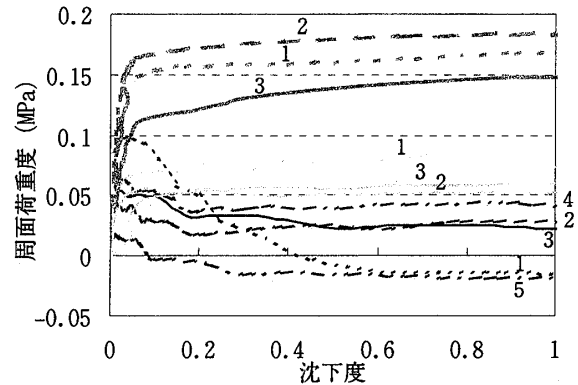


図1.3 周面荷重度

— 回転杭    - - - 圧入杭    ····· 埋設杭

参考文献

- 1) 草野・土屋・大杉・島田：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.
- 2) 関沢・土屋・大杉・佐藤：杭の鉛直支持性能に及ぼす施工法の影響，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.76，2003.6.

Graduate School, Muroran Inst. of Tech.  
 Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng.  
 Graduate School, Muroran Inst. of Tech., M. Eng.  
 Technical Staff, Muroran Inst. of Tech.