

回転貫入杭の施工時挙動と鉛直支持力に関する大型模型実験

	正会員	○田内大紀*1	同	大杉富美一*1
2. 構造 - 4. 基礎構造	同	土屋 勉*2	同	中沢楓太*1
回転貫入杭, 貫入メカニズム, 残留応力	同	島田正夫*3	会員外	四日市拓哉*4

1. はじめに

騒音振動等の問題があるため、都市部やその近郊で打込み杭を使用することはほとんど不可能であるが、支持力的には打込み杭のように地盤を掘削することなく施工できる杭工法 (Displacement Pile) が優れていることは明らかである。そこで、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 (以下、本報告では回転杭と呼ぶ) の開発が活発¹⁾になっている。

これらの杭工法では、鋼管の先端面または杭周面に溶接された螺旋翼や平板 (以下、本報告ではこれらをまとめて羽根と呼ぶ) が回転推進力となって、土を側方に押しつけて設置される。設置後にはこれらの羽根が杭の鉛直支持力を増加させる要素として機能することを基本的な特徴としている。

回転杭の特徴である杭1本毎に得られる施工時の様々な情報 (回転トルク, 押圧力, 1回転当たりの貫入量) を、杭の打止め管理や支持力推定に利用出来れば、回転杭の信頼性は飛躍的に向上するであろう。しかし、著者等が指摘した回転貫入杭特有の残留応力の問題²⁾もあり、施工情報を鉛直支持力と関連づけることは、現段階では精度的に満足できるものとはなっていない。

本報告では、これまでの実験条件³⁾⁴⁾を広げて、回転貫入杭の施工時挙動とそれの鉛直支持力に及ぼす影響を検討した。すなわち、従来は極めて密な砂地盤のみを対象にしていたが、中程度の相対密度を有する地盤を新たに加えると共に、杭断面の歪みゲージ枚数を多くして施工中の応力分布を詳細に計測している。

2. 実験方法

2.1 模型地盤

地盤材料として珪砂6号を使用した。この試料の物理的性質は平均粒径 $D_{50}=0.32\text{mm}$, 均等係数 $U_c=2.00$, 粒子密度 $\rho_s=2.61\text{g/cm}^3$, 最大密度 $\rho_{\max}=1.74\text{g/cm}^3$, 最小密度 $\rho_{\min}=1.74\text{g/cm}^3$ である。

本実験では、模型砂地盤の作製方法として単網分散落下法⁵⁾を用いている。この方法はノズルから投下した砂を開口幅2mmのネットに衝突させて分散落下させる手法である。従来の実験では口径 $\phi 12\text{mm}$ のノズルを用いることにより、相対密度 $D_r=94\%$ を有する極めて密な模型砂地盤を作製してきた。今回は中密度の地盤を作製することを目指して、ノズル口径を12~38mmまで変化させて予備実験を行った。図-1は $\phi 33\text{mm}$ の実験結果である。それによると D_r は砂の落下高さを大きく変化させても $D_r=70\sim 75\%$ の範囲にあり、標準偏差 σ も最大で1.04%と比較的小さかった。以上のことから、本報告では $D_r=72\%$ 程度の地盤を標準の中密度地盤として採用することにした。

土槽の形状は内径2000mm, 深さは2500mmである。この土槽内部へ効率的に砂を投下するため、図-2に示すような装置 (サンドレーナー) を用意して土槽上部に取り付けた。サンドレーナーは円筒形をした本体の中に多孔板とネットが設置されており、多孔板に121個のノズルを設置して砂を一斉に土槽へ投入することができる。

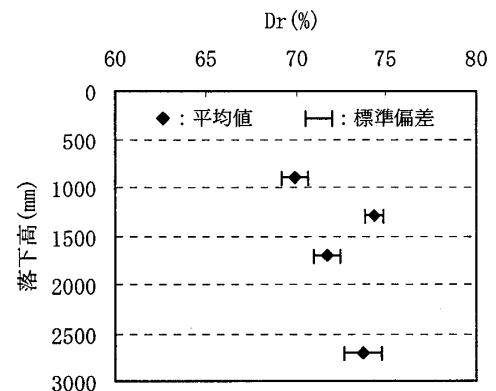
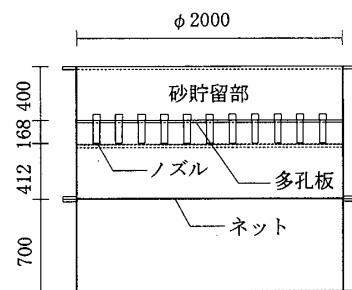
図-1 $\phi 33$ ノズルによる相対密度範囲

図-2 サンドレーナー

Pile installation and vertical loading tests of screw pile in a calibration chamber.

TAUCHI Daiki et al.

2. 2 模型杭

実験はA～Cの3ケースであり、用いる模型杭の形状や諸元を図-3(a)および表-1に示し、歪ゲージの特徴と貼付位置を表-2および図-3(b)に示す。なお、杭先端部荷重と羽根部荷重を独立して測定するために、模型杭の構造は二重管構造とし、その材質はSTK410、F値=245MPa、ヤング率 $E=2.05 \times 10^5$ MPaである。

2. 3 実験装置および実験方法

実験装置の概要と実験の手順を以下に示す。図-4は実験装置の構成、表-3は実験条件である。ここで、土槽（内径2000mm、深さ2500mm）には、内壁に摩擦軽減対策としてテフロンシートを二重または三重に貼り付けてある。また、全ての実験における歪ゲージ、ロードセル、変位計等の各種センサによる測定値は、全てPCに表示し記録される。

1) 回転貫入実験

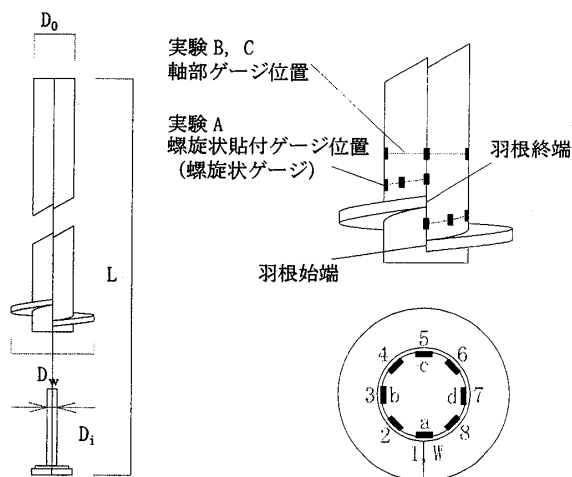
- ①. 単網分散落下法により、所定の相対密度を有する均一な模型砂地盤を作製する。
- ②. 実験土槽の中央に下杭が自立できる程度（150mm）埋め込み、蓋をする。
- ③. 上載圧負荷装置により所定の上載圧（0.1MPa）を作用させる。
- ④. 回転貫入装置に杭を接続後、杭を回転貫入させる。
- ⑤. 杭を継ぎ足しながら、所定深度まで回転貫入させる。

2) 鉛直載荷実験

- ①. 回転貫入実験後、上載圧を維持したまま回転貫入装置と載荷フレームを入れ替えて杭頭に接続する。
- ②. 油圧ジャッキを用いて、段階載荷または連続載荷により荷重を負荷させる。

表-2 歪ゲージ

実験名	軸部ゲージ	
	種類	方向
実験B	単軸	4
実験C	ロゼット	4

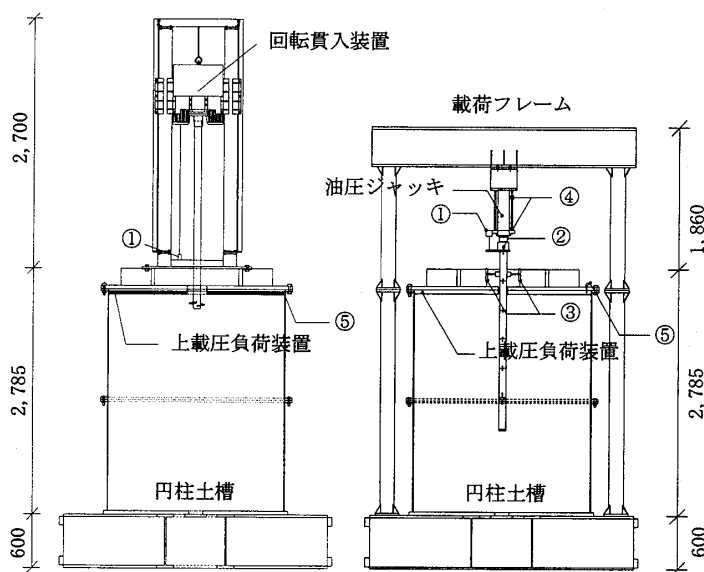


(a) 形状（二重管構造） (b) ゲージ位置

図-3 模型杭

表-1 模型杭諸元

実験名	直径 D_o (mm)	軸厚 t_o (mm)	材長 L (mm)	内軸径 D_i (mm)	羽根径 D_w (mm)	羽根厚 t_w (mm)	ストローク h (mm)
実験A	76.3	7	1362	22	152.6	11.5	41
実験B			2042				
実験C			1362				



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-4 実験装置の構成

表-3 実験条件

実験名	上載圧 (MPa)	相対密度 D_r (%)	テフロンシート	載荷方法
実験A	0.1	94	二重	-
実験B				段階載荷
実験C	0.1	72	三重	連続載荷

3. 実験結果および考察

3. 1 回転貫入時応力

図-5および図-6は、それぞれ螺旋および軸部ゲージ位置における負担荷重と貫入深度の関係である。螺旋ゲージ位置についてみると、6~8は値が小さいが、5~3にかけて引張力が大きくなる。また、1と2では引張力の増加後、貫入深度250mm付近から減少する傾向が見られ、1については貫入深度400mm付近から圧縮力を示す。このことから、羽根始端から終端にかけて回転推進力が増大し、3付近で最大になる性質を有するといえる。

軸部を測定した実験BとCでは、相対密度の違いにより地盤の拘束圧が異なるため、各点での負担荷重に差が生じるが、bおよびd点でそれぞれ引張力および圧縮力を示す傾向が双方の実験で見られた。このことから、杭体は図-7に示す反力による曲げを受けながら貫入していくものと推察される。ここで、 R_{vv} は羽根終端付近にかけて大きくなる回転推進力、 R_{bh} は羽根始端の刃先に作用する水平抵抗力である。

3. 2 残留応力

図-8は貫入終了後の杭各部に残留している応力と時間の関係を示したものである。それによると、貫入終了時に大きく変動した後、杭各部によってそれぞれ特徴ある推移を示す傾向がある。杭先端部では圧縮方向へ上昇後、緩やかに減少して貫入直後の値に収束するのに対して、軸部では引張方向へ増大した後やがて一定を示す。このような現象を解釈するために、図-9に概念図を示した。すなわち、貫入によって杭先端部が押し

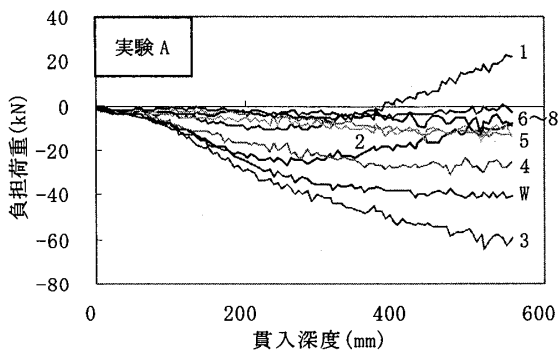


図-5 回転貫入実験 (螺旋ゲージ位置)

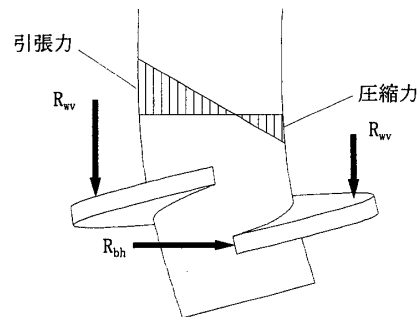


図-7 貫入中の杭先端の模式図

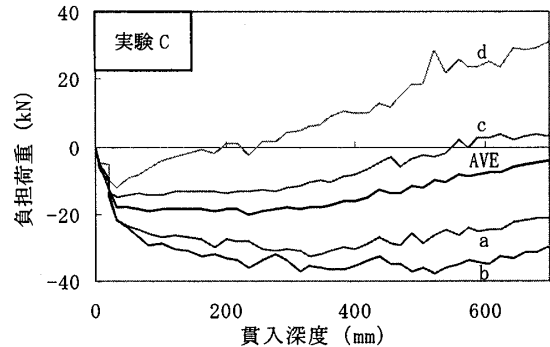
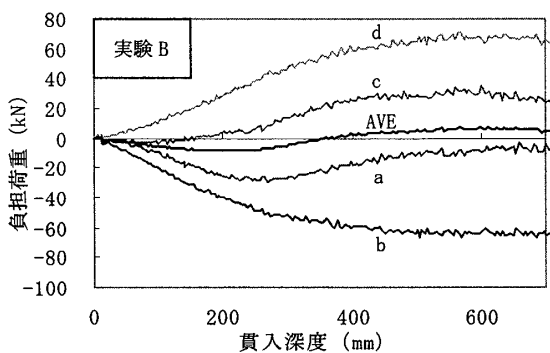


図-6 回転貫入実験 (軸部ゲージ位置)

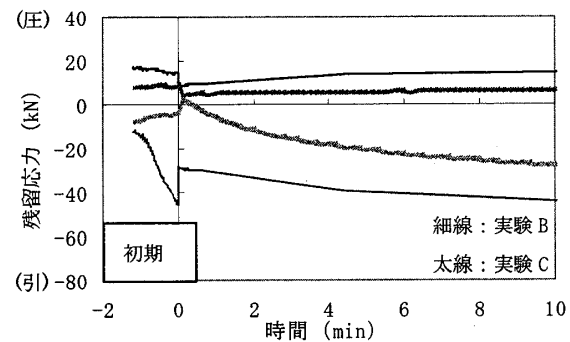
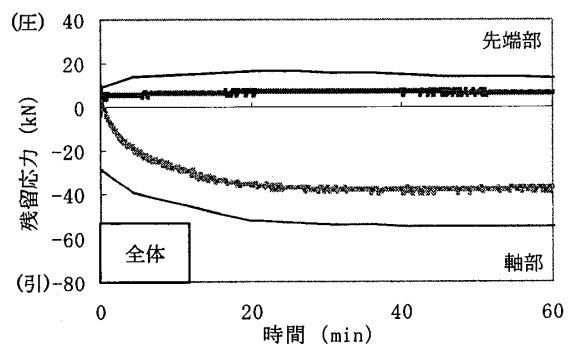


図-8 残留応力

込まれ杭周面の砂は引き込まれるが、貫入終了後は地盤の弾性的な性質によって変形の回復現象が起こり、羽根より下部の杭先端部には圧縮荷重、羽根より上部の軸部には引張荷重が作用するものと考えられる。

3.3 鉛直荷重時応力

図-10と図-11は、杭頭荷重時における各部の負担荷重と沈下量の関係を全体と初期の双方を示したものである。全体をみると、負担荷重は実験Bが実験Cの2~4倍程度の値を示すため、相対密度の違いによって支持力に大きな差が生じたといえる。また、双方に共通して沈下量150mm付近からは一定の値を示す。沈下初期では、共通してb, a, c, d点の順に負担荷重が大き

く、沈下量0.5~1.0mm程度の範囲ではd点の負担荷重はほとんど0である。このことから、相対密度の違いに関係なく施工中に生じた羽根下端面の密着域と空洞域、並びに羽根刃先の水平抵抗力が、その後の鉛直荷重時にも偏心反力分布を引き起こすと考えられる。

4. まとめ

本報告では、回転貫入杭の施工中と鉛直荷重に関する模型実験によって、以下の現象が生じている可能性が高いことが明らかとなった。

- ①. 回転貫入杭は羽根刃先の抵抗と羽根面の推進力の不等分布によって、曲げを受けて杭先端の中心軸が円を描きながら貫入していく。
- ②. 貫入終了後の残留応力は、時間の経過に伴って減少するものではなく、地盤の弾性的な変形回復によってむしろ増加する性質が見られる。
- ③. 回転貫入終了時点における羽根下端面の密着域と空洞域の存在、並びに羽根刃先の水平抵抗力によって鉛直荷重時にも偏心反力分布となる。

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) 土屋 勉，大杉富美一，他：多翼鋼管杭の支持力機構，土と基礎，Vol. 48, No. 8, pp. 5-8, 2000. 5.
- 3) 田内大紀，土屋 勉，他：大型加圧土槽を利用した鋼管杭の施工および鉛直荷重実験，日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 77, pp. 149-152, 2004. 7.
- 4) 大杉富美一，土屋 勉，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.
- 5) 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.

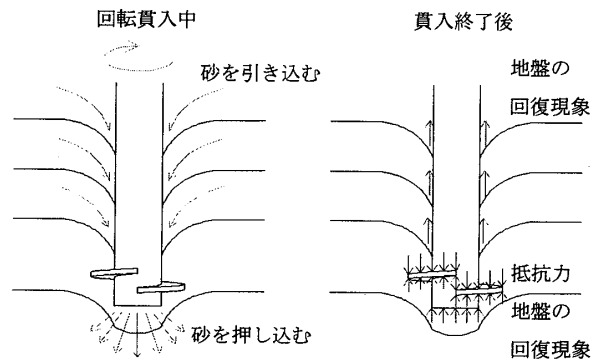


図-9 残留傾向概念図

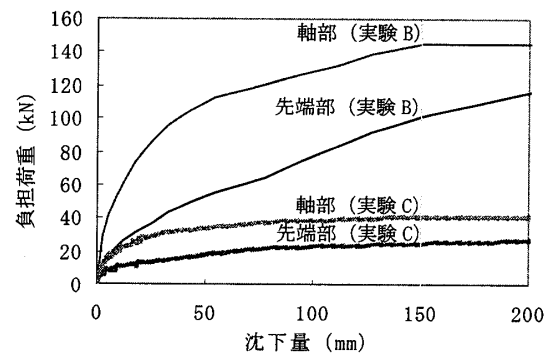


図-10 各部負担荷重比較

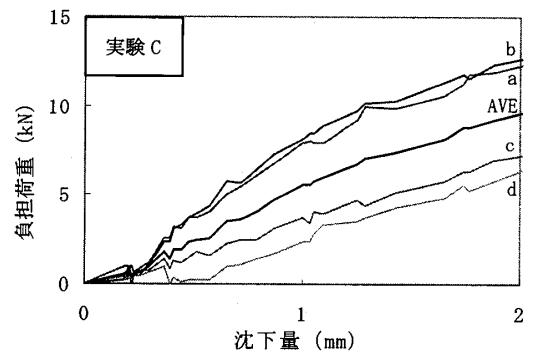
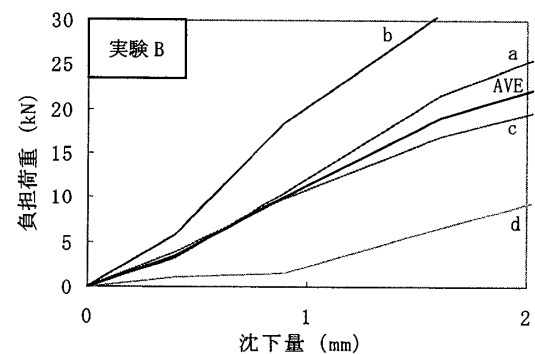


図-11 荷重実験軸部初期段階

*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 岩田建設(株)

Graduate Student, Muroran Inst. of Tech.
 Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.
 Technician, Muroran Inst. of Tech.
 Iwata Construction Co., Ltd.