

回転貫入杭の貫入メカニズムに関する模型実験

2. 構造 - 4. 基礎構造
回転貫入杭, 模型実験, 可視化, 貫入メカニズム

正会員 ○中沢楓太*¹ 同 島田正夫*³
同 土屋 勉*² 会員外 山崎裕平*⁴

1. はじめに

場所打ち杭や一般の埋込み杭に見られる残土処理, 更に騒音振動の問題を克服した回転貫入型の杭工法の開発が活発¹⁾になっている。これらの杭工法では, 施工時の様々な情報(回転トルク, 押圧力, 1回転当りの貫入量)が杭の打ち止め管理に活用されているが, 杭の支持力推定に利用できる段階までは至っていない。その理由として, これらの杭工法の貫入メカニズムが十分に明らかになっていないことがあげられる。

本報告では, 杭頭荷重および杭体トルクの計測が可能となるように文献3)の実験装置を改善した上で, 貫入中における羽根近傍の粒子を観察すると共に, 貫入性能に及ぼす羽根の始端と終端の間の切り欠き角および1回転当りの貫入量の因子について比較検討する。

2. 実験装置および実験方法

実験装置を図-1に示す。杭の回転力は杭の回転を拘束した状態でターンテーブルに載せた土槽を回転させることによって与える方式とした。

模型地盤は, 写真-1に示す白米とガラスビーズ($\phi 2.1 \sim \phi 2.3$)を材料として作製したもので, 粒子間の摩擦があって回転が少ない米の特性と, 粒子間の摩擦が少なく移動しやすいガラスビーズの特性を備えている。米およびガラスビーズの安息角はそれぞれ 30° および 18° である。これらを図-1に示す箇所に用いることで, 杭貫入に伴う杭先端部の米粒の移動をスムーズにさせることを意図している。また, 杭貫入中の粒子の追跡を容易にするために米地盤中には食紅で着色した米を5%程度混ぜている。

模型杭は, 図-2に示すような軸部($\phi 48$, t4)および羽根部($\phi 96$, t5)である。軸部は内側から撮影できるように透明アクリルパイプとし, 図-2に示す位置に杭体トルク計測用のひずみゲージを貼付した。羽根部は1枚の螺旋羽根であって, 比較的大きな曲げが作用すると考えられたので, 鋼材を加工したものとし, 3種類の切り欠き角 θ ($\theta=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$)を有している。また, 杭頭部の図-1に示す位置には, 杭頭荷重計測用のロードセルを設置している。

杭貫入中における羽根近傍地盤の粒子挙動の観察は, シンプルスコープによって行ない, これを模型杭内に設置して, ペンライトで杭内部に照明を当て, 図-3に示すPoint毎に地盤挙動を撮影する。

実験は, 载荷フレームの下に貫入装置を設置し, 载荷フレームを毎分28.5mmの速度で降下させながら, ターンテーブルを所定の速度で回転させて行なう。

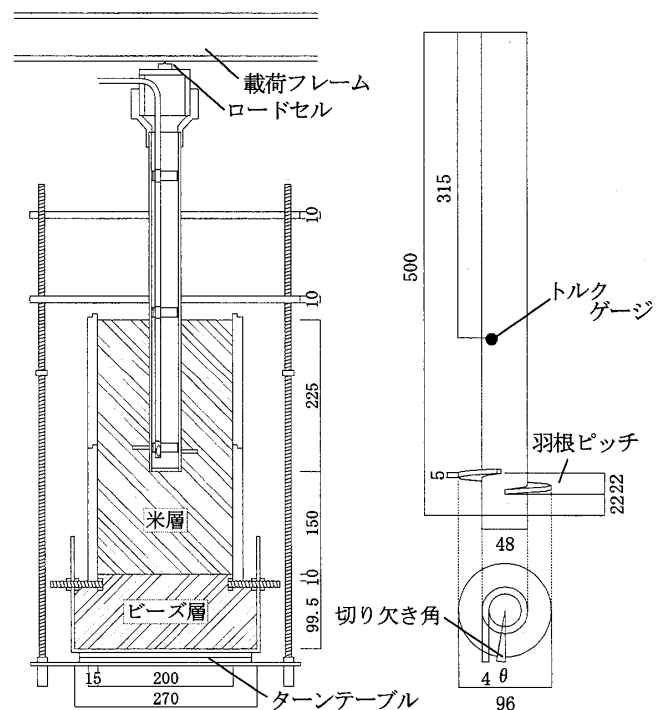
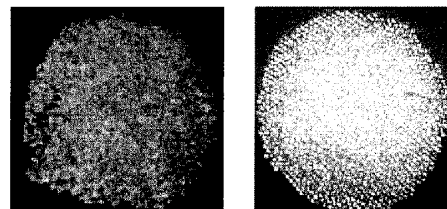


図-1 実験装置

図-2 模型杭



(1) 米 (2) ガラスビーズ

写真-1 地盤材料

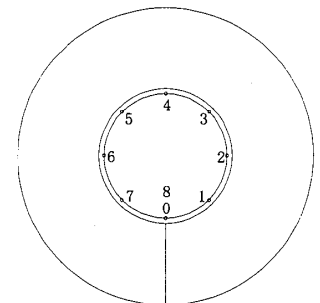


図-3 撮影Point

Model test on pile installation mechanism of screw pile.

NAKAZAWA Futa et al.

切り欠き角 θ および貫入度 S/p (1 回転当りの貫入量を杭の羽根ピッチで除したもの) の因子が及ぼす影響を検討するために、表 - 1 のように実験モデルを設定した。基本モデルは 0-0.4 である。なお、載荷フレームの降下速度が一定であるため、貫入度を変化させる際にはターンテーブルの回転速度を表 - 1 のように変化させている。

表 - 1 実験モデルおよび回転速度

	貫入度 (S/p)	貫入度 (S/p)		
		0.3	0.4	0.5
切り欠き角 (θ)	0°	0-0.3	0-0.4	0-0.5
	10°	—	10-0.4	—
	20°	—	20-0.4	—
回転速度 (sec/回転)		13.9	18.5	23.2

3. 基本モデルの粒子挙動

図 - 4 は、基本モデル (0-0.4 モデル) における杭貫入中の羽根近傍地盤の粒子挙動を観察した結果を平面展開し概念的に描いたものである。

本実験から、羽根上面に粒子が供給される領域 (供給域) と粒子がスムーズに流動する領域 (流動域) があることを確認した。その他に羽根始端刃先には粒子が停滞する部分 (コア) と、羽根下面には空洞とほとんど粒子が動かない部分 (不動部) があり、さらに、羽根終端刃先には羽根上面からこぼれ落ちる粒子との間で一時的に空洞が生じることを確認した。

羽根上面の粒子の流れに着目すると、羽根始端の近くでは低速度でほぼ水平に流れているが、羽根終端に近づくにつれて速度を増し、羽根面と平行な流れとなる。

図 - 5 は、これらの粒子挙動の移動速度をポイント表示したものである。羽根始端から Point2 付近まではターンテーブルの回転速度よりも遅いが、羽根終端付近では回転台の回転速度とほぼ同様である。このことから、羽根部と前回の羽根軌跡との間の地盤密度は Point0 から Point2 に向かって上昇し、Point3 付近以降では大きな推進力を生み出していると推察される。

羽根上面への供給域を通過する粒子の流れは極めて遅い。これは羽根終端下部に生じる不動部と羽根始端刃先に形成されるコアによる抵抗の他に、羽根終端上面からこぼれ落ちた粒子が再び羽根面へ供給されるためである。

不動部は、貫入開始後すぐに形成され、その領域の大きさはその後ほとんど変化しない。この不動部は刃先のコアが生じることで羽根の入り口に向かう粒子の流れが上向きになり、羽根終端下面の粒子の流れを妨げることで生じ、刃先のコアと共に貫入抵抗となると考えられる。

空洞は、貫入開始と同時に羽根始端から形成されて徐々に拡大して、不動部の形成時に最大となる。

以上の羽根上部および下部の粒子挙動から、羽根面で生み出される推進力は羽根始端ではほとんど生じず、羽根終端に近づくにつれて大きくなるが、終端部では不動部の影響で減少することが示唆される。

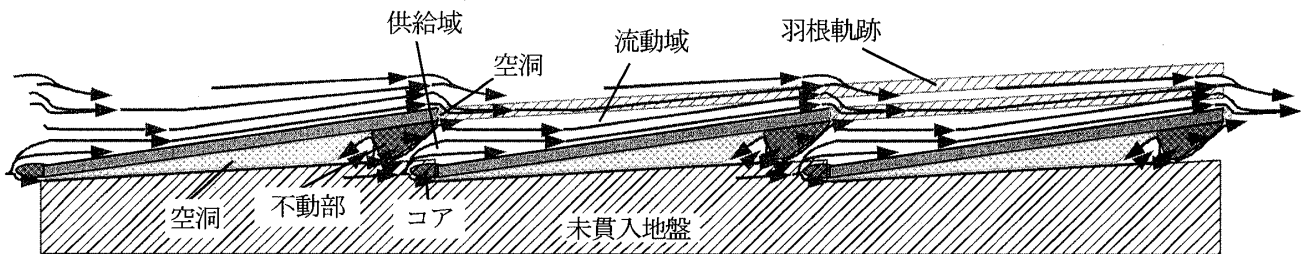


図 - 4 基本モデルの粒子挙動

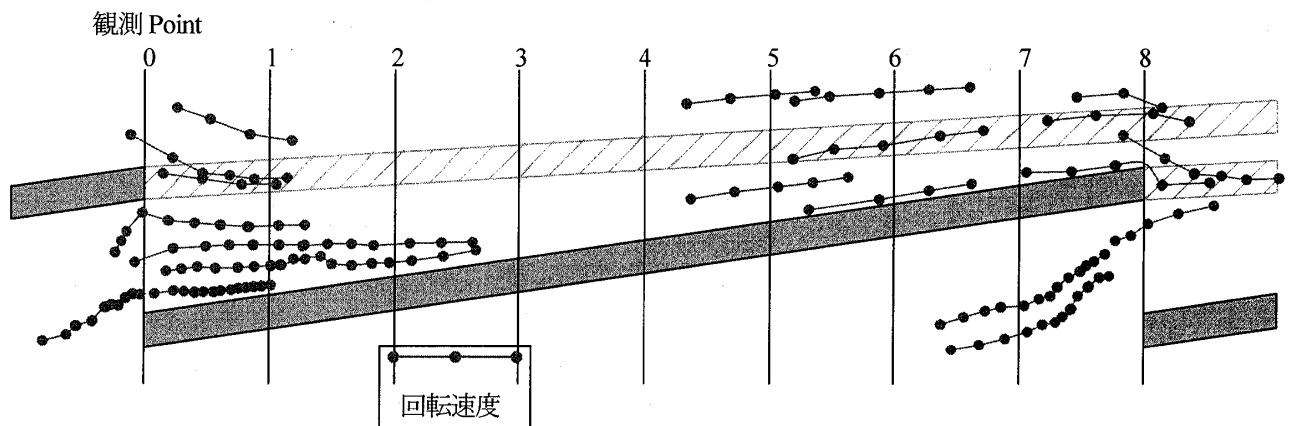


図 - 5 基本モデルの粒子移動速度

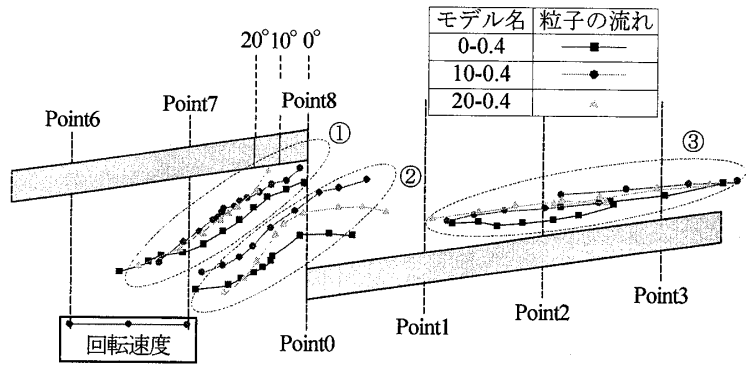
4. 切り欠き角および貫入度が及ぼす影響

4. 1 粒子挙動

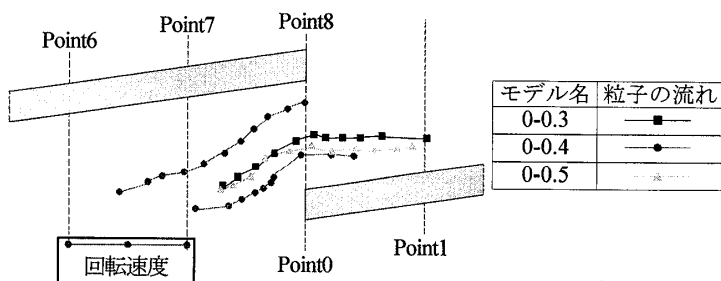
図-6は、切り欠き部の粒子挙動について、切り欠き角および貫入度を変化させて比較したものである。切り欠き角を大きくすると、流れ①は流動域が広がって不動部が消失する傾向があり、流れ②は上向きになっている。流れ③の移動速度は、切り欠き角が大きいほど速いことから、羽根上面と前回の羽根軌跡との間の地盤密度が大きくなっていると考えられる。よって、切り欠き角を大きくすることで、羽根上面への粒子の供給量が増加して羽根面により大きな推進力が得られ、杭の貫入性能が向上することが示唆される。

切り欠き角 $\theta=0^\circ$ で貫入度を変化させた場合は同図(2)に示すように粒子挙動に大きな変化はみられなかった。

図-7は貫入終了後の羽根近傍地盤を平面展開したものである。切り欠き角の増加に伴って、空洞域は広くなり、推進力を減少させると考えられる不動部は狭くなっている。これらの現象は貫入性能の面からは有利となるが、その後の载荷に対する鉛直支持性能を低下させる作用となることが示唆される。また、貫入度を大きくすると、空洞域が狭くなっていることから、杭体の鉛直支持性能が向上するものと考えられる。

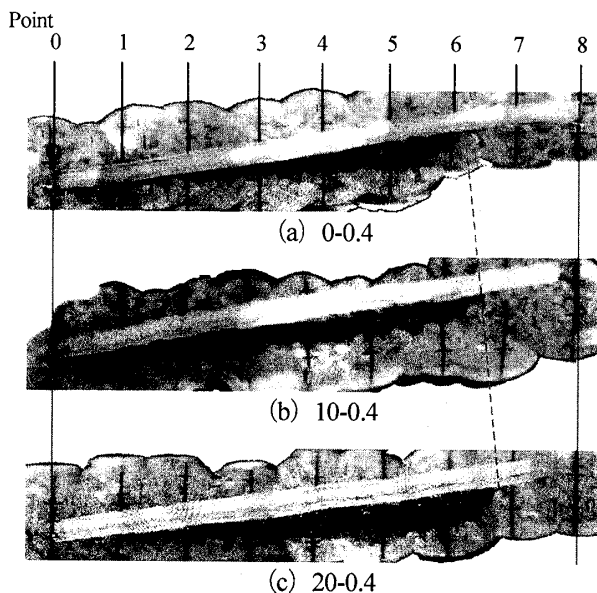


(1) 切り欠き角の影響

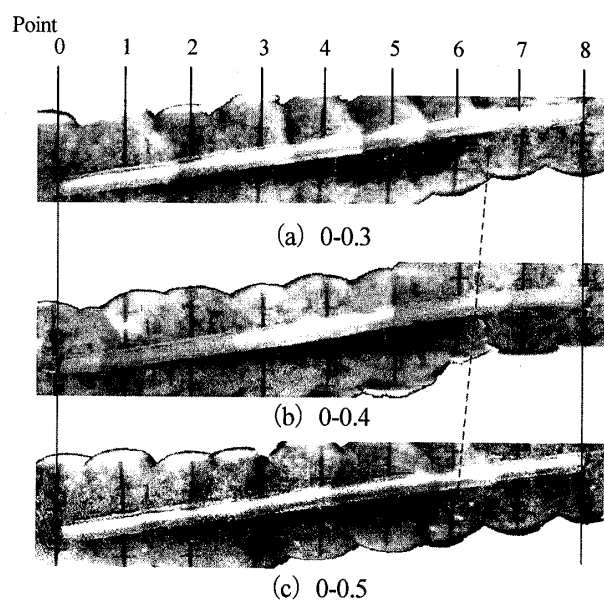


(2) 貫入度の影響

図-6 切り欠き部の粒子挙動



(1) 切り欠き角の影響



(2) 貫入度の影響

図-7 貫入終了後の羽根近傍平面展開図

4. 2 杭頭荷重および杭体トルク

図-8は、貫入の進展に伴う杭頭荷重および杭体トルクの計測値であるが、杭頭が円を描きながら貫入するため、1回転に相当する周期をもって変動している。そこで、以降では計測値を1回転当りに平均化して評価する。

図-9は、貫入の進展に伴う各モデルの杭頭荷重を示したものである。切り欠き角を大きくした $\theta=20^\circ$ の杭頭荷重が、他のモデルよりも小さくなっている。羽根面で生み出される推進力と杭頭荷重で杭が貫入することから、 20° 程度の切り欠き角を有することは、貫入性能を向上させると判断できる。そのような見方で貫入度の影響について評価すれば、貫入度 $S/p=0.3$ のモデルが優れていることになる。

図-10は、貫入の進展に伴う各モデルの杭体トルクを示したものである。羽根の切り欠き角 $\theta=20^\circ$ および貫入度 $S/p=0.3$ のモデルにおける杭体トルクが、他のモデルよりも小さいことから、図-9と同様に優れていると判断できよう。

5. まとめ

本報告では、杭貫入中の羽根近傍地盤の粒子挙動を詳細に確認すると共に、羽根の切り欠き角および貫入度が杭の貫入に及ぼす影響について検討し、以下の知見が得られた。

- ①羽根上面を粒子が流動する領域や羽根下面の空洞の他に、羽根始端刃先にコアや羽根下面に不動部が生じる。
- ②羽根上面のスムーズな粒子の流動域は推進力を生み出すが、コアおよび不動部は貫入抵抗となると推察される。
- ③切り欠き角を設けることで、羽根上部への粒子の供給量が増加して、貫入性能は向上するが、同時に空洞域が増加することで鉛直支持性能が低下することも懸念される。
- ④貫入度を増加させると、空洞域が減少して、鉛直支持性能が向上することが推察される。
- ⑤本報告で実験したモデルの内では、切り欠き角 20° で貫入度0.3のモデルが貫入性能の面で最も優れている。

参考文献

- 1) 土屋勉：最近の埋込み杭施工法の動向と今後の展望，基礎工，Vol.31，No.9，pp.11-15，2003.9.
- 2) 大杉，土屋，他：大型加圧土槽を利用した回転貫入模型杭の貫入実験，日本建築学会構造系論文集，No.591，pp.69-75，2005.
- 3) 中沢，土屋，他：回転貫入杭打設時における地盤挙動の可視化，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.78，pp.107-108，2005.7.

*1 室蘭工業大学 大学院生
 *2 室蘭工業大学 教授・工博
 *3 室蘭工業大学 技術職員
 *4 大成建設(株)

Graduate Student, Muroran Inst. of Tech.
 Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.
 Technician, Muroran Inst. of Tech.
 Taisei Corporation.

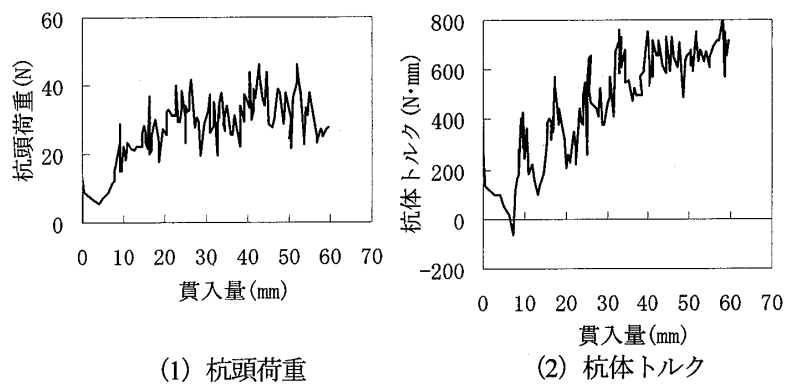


図-8 計測値の例 (0-0.4モデル)

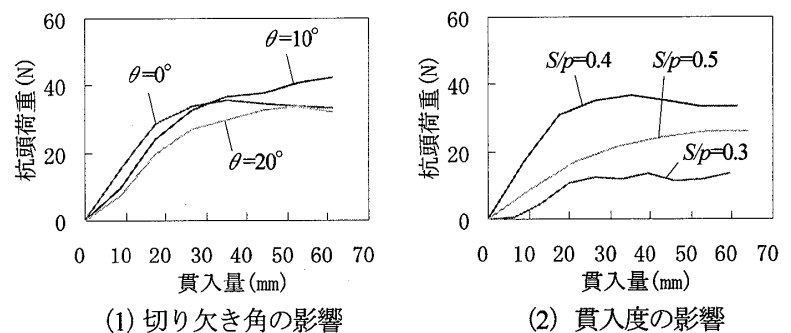


図-9 杭頭荷重

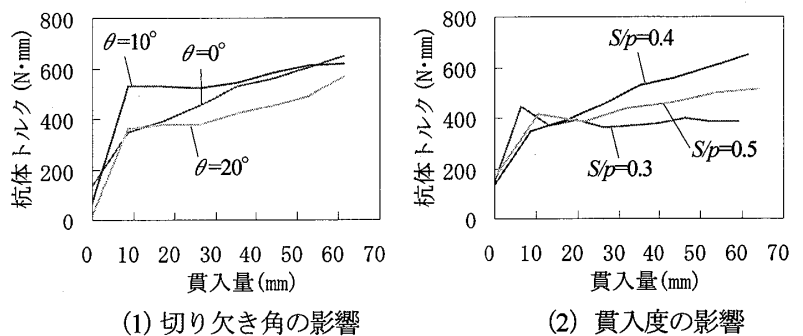


図-10 杭体トルク