

## 各種杭工法の載荷時における杭近傍地盤の応力特性

正会員 ○大澤隆幸\*<sup>1</sup> 同 土屋 勉\*<sup>2</sup>  
同 永井 宏\*<sup>3</sup> 同 島田正夫\*<sup>4</sup>  
会員外 石田晴雅

## 2. 構造—4. 基礎構造—e. 杭（鉛直） 回転貫入杭，模型実験，薄層，土圧

### 1. はじめに

騒音，振動および残土処理の問題を克服した回転貫入杭の開発がおこなわれている<sup>1)</sup>。しかし，羽根により地盤を乱しつつ貫入する回転貫入杭の挙動は Displacement Pile よりは Non-displacement Pile に近いとの指摘もあり，回転貫入杭の支持力機構をより明確にするためには施工時および載荷時における杭体近傍の地盤応力状態からの検討が必要である。

本報告は，土槽中に土圧計を埋設した昨年度の実験<sup>2)</sup>に試験体を追加して，施工法の異なる3種の杭工法（回転貫入杭，圧入杭，埋設杭）の支持力と載荷時における杭近傍の地中応力について検討する。

### 2. 実験装置および実験方法

図に示す実験装置や実験の手順は前報<sup>2)</sup>とほぼ同様である。埋設および圧入杭は杭径  $d_0=76.3\text{mm}$

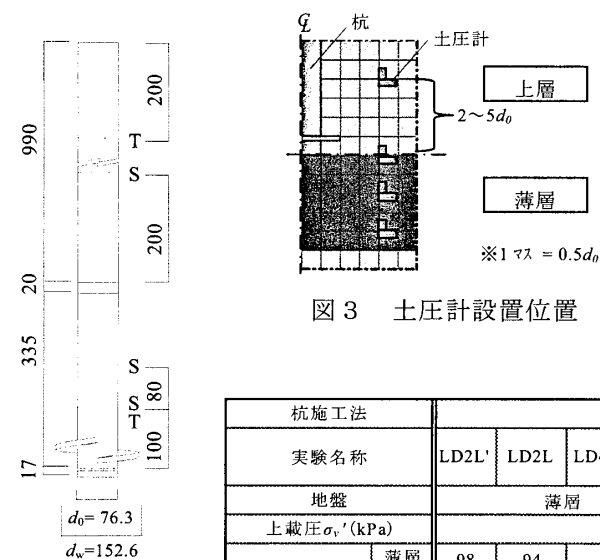


図3 土圧計設置位置

S:軸力測定  
T:トルク測定

図2 模型杭

の閉端の鋼管杭であり，回転貫入杭はそれに直径  $d_w=152.6\text{mm}$  の螺旋状の羽根を1巻き溶接した杭である(図2)。鋼管内部に貼付したひずみゲージにより杭体応力を測定する。また，地中応力の測定に用いた土圧計は受圧面が直径30mmの円形であり，図3に示すように，施工終了時の杭先端面を基準とした所定の深度に埋設した。

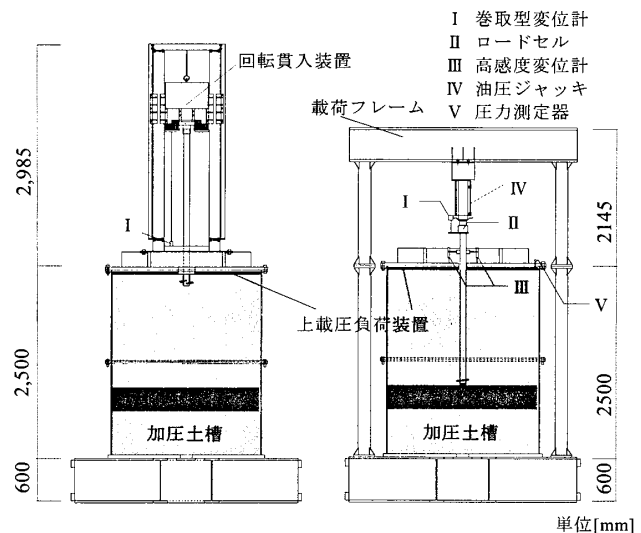


図1 実験装置

表1 土圧計設置位置一覧

土圧計位置番号	[-5]	[-4]	[-3]	[-2]	[0]	[1]	[2]	[3]
杭中心からの距離( $\times d_0$ )	2	2	2	2	1.5	2	1.5	2
杭先端面からの距離( $\times d_0$ )	-5	-4	-3	-2	0	1	2	3

表2 実験条件一覧

杭施工法	回転貫入杭(W)							圧入(J)			埋設(B)		
実験名称	LD2L'	LD2L	LD4L	LD8L	LD	LD4L +1.0d	LD4L +2.0d	LD4L +3.0d	LL'	LL	LD4L	LL	LD4L
地盤	薄層							薄層根入れ	均一			薄層	均一
上載圧 $\sigma_v'$ (kPa)	100								100			100	
相対密度 $D_r$ (%)	98							94	-			98	98
薄層厚 ( $\times d_0$ )	2	2	4	8	20	4	4	4	0	0	4	0	4
土圧計設置位置番号	-2, ①	-2, ①, ③	①, ②	-2, ①	-2, ①	-3, ①	-4	-5, -2, ②	①, ①'	-2, ①	①, ②	①, ①'	①, ②'

Study on soil stresses during pile loading tests in a calibration chamber.

OSAWA Takayuki et al.

土圧計の位置一覧を表1に、実験条件を表2に示す。各杭工法について、均一および薄層地盤における実験を行い、杭近傍地盤の地中応力の測定を行った。また、回転貫入杭については薄層厚を変化させたモデルや薄層への根入れを行ったモデルについても実施している。

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1 回転貫入杭と圧入杭の地中応力

##### (1) 杭先端面以浅位置

図4は載荷時の土圧計位置番号[-②]の地中応力の推移について、回転貫入杭と圧入杭を比較したものである。

回転貫入杭は沈下の進行に伴って形成される羽根上面の緩み領域の影響で羽根上方の地中応力が減少し、圧入杭に比べて非常に小さな値で推移する。特に水平土圧に関しては値がほとんど0まで減少し、緩み領域の影響が顕著である。その後、鉛直土圧は沈下の進行に伴う羽根下面の砂粒子の側方への移動および羽根上面への回り込みによって、値が増大している。

圧入杭は沈下初期に杭先端面が下方の地盤を引き込む挙動により、鉛直土圧および水平土圧共に値が減少する。沈下が進行すると、施工時に杭先端面直下に形成された高密度領域(以下、コアと呼ぶ)により砂粒子が側方へ押し出されることで値が増大し、載荷初期の値に近づく。沈下の進行が大きくなる載荷終盤では、杭周囲の地盤が下方に引き込まれる作用により、鉛直土圧が再び減少する。

##### (2) 杭先端面以深位置

図5は載荷時の土圧計位置番号[①]の地中応力について(1)と同様に比較したものである。

圧入杭の鉛直土圧は沈下の進行に伴う杭体の接近の影響により増加するのに対し、回転貫入杭では杭体の接近に伴いむしろ減少傾向を示しており、両者の増減傾向に明確な違いが見られる。既往の研究<sup>3)</sup>により、回転貫入杭の羽根下面には施工時に空洞領域が形成されることが明らかとなっており、この空洞領域が回転貫入杭の杭先端面以深の地中応力に影響を与えていると考えられる。

水平土圧は回転貫入杭、圧入杭共に杭先端面が土圧計設置断面に到達する手前で最大値を示す。しかし、その時点の杭先端面から土圧計までの距離は、圧入杭が回転貫入杭に比べて遠い。これは、圧入杭の杭先端面直下に形成されたコアが杭先端

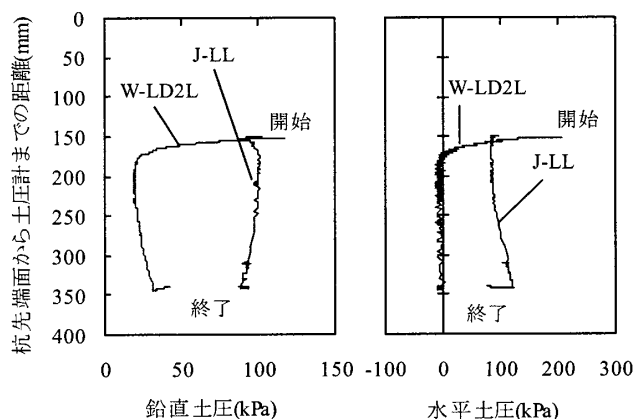


図4 載荷時地中応力の比較 ([-②])

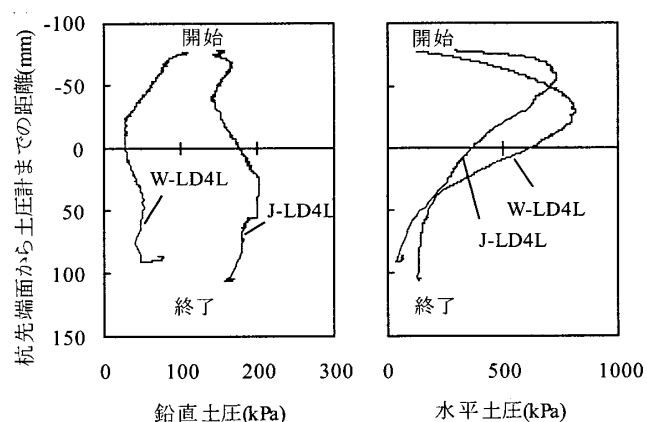


図5 載荷時地中応力の比較 ([①])

面と一体となって移動し、地中応力に影響を与えるためである。回転貫入杭は、施工時に羽根により杭先端面荷重が低減されるため、コアが形成されにくいと推察している。

#### 3. 2 圧入杭と埋設杭の地中応力

##### (1) 杭先端面位置

図6は載荷時の土圧計位置番号[⑩]の地中応力と杭先端面から土圧計までの距離の関係について、圧入杭と埋設杭を比較したものである。

沈下初期の鉛直土圧は圧入杭と埋設杭がほぼ同様の挙動を示す。その後、圧入杭は前節で述べたように、コアが砂粒子を側方へ押し出すことで載荷初期の値に近づく。しかし、埋設杭は載荷開始時点ではコアが形成されていないため、砂粒子を押し出しが発生せず、沈下初期に減少した値を保ったまま推移する。

圧入杭の水平土圧は施工時に杭体が地盤を押し広げながら貫入するため、載荷開始時点で埋設杭よりもかなり大きな値を示す。初期沈下時には鉛

直土圧と逆の増減傾向である。沈下量が 10mm 程度からは杭先端面が遠ざかるにつれて値が減少し、杭先端面が土圧計下方 60mm 程度になると値の変動が小さくなる。埋設杭は載荷初期に値が減少した後にはほとんど変化が見られない。

## (2) 杭先端面以深位置

図 7 は載荷時の土圧計位置番号[①]および[②]の地中応力について(1)と同様に比較したものである。[①]の地中応力を実線で、[②]の地中応力を破線で示している。なお、[②]の土圧計は杭からの水平距離が圧入杭と埋設杭で異なるため、値の増減傾向のみに着目する。

鉛直土圧は土圧計位置に関わらず、圧入杭と埋設杭で同様の増減傾向である。

水平土圧は[①]では最大値を示す時の杭先端面の土圧計からの距離が、圧入杭と埋設杭では異なるものの、[②]では概ね等しい深度で最大値を示しており、この時の沈下量(100mm 程度)で埋設杭の杭先端面直下にも圧入杭と同様にコアが形成されたものと推察できる。今後さらに実験を重ねることで、地中応力からコアの形成時期や影響範囲を明らかにできるものと考えている。

## 3. 3 薄層厚と地中応力の関係

図 8 は土圧計位置番号[①]における回転貫入杭の載荷時地中応力と杭先端面から土圧計までの距離の関係について、薄層厚による違いを比較したものである。

沈下初期の鉛直土圧は羽根下面の空洞領域の影響を受け、値の増減傾向が実験ごとに大きく異なるものの、沈下量 40mm 程度から各実験の傾向が概ね一致する。これは沈下により羽根下面の空洞が消失したためだと考えられる。沈下量 40mm 以降は薄層厚に関わらず同様の値で推移しており、薄層厚の影響は明確ではない。

水平土圧は、いずれの実験においても杭先端面が土圧計手前 40mm 程度の位置で最大値を示しており、その大きさは薄層厚に比例して増加している。薄層厚の増大に伴う杭体応力の増加が地中応力に影響を与えているものと考えられる。最大値を示した後、全ての条件で値が急減し、杭先端面が土圧計設置断面以深 50mm 程度(羽根面が土圧計断面を通過する程度)で羽根上面の緩み領域による影響を受け、ほとんど 0 に収束する。

## 3. 4 杭体応力と地中応力の関係

図 9 (1)～(3)は各工法における地中応力の最大値とその時点における杭先端面荷重度の関係であ

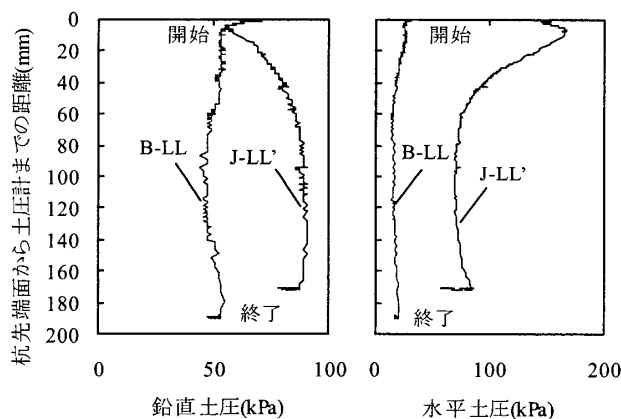


図 6 載荷時地中応力の比較 ([②])

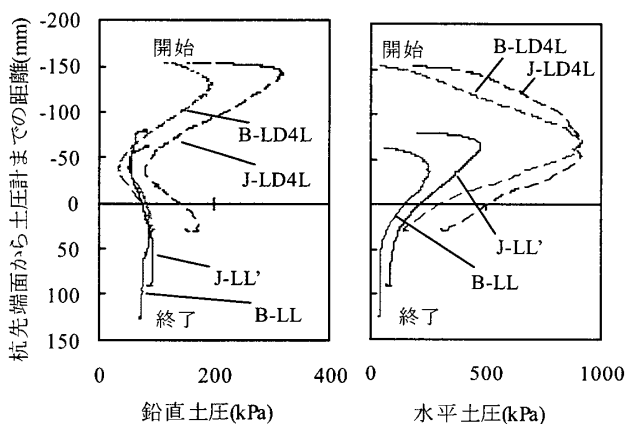


図 7 載荷時地中応力の比較 ([①],[②])

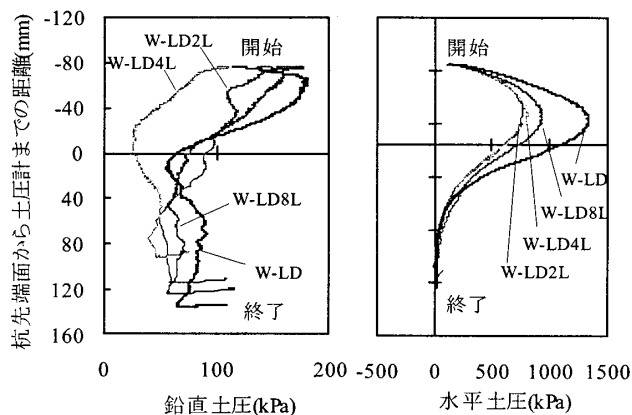


図 8 薄層厚別の載荷時地中応力 ([②])

る。なお、圧入杭は施工時の値も採用し、回転貫入杭および埋設杭は載荷時のデータのみを採用した。プロットした対象は載荷開始時に杭先端面に深にある土圧計についてのみである。

## (1) 回転貫入杭

地中応力は杭先端面荷重度に比例して増加する

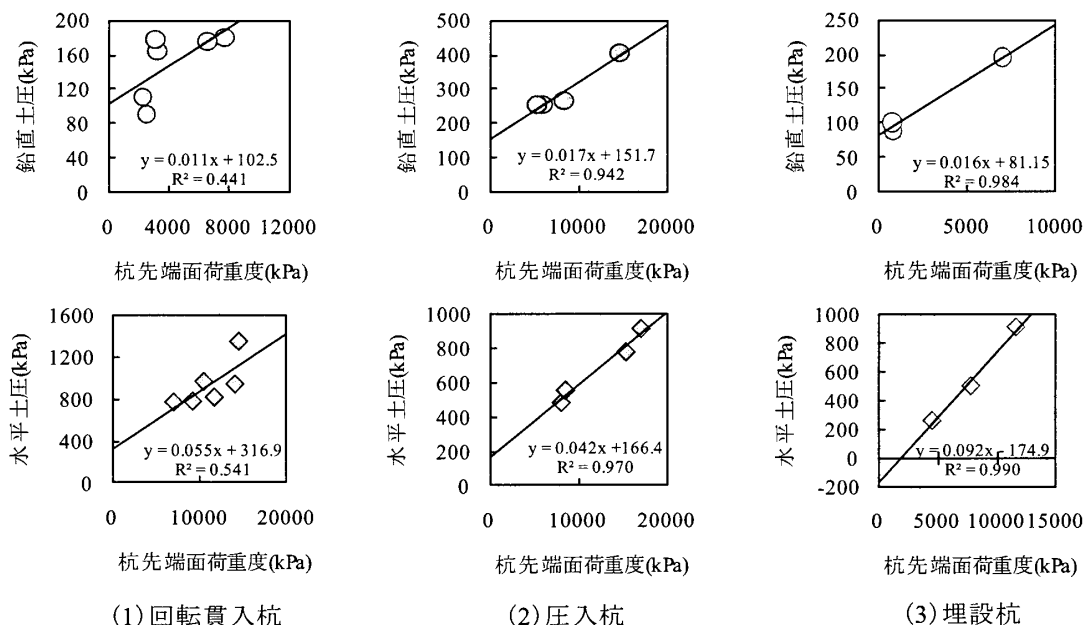


図9 杭先端面荷重と最大地中応力の関係

傾向があるが、値のばらつきは大きい。これは杭先端面荷重に加え羽根面荷重による地中応力の増加や羽根下面に生じる空洞の形成状況が影響しているものと考えられる。

#### (2) 圧入杭

地中応力は杭先端面荷重に比例して増加し、近似直線も良い相関を示す。しかし、近似直線の y 切片を見ると実験開始前の初期値(鉛直土圧: 約 100kPa, 水平土圧: 約 40kPa)よりも大きな値である。このことから、地中応力の増加は杭先端面荷重のみではなく、杭体の貫入による地盤の押し広げの影響を強く受けていることが推察される。この傾向は特に水平土圧において顕著である。

#### (3) 埋設杭

地中応力は杭先端面荷重に比例して増加し、近似直線も良い相関を示す。近似直線の y 切片は圧入杭よりも小さな値となり、水平土圧は負の値を示している。これは、埋設杭のコアが沈下の進行に伴い徐々に形成されるため、コア形成前に最大値を迎える土圧計位置とコア形成後に最大値を迎える土圧計位置で、杭先端面荷重が水平土圧に与える影響が異なるためと推察しているが、今後多くの実験データを蓄積した更なる検討が必要である。

#### 4. まとめ

本報告では、回転貫入杭、圧入杭および埋設杭の載荷試験を実施し、各杭工法の杭体近傍の地盤応力特性に関する以下の知見が得られた。

- ①. 回転貫入杭の杭近傍の地中応力は、施工時に形成された羽根下面の空洞領域や載荷の進行に伴い発生する羽根上方地盤の緩み領域により圧入杭や埋設杭の地中応力とは大きく異なる。
- ②. 回転貫入杭および埋設杭の鉛直載荷時には、沈下の進行に伴い杭先端面直下にコアが形成されることにより、地盤への影響範囲が変化する。

今後は、地盤条件や土圧計の位置を更に変化した実験を実施し、地中応力と支持力の関係を明確にしていく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 土屋勉:「回転貫入杭の動向と今後の課題」, 基礎工, pp11-15, 2003.9.
- 2) 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.
- 3) 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.

\*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 助教・博(工)  
 \*4 室蘭工業大学 専門技術職員

Graduate School, Muroran Inst. of Tech.  
 Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.  
 Assistant Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.  
 Chief Technical Official, Muroran Inst. of Tech.