

加圧土槽を利用した模型杭の施工実験

正会員 ○草野憲蔵\*<sup>1</sup>  
同 土屋 勉\*<sup>2</sup>  
同 大杉富美一\*<sup>3</sup>  
島田正夫\*<sup>4</sup>

部門—細分類：2.構造—4.基礎構造  
キーワード：杭，施工時応力，模型実験

1. はじめに

環境にやさしい杭工法として，回転貫入型の杭工法の開発が盛んになっている．翼付き鋼管杭はその代表的なものであり，先端部に取り付けた翼による回転推進力によって設置され，設置後は翼部に相応の支持力を負担させるのが特徴である．載荷試験結果も蓄積されつつあるが，回転貫入型杭工法の支持力機構が未だ十分に解明されていない．

著者等は，このようなタイプの杭を回転貫入させると，杭体に残留応力が生ずることを指摘<sup>1)</sup>するとともに，翼付け根部の曲げ応力に対する断面設計を合理的に進めるためには，残留応力に対する配慮が必要と考えている．

本報は，杭設置による残留応力を明らかにすることを目的として，翼付き模型鋼管杭（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）も実験対象とした．これら3種の杭の挙動を比較検討して，杭施工後に残留する杭体軸力分布モデルを提示した．

2. 実験方法

2.1 装置の概要

実験装置の構成を図-1に示す．

土槽は内径 2000mm，深さ 2500mm の円柱形であり，土槽の内壁面にはシリコングリスを塗布したテフロンシート(厚 0.1mm)を三重に貼り付けた．砂を充填して上載圧のみを負荷させた実験を行い，土槽外壁面に貼付したワイヤーストレインゲージ(WSG)や土槽底面の土圧計の値から，土槽内壁面と砂との間にはほとんど摩擦力が生じないことを確認している．

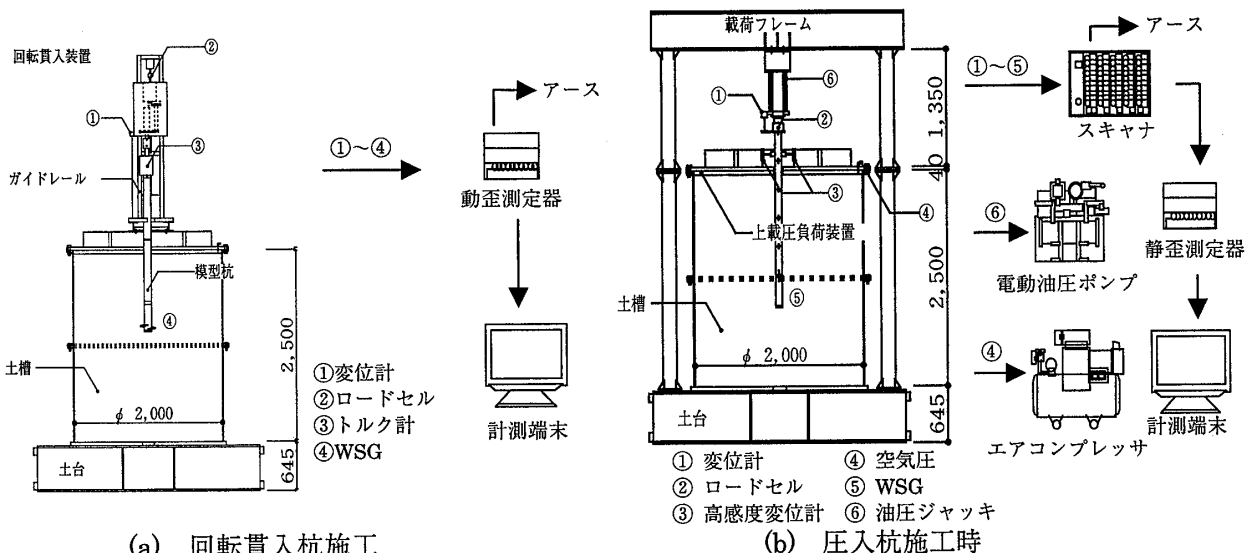


図-1 実験装置構成図

Pile installation test of model piles in a calibration chamber

KUSANO Kenzo et al.

上載圧負荷装置はエアコンプレッサに接続して、空気圧により模型砂地盤に上載圧(容量 500kPa)を負荷するもので、直径 2000mm、厚さ 50mm のドーナツ形状をしたゴム製空気袋である。上盤の開口部(直径 114.3mm)に適合し、砂地盤と上盤の間に装填できる。

回転貫入装置は、重量 1.4kN、回転数 12.5rpm、回転トルク 1.6kNm を有しており、ガイドレール上を下降する。圧入・載荷フレームは、土台、支柱、反力梁で構成されており、設計鉛直荷重は 1000kN である。直杭の圧入や鉛直載荷実験では、油圧ジャッキ(50kN, 200kN, 500kN)を用いている。

以上の実験で測定される全ての歪ゲージ、ロードセル、変位計等の各種センサーによる測定値は全て計測端末に表示・記録される。

2. 2 模型砂地盤

使用した砂試料は珪砂 6号(東北珪砂)であり、表-1にその物理的性質を示す。本実験では、図-2に示すようにノズルとネットを組み合わせた空中落下法<sup>2)</sup>で地盤作製を行った。模型砂地盤の鉛直方向および水平方向の均一性を確認するため、地盤中にモールドを埋設して相対密度  $D_r$  分布を測定したが、その平均は 93.9%であった。ただし、それらの標準偏差は  $\sigma=1.43\%$  であり、事前に行った空中落下法の性能実験の値  $\sigma=0.89\%$  よりもバラツキが大きかった。その理由として、これらの値には地盤からのモールド回収作業に伴う振動などの外力の影響が含まれているためと考えられる。それらを考慮すると、本実験で採用した空中落下法によって、ほぼ均一な地盤が作製できるもの判断している。

次に、模型杭および模型杭固定具が  $D_r$  分布に及ぼす影響を検討するために、杭近傍にモールドを埋設した。それらの結果は、杭近傍が僅かに  $D_r$  が低いようにも見受けられたが、 $D_r$  の平均が 93.8%であり、杭の有無による差は小さいと判断できよう。

2. 3 試験体

実験に用いた模型杭の寸法を表-2および図-3に示す。杭先端部荷重の測定は、文献<sup>3)</sup>を参考にして、歪計(WSG)を添付した棒状の荷重計(表-2の内軸径を有する)を鋼管杭に挿入することにより、杭周面摩擦力が含まれないような配慮を行った。なお、回転1の先端部は同心円上に3ヶのドーナツ型に分割して、先端部の荷重分布の計測を試みた。

実験は以下の手順で実施した。

a). 回転杭

所定の上載圧の元で設置を試みたが貫入装置のトルク不足のため、上載圧無しで翼付き杭を回転施工した後、75kPaの上載圧を負荷させた。

b). 圧入杭

75kPaの上載圧の元で、ジャッキを 180mm 程度づつ盛り変えながら、直杭を圧入施工した。

c). 埋設杭

杭先端深度まで地盤を作成した後、直杭を立て込んだ状態で地表面まで地盤を作成する。その後、a)と同様に

表-1 砂試料の物理的性質

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 試料名                   | 東北珪砂 |
|                       | 6号   |
| $G_s$                 | 2.61 |
| $\rho_{max}(g/cm^3)$  | 1.74 |
| $\rho_{dmin}(g/cm^3)$ | 1.42 |
| $D_{50}(mm)$          | 0.32 |
| $U_c$                 | 2.00 |

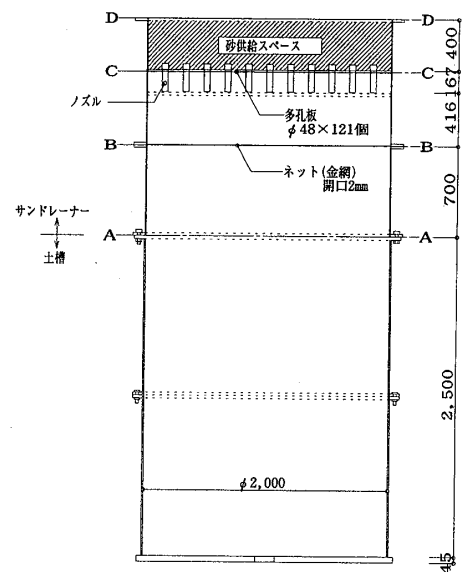


図-2 地盤作製装置

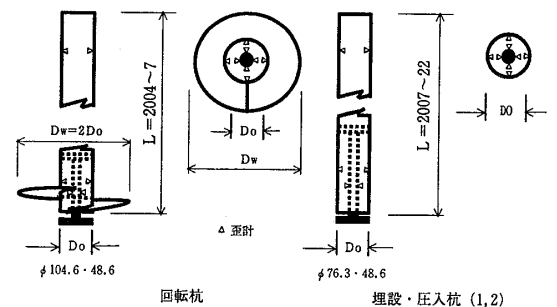


図-3 模型杭の形状

表-2 模型杭一覧

| 名称  | 直径 $D_o$ (mm) | 軸厚 $t_o$ (mm) | 杭長 $L$ (mm) | 内軸径 $D_i$ | ストローク (mm) | 翼径 $D_w$ (mm) | 翼厚 $t_w$ (mm) |
|-----|---------------|---------------|-------------|-----------|------------|---------------|---------------|
| 回転1 | 101.6         | 12            | 2004        | 30        | 50         | 203.2         | 12            |
| 回転2 | 48.6          | 5.1           | 2007        | 18        | 40         | 97.2          | 6             |
| 圧入1 | 48.6          | 5.1           | 2007        | 18        |            |               |               |
| 圧入2 | 48.6          | 5.1           | 2007        | 18        |            |               |               |
| 埋設1 | 76.3          | 7             | 2022        | 22        |            |               |               |
| 埋設2 | 48.6          | 5.1           | 2007        | 18        |            |               |               |

75kPa の上載圧を负荷させた。これらの杭の施工終了時における杭先端と土槽底面までの距離は 900mm 程度を確保することとした。なお、全てのは歪ゲージを貼付した鋼管杭の圧縮試験によって較正值が得られている。

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1 施工時軸力

図-4は、回転2の施工中に動歪測定器を用いて計測した杭先端部抵抗と翼の推進力を杭先端深度との関係でプロットしたものである。図中、測定値が不連続になっているのは、杭の接続作業により中断したためである。翼の推進力は杭先端深度の増加に伴って漸増しているのに対して、杭先端荷重は深度にかかわらず1~2kN程度である。これは後述する同じ径を有する圧入杭の先端荷重に比べてかなり小さい。この理由としては、上載圧の有無に加えて、国府田等<sup>4)</sup>による回転貫入杭の貫入試験で観察している翼下面の空隙の影響と考えられる。すなわち、翼部は貫入中に杭先端付近の拘束力を弱める作用をすることが、杭の貫入を容易にしているものと考えられる。なお、翼部のストローク40mmに対して、杭の1回転当たりの貫入量は杭深度によらず7.4~7.7mmであった。

図-5は、圧入2を施工中の杭頭部と杭先端部の荷重を深度との関係でプロットしたものである。杭径の2倍程度の貫入である GL-100mm 程度までは杭頭と先端部が同じ値であるが、その後は徐々に杭の周面抵抗が発揮する。圧入実験終了時点の杭先端部の抵抗は杭頭荷重の75%で、その大きさは 35kN 程度にもなっており、回転貫入施工の杭とは明らかに異なる性状を示す。

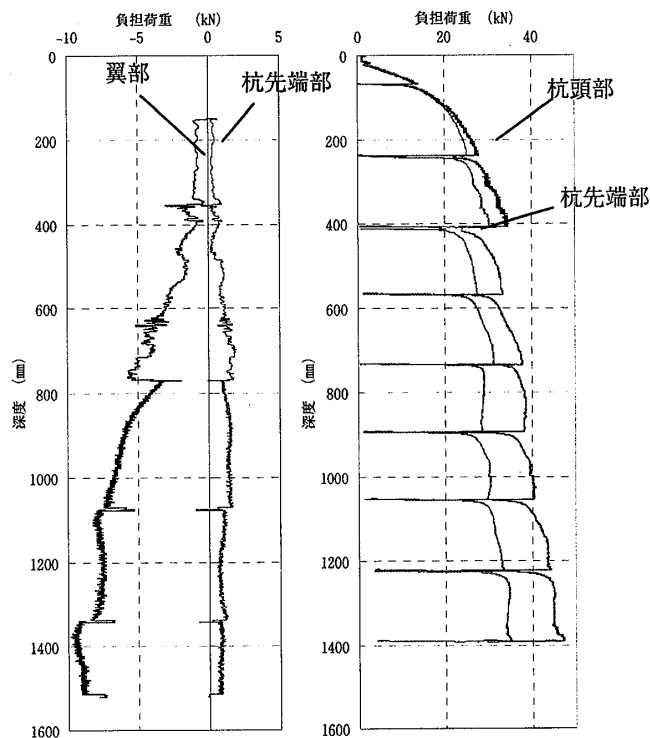


図-4 回転杭の軸力分布

図-5 圧入杭の軸力分布

#### 3. 2 残留応力

表-3は、各杭体の施工前(空中で横置きした状態)の歪を原点として、杭施工後の歪の差から求めたものである。回転杭と埋設杭では、施工後に上載圧を作用させたので、杭の回転貫入施工後の値と地盤表面上に上載圧を作用させた時点での値を示した。

表-3 施工実験結果

##### a). 回転杭

杭施工後の杭先端部には1~10kNの圧縮力が残留しており、軸径が増大するほど、大きくなる傾向がある。杭周面部では値も小さくバラツキもあるが、一般に正の摩擦力に相当する圧縮成分が残留する傾向がありそうである。翼部には、杭施工によって引張力が生じていることが分かる。上載圧負荷時は、杭先端部および杭周面部においては、残留圧縮力を増大する方向に働き、翼部は残留圧縮荷重を減少させる方向に働いている。

##### b). 圧入杭

杭先端には2~4kNの圧縮力が残留しているが、この時の圧入荷重 30kN~35kN に対して1割程度に過ぎない。

| 実験名 | 杭径<br>Do<br>(mm) | 翼径<br>Dw<br>(mm) | 貫入方法 | 施工後残留分 |       |      | 上載圧負荷時残留分 |      |      |
|-----|------------------|------------------|------|--------|-------|------|-----------|------|------|
|     |                  |                  |      | 杭先端    | 翼     | 杭周面  | 杭先端       | 翼    | 杭周面  |
|     |                  |                  |      | (kN)   | (kN)  | (kN) | (kN)      | (kN) | (kN) |
| 回転1 | 101.6            | 203.2            | 回転貫入 | 9.9    | -10.9 | 1.0  | 16.9      | -7.5 | -9.4 |
| 回転2 | 48.6             | 97.2             |      | 1.3    | -7.0  | 5.7  | 3.7       | -4.2 | 0.5  |
| 圧入1 | 48.6             |                  | 圧入   | 3.5    | -     | -3.5 | -         |      |      |
| 圧入2 |                  |                  |      | 2.5    | -     | -2.5 |           |      |      |
| 埋設1 | 76.3             |                  | 埋設   | 2.1    | -     | -2.1 | 4.7       | -    | -4.7 |
| 埋設2 | 48.6             |                  |      | -      | -     | -    | 1.4       | -    | -1.4 |

c). 埋設杭

約 2kN の圧縮力が杭先端に作用しているが、この値は杭径の約 3 倍の範囲に分布する砂が杭体によら下がったことに相当する。上載圧により杭先端荷重が更に増加して 4.7kN となっている。

3. 3軸力分布モデル

図-6 は上記の施工後の残留応力を考慮して、軸力分布をモデル化したものである。通常、行われている一般的な杭頭載荷実験においては、ハッチ部の軸力のみが考察対象となっている。

a). 回転杭

回転貫入を停止すると、翼部に引張力、杭先端部には圧縮力、杭周面部には正の摩擦力に相当する圧縮成分が残留する。その後、杭頭載荷が行われるとハッチ部に示すように、小さめの杭周面抵抗力と先端抵抗力、並びに大きめの翼部負担が寄与することになる。

b). 圧入杭

圧入中は杭先端に圧縮力、周面には正の摩擦力が作用するが、圧入を停止すると杭先端には圧入中の 1/10 程度の圧縮軸力が残留し、杭周面には負の摩擦力が残留する。その後の杭頭載荷が行われると、ハッチ部のように大きめの周面抵抗力と小さめの杭先端抵抗力が得られる。

c). 埋設杭

基本的には圧入杭と同様であるが値自体はかなり小さくなる。

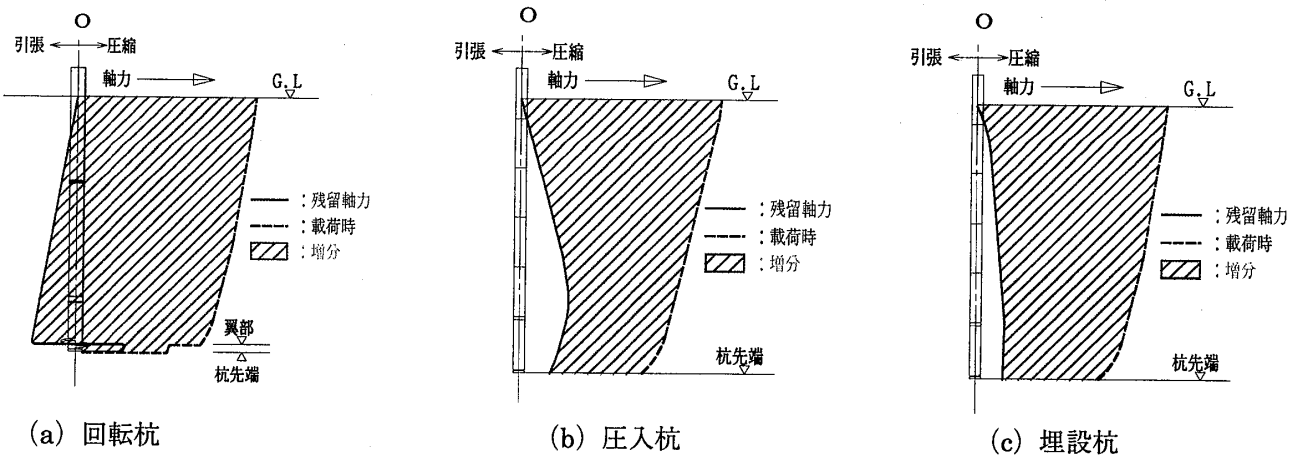


図-6 軸力分布モデル

4. まとめ

回転杭、圧入杭、埋設杭の施工実験によって以下の点を明らかにした。

- ① 杭施工時に発生する回転貫入杭の先端荷重は圧入杭のそれよりもはるかに小さくなっており、そのことが回転貫入杭の施工性を高めている。
  - ② 杭の施工法によって施工後の残留応力分布が大きく異なる。
  - ③ 鉛直載荷試験で得られる杭先端荷重と杭周面摩擦力の比率は、これらの残留応力特性に影響される。
- 今後は更に測定精度を上げる工夫を図りながら、杭と地盤の因子を変化させた実験を進める予定ある。

参考文献

- 1) 土屋 勉・大杉富美一・他：多翼鋼管杭の支持力機構，土と基礎，No.508，pp5-8，2000.5.
- 2) 島田正夫・土屋 勉・菊地ゆかり：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.
- 3) 土屋 勉・大杉富美一・他：翼付き鋼管杭の軸力測定法，土と基礎，No.511，pp.17-19，2000.8.
- 4) 国府田誠・佐藤秀人・他：回転貫入杭の貫入および支持力機構に関する基礎的研究，第 36 回地盤工学研究発表会，2001.6.

\*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・技官