

回転貫入杭の支持力性能に及ぼす打ち止め方式の影響

正会員 ○中沢 楓太*¹
同 土屋 勉*²
同 島田 正夫*³

2. 構造-4. 基礎構造

回転貫入杭, 模型実験, 打ち止め方式, 支持力

1. はじめに

著者等は文献¹⁾において, 地盤材料には白米を, 模型杭には透明なアクリルパイプを利用して, 杭内部から杭貫入中における羽根近傍地盤の粒子挙動を観察し, 羽根下面には鉛直支持力の低下をもたらすと思われる空洞が形成されることを示している。

本報告では, 珪砂地盤において, 同様の実験を実施すると共に, 羽根下面の空洞を消失させる方策として, 杭を貫入後に逆回転することを試みた。更に, その逆回転量を種々変化させて杭の鉛直載荷実験を実施し, 支持力に及ぼす逆回転の影響について検討した。

2. 実験装置および実験方法

図1に実験装置を示す。杭の貫入方法や模型杭の材料は文献¹⁾と同様であるが, 回転台を電動式のものに, 杭の拘束位置を杭頭部に変更した。拘束治具は杭の回転角を拘束するものであり, 鉛直方向は拘束していない。土槽内壁面にはシリコングリスを塗布したテフロンシートを2重に貼付している。地盤材料は東北珪砂6号(表1)であり, ネットを介する空中落下法²⁾によって相対密度25%の全層均質な模型地盤を作製する。

模型杭には図2に示す位置の軸部内側に軸ひずみ計測用および杭体トルク計測用の WSG を貼付した。また, 杭頭部にはロードセルを設置する。

貫入実験は模型杭を模型地盤作製後に70mm程度地盤に埋設した状態で土槽を回転させ, およそ120mm貫入させる。引き続き, 杭頭部の回転のみを拘束した状態で, 所定の量だけ土槽を時計回りに逆回転させて杭を抜上げた後, 鉛直載荷実験を実施する。なお, 白米を用いた実験を行なう場合

には, 文献¹⁾の装置を利用する。

表2は実験因子の一覧である。表中の貫入率 μ とは1回転当たりの貫入量を羽根ピッチ p_w で除した値である。なお, $\mu=0.3$ および 0.5 の場合には

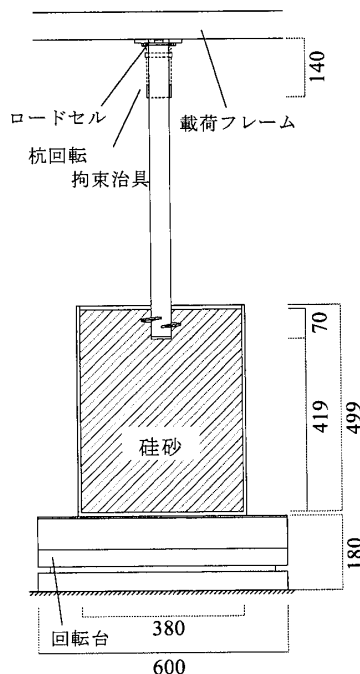


図1 実験装置 (貫入開始前)

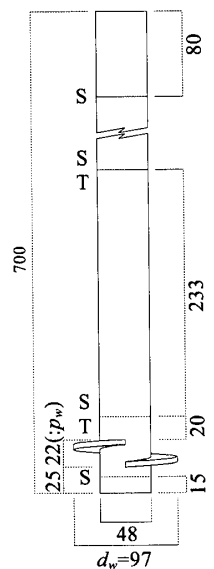


図2 模型杭
S:軸ひずみ計測
T:杭体トルク計測

表1 地盤材料の性質

	最大密度 (g/cm ³)	最小密度 (g/cm ³)	安息角 (°)	内部摩擦角 (°)
白米	0.962	0.825	30	33
ガラスビーズ	—	—	18	—
珪砂	1.733	1.424	—	38

表2 実験因子

貫入率 (μ)	0.3		0.4		0.5		
打ち止め時の 逆回転量 (回転)	0	1/16	1/8	1/4	1/2	1	2

Effects of installation method to improve bearing capacity of screwed pile.

NAKAZAWA Futa et al.

打ち止め時の逆回転量を 0, 1/4 および 1 回転としたモデルのみ実施した。

3. 貫入時終了時の羽根下面の空洞

図 3 は砂地盤における貫入終了後の羽根近傍地盤を平面展開したものである。空洞は概ね羽根始端刃先下端の軌跡に沿って形成され、 μ を大きくするとほぼ比例的に空洞域が狭くなっている。このことから、羽根下面の空洞の大きさ h_s (最大深さ) は下式のように表わせる。なお、空洞の大きさは白米地盤の場合と同様であった。

$$h_s = p_w(1-\mu)(1-0.83\mu) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 p_w : 羽根ピッチ

μ : 貫入率

4. 打ち止め時挙動

図 4 は白米地盤における $\mu=0.4$ モデルの羽根近傍地盤の展開図である。杭の逆回転に伴い羽根終端下面には新たに小さな空洞が形成されるが、貫入時に羽根下面に生じた空洞は 1/4 逆回転時に概ね消失している。貫入終了時における羽根下面の空洞が砂地盤においても白米地盤と同様に形成さ

れたことから、砂地盤においても杭を逆回転させた場合、同様に空洞は消失すると思われる。

図 5 は逆回転量と杭の拔上がり量の関係である。地盤材料によって幾分傾向は異なるが、貫入率が小さいほど杭が拔上がり始めるのに多くの逆回転を要する。この杭が拔上がり始める時点は、各モデルにおいて貫入時に生じた羽根下面の空洞が消失する時点と概ね一致する。

表 3 は砂地盤における $\mu=0.4$ モデルの拔上がり量の一覧である。それによると、杭体は 1/8 逆回転まで拔上らず、1/8~1/4 逆回転の間に拔上がり始めることがわかる。

5. 杭の逆回転が鉛直支持性能に及ぼす影響

図 6 は $\mu=0.4$ の場合の杭頭部、杭先端面および羽根面の荷重推移であり、載荷開始時点を中心として整理している。

(1) の杭頭荷重は全体を通して逆回転無しモデルよりも逆回転させたモデルの方が大きくなっている。このことから、杭を正回転で貫入させた後に逆回転させる打ち止め方式が有効であると推察

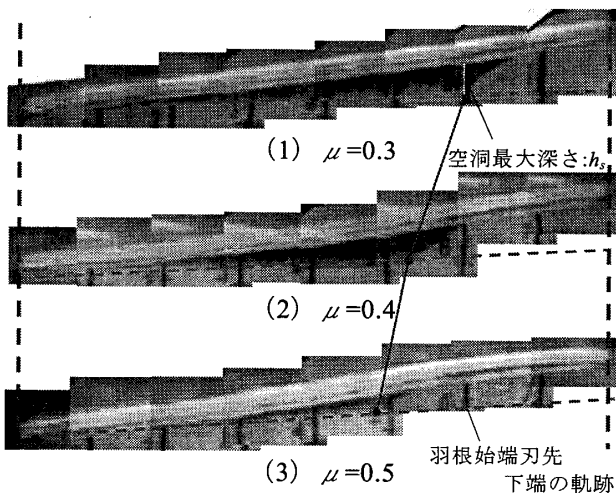


図 3 貫入終了時の羽根近傍地盤

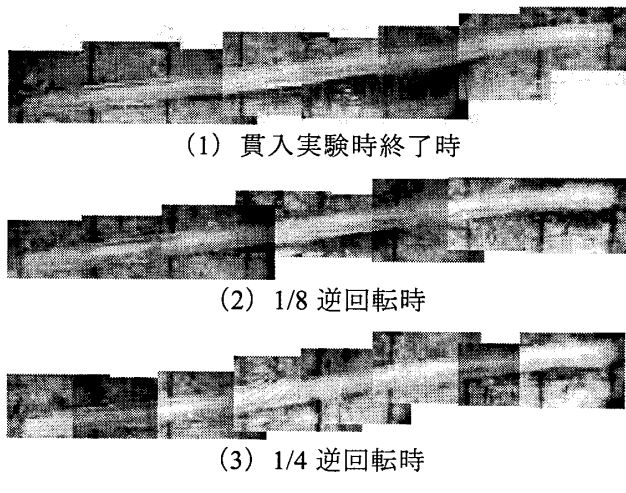
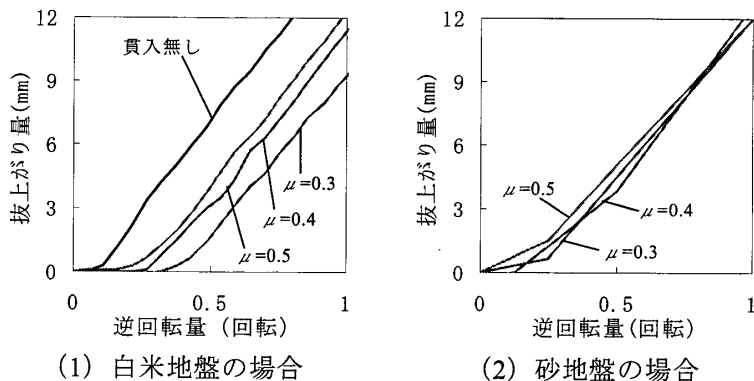


図 4 逆回転時の空洞の消失過程 ($\mu=0.4$)



(1) 白米地盤の場合

(2) 砂地盤の場合

図 5 逆回転量と拔上がり量の関係

表 3 拔上がり量一覧

逆回転量 (回転)	拔上がり量 (mm)
0	0.0
1/16	0.0
1/8	0.0
1/4	1.2
1/2	3.8
1	12.7
2	23.4

される。更に、逆回転量によって杭頭支持力が異なることから、逆回転量を調節することによって基準荷重 (R_u) 時 ($0.1d_w (=9.7\text{mm})$ 沈下時) の杭頭支持力や長期荷重 ($R_u/3$) 時の杭頭沈下量をコントロールできる可能性がある。

(2)の羽根面荷重は特に载荷初期では逆回転量が大きいほど大きい傾向がある。これは杭の逆回転によって羽根下面の空洞が減少したことを反映した結果と考えられる。

(3)の杭先端面荷重を見ると、逆回転による杭の拔上がりが生じていない 0~1/8 逆回転モデルでは载荷初期から急増しており、 $0.1d_w$ 沈下時点では逆回転量が多いほど大きくなっている。これは杭の沈下に伴って羽根下面の空洞が減少し、杭先端面近傍地盤の拘束圧が増加するためと推察される。一方、逆回転による杭の拔上がりが生じている 1/4~2 逆回転モデルでは、支持力が発揮されるまでに相応の沈下量が必要である。このことから、杭を貫入後に逆回転させて杭を抜上げると杭先端面下面の地盤は緩む、もしくは空洞となると推察される。また、この緩み領域は拔上がり量が多いほど広くなると推察される。

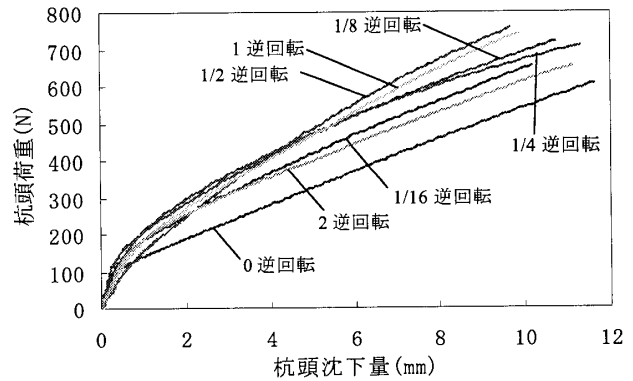
図7は杭頭荷重に対する杭先端面荷重および羽根面荷重の割合であって、0, 1/4, および1逆回転モデルについて示している。基準支持力である10mm程度沈下した時点では、逆回転量による支持力分担の差は見られない。しかし、载荷初期に着目すると、逆回転無しモデルでは羽根面の値が極めて小さく有効に機能していない。この要因を探るために、図8にこのモデルの载荷中における羽根近傍地盤の観察結果を示した。それによると、杭頭沈下量と羽根下面の空洞消失量は概ね一致していることから、羽根面が支持力を発揮するためには羽根下面の空洞に相当する沈下量が必要であることがわかる。一方、多量に逆回転させた1逆回転モデルでは、载荷初期には杭先端面が全く機能せず、羽根面が全ての荷重を負担している。それに対して、わずかに逆回転させた1/4逆回転モデルでは、载荷初期から杭先端面および羽根面が



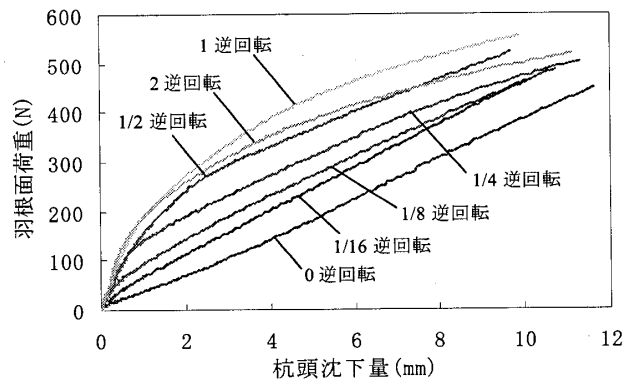
(1) 载荷開始時 (2) 6mm 沈下時 (3) 9mm 沈下時

図8 载荷時の羽根下面の消失過程

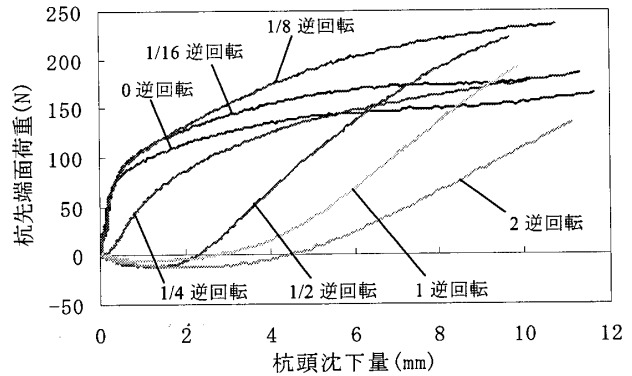
($\mu=0.4$, 0逆回転)



(1) 杭頭荷重



(2) 羽根面荷重



(3) 杭先端面荷重

図6 杭体各部の荷重

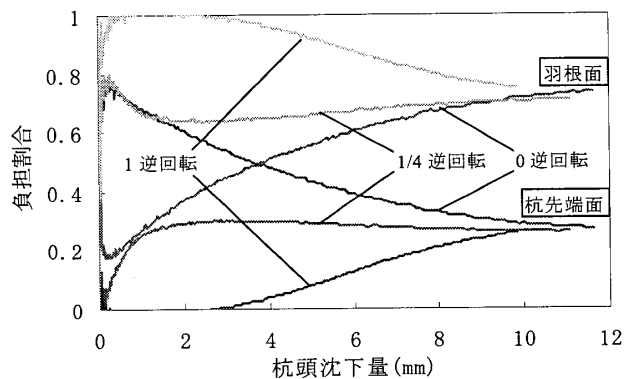
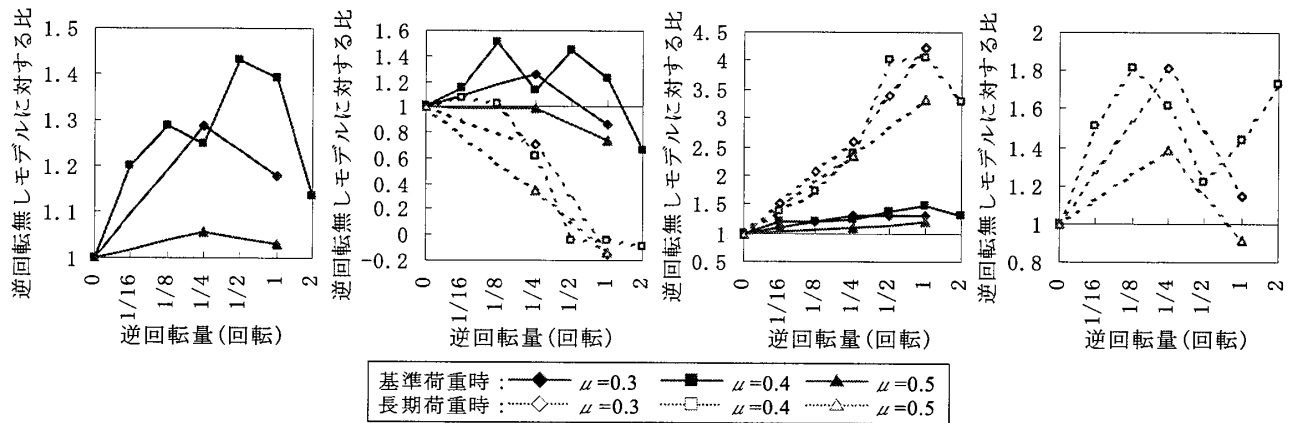


図7 杭体各部の荷重



(1) 杭頭荷重 (2) 杭先端荷重 (3) 羽根面荷重 (4) 杭頭沈下剛性
 図9 杭体各部荷重および沈下剛性の逆回転無しモデルに対する比

有効に機能し、バランスよく荷重を負担している。このモデルの場合、逆回転によって杭がほとんど抜上がっていないために、杭先端面下面の緩み領域や羽根下面の空洞が存在しないものと考えられる。

現行の杭設計法では $0.1d_w$ 沈下時を基準荷重として極限支持力を算定し、それに安全率を付与して許容支持力を算定している。極限支持力状態では逆回転量に関わらず、杭先端面と羽根面の負担割合は一定であるが、逆回転無しモデルや1逆回転モデルでは長期荷重状態における負担率はそれと大きく異なることに注意が必要である。沈下量に関わらず羽根面と杭先端面の荷重分担を一定とするためには、1/4程度の逆回転による打ち止めが有効であり、支持力機構面でも優れていると判断できる。

図9は各モデルの基準荷重時および長期荷重時における杭体各部の荷重および沈下剛性（長期荷重時の杭頭荷重をその時点の杭頭沈下量で除した値）の逆回転無しモデルに対する比であって、逆回転量を横軸にとって整理したものである。

基準荷重時における杭頭荷重に着目すると、 $\mu=0.4$ の場合には杭がわずかに抜上がる1/2逆回転が最も効果的である。一方、長期荷重時の杭頭沈下剛性に着目すると、逆回転しても抜上がりが生じない1/8逆回転が最も効果的である。 $\mu=0.3$ や0.5では1/8や1/2逆回転は実験しておらず、実施した中では1/4逆回転が両者に効果的である。

以上のように、基準荷重時の支持力か長期荷重

時の沈下剛性のどちらかに主眼をおくかで最適な逆回転量は幾分異なることが明らかになった。ここで、管理面の容易さから、杭を正回転で貫入後に杭が抜上がり始めるまで逆回転させる方式（1/8～1/4逆回転）を採用すると、逆回転させない通常の方法に比べて、 $\mu=0.4$ における基準荷重時の杭頭支持力は1.25～1.3倍、杭先端面支持力は1.1～1.5倍、羽根面支持力は1.2倍、長期荷重時の沈下剛性は1.6～1.8倍となる。支持力や沈下剛性の向上の面からもこの方法が優れていると考える。

6. まとめ

本報告では、杭を正回転で貫入後に逆回転させることの有効性を模型実験で検討した。以下の知見が得られたが、今後、原位置での検証実験が必要である。

- ①. 貫入率が大きい場合ほど、少ない逆回転で羽根下面の空洞が消失して杭体は抜上がる。
- ②. 逆回転量を調節することで、鉛直支持力や沈下剛性をコントロールできる。
- ③. 鉛直支持力や沈下剛性の向上を図る打ち止め方式として、杭が抜上がり始める時点で逆回転を停止する方法の有効性が示された。

参考文献

- 1) 中沢楓太, 土屋勉, 他: 回転貫入杭の貫入メカニズムに関する模型実験, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No.79, pp.163-166, 2006.7.
- 2) 島田正夫, 土屋勉, 他: ノズル・ネットを用いた模型砂地盤の作製方法, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 75, pp.21-24, 2002.6.

*1 東急建設(株) 修士(工学)
 *2 室蘭工業大学 教授・工博
 *3 室蘭工業大学 技術職員

Tokyu Construction Co.,Ltd.,M.Eng.
 Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.
 Technician, Muroran Inst. of Tech.