

埋込み杭工法における杭の先端支持力に関する基礎的研究
低強度の根固め部を有する模型杭の模型実験

Fundamental Study on Vertical End Bearing Capacity of Pile Constructed by Prebored Method
Laboratory Test of Pile with weak part

○松本 尚¹, 佐藤秀人², 鹿糠嘉津博³, 田子 茂³, 宮崎世納³

*Sho Matsumoto¹, Hideto Sato², Katsuhiro Kanuka³, Shigeru Tago³, Sena Miyazaki³

The objective of this study is to make clear the characteristics of vertical bearing capacity of a pile-end, which installed by the prebored pile construction method. We performed laboratory axial loading test and observe the Failure mode of root hardening part. We discussed the pile-end resistance in order to put to practical use for the structural design of piles.

1. はじめに

基礎杭は、十分な先端支持力を確保することが重要項目のひとつである。埋め込み杭工法に分類されるプレボーリング根固め杭工法では、地盤のばらつきやスライム混入などによって、根固め部の強度が不足し、先端支持力が過少となる可能性がある。本研究では、根固め部の強度と杭先端部の形状を試験パラメータとし、低強度の根固め部を有する際の支持力傾向および根固め部の破壊形状を、模型実験によって検討する。

2. 杭の模型載荷実験

2.1 試験杭

試験杭の形状と根固め部の詳細を Figure 1, 2 に示す。試験杭は、杭径 $D=48.6\text{mm}$ 、肉厚 $t=3.2\text{mm}$ 、長さ $L=600\text{mm}$ の電縫鋼管を用いた。杭の先端は先端下方厚さ $=50\text{mm}$ として、石膏（焼石膏 A 級）によって覆い、水石膏比 ($W/P=60\sim 120\%$) によって根固め部強度を変化させた押込試験（閉端杭シリーズ）を実施した。次に根固め部の $W/P=120\%$ として、先端に外径の大きな有孔定着円盤（外径 $D_e=58, 65, 75\text{mm}$ ）を取り付けた押込試験（P シリーズ）を実施した。根固め部に用いた

石膏の一軸圧縮試験の結果を Table 1 に示す。

2.2 試験土槽および模型地盤

試験土槽は、直径 1000mm 、深さ 1000mm の鋼製円形土槽を用いた。模型地盤は、気乾状態の珪砂 5 号（飯豊産）を使用し、2 重分散網を用いた多孔式空中落下法¹⁾によって作成した（落下口径： 9mm 、落口間隔 100mm 、落下口～分散網距離： 300mm ）。模型地盤の緒元を Table 2 に示す。

2.3 載荷計測方法

静的押し込み試験は、Figure 3 に示す変位制御式電動載荷装置（最大載荷能力： 20kN ）を用いて、 $1\text{mm}/\text{min}$ の速度で行い、杭頭荷重と杭頭変位を計測した。

3 実験結果および考察

3.1 先端荷重～変位関係

Figure 4 に、根固め部強度を試験パラメータとした閉端杭シリーズ、Figure 5 に定着円盤の外径を試験パラメータとした P シリーズの試験結果を示す。

基準杭に対し、根固め部があるものは、杭先端抵抗が大きく増加している。根固め部強度を変化させたところ、載荷初期（変位 3mm 程度まで）は、荷重変位関

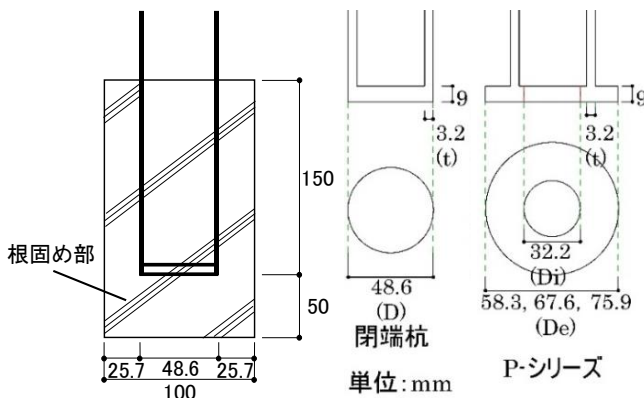


Figure 1. Root part dimensions

Figure 2. Test pile

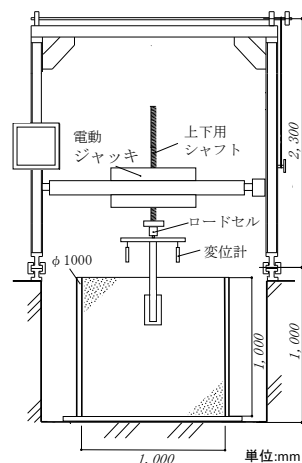


Figure 3. Experimental apparatus

Table 1. Strength of plaster

| 水石膏比 W/P (%) | 一軸圧縮強さ q_p (N/mm^2) |
|--------------|---|
| 60 | 5.2 |
| 80 | 4.4 |
| 100 | 2.8 |
| 120 | 1.3 |

Table 2. Model ground specifications

| | |
|----------------|----------------------------|
| 使用砂 | 珪砂5号 (気乾状態) |
| 作成法 | 空中落下 (分散網 2枚) |
| 密度 (ρ) | $1.76\text{g}/\text{cm}^3$ |
| 間隙比 (e) | 0.512 |
| 相対密度 (D_r) | 88% |

係に大きな差異は見られない。しかしながら，CPT120 は早期に根固め部が破壊されたことにより支持力が低下し，基準変位時 (0.1D) の荷重はほかの比べ小さな値を示した。根固め部強度が高い場合，根固め部破壊時に極端な支持力低下を示し，基準変位時の支持力よりも小さな値を示す可能性があることがわかった。

先端定着円盤を有する杭 (P シリーズ) では，P58 (De=58mm) は CPT120 と同程度の先端抵抗値であるが，P68, P75 と定着円盤径が大きくなものほど大きな先端抵抗を示した。また，閉端杭シリーズと同様に根固め部破壊時に支持力の低下を示したが，低下の割合は閉端杭シリーズよりも小さかった。

3.2 根固め部破壊形状

Table 3, Figure6 に载荷試験後の根固め部の破壊形状を示す。W/P=60% では明らかな割裂破壊を示しているが，W/P が大きくなるほど鉛直方向のせん断破壊が目立ち，パンチング破壊に近い破壊形状となっていることが確認できた。先端定着円盤を有する杭では，P58, P68 は円盤直下部が抜き出ようようなパンチング破壊をしているが，P75 では円盤下部の根固め部が引張破壊する水平クラック破壊が生じていることが確認できた。

4 おわりに

本研究により，根固め部強度が小さくなるほどパンチング破壊に近い破壊形状を示すことが確認できた。一方，根固め部強度が大きな場合は割裂破壊を生じ，極端な支持力低下を示すことがわかった。また，先端定着円盤を有する杭は，根固め部強度が小さな場合でも大きな支持力を発現し，根固め部破壊時の支持力低下は小さく，主にパンチング破壊することを確認した。

参考文献

1. 佐藤，鹿糠，宮崎：セメントミルク鋼管杭における杭先端支持力に関する研究，日本建築学会技術報告集，Vol 22，No. 51，pp.101-106，2016
2. 松本，鹿糠，田子，宮崎，佐藤：埋め込み杭工法における杭の先端支持力に関する基礎的研究：低強度の根固め部を有する杭の模型実験，日本建築学会学術講演梗概集，2017.9

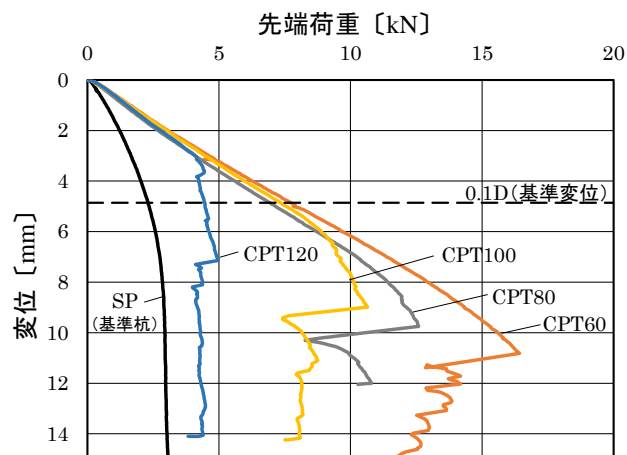


Figure 4. Test results (Closed end pile)

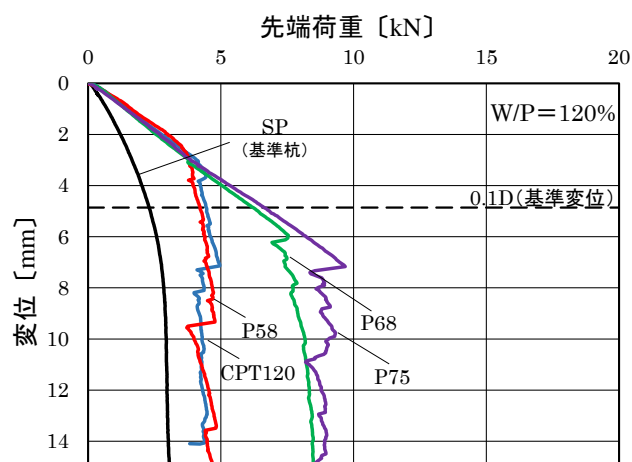


Figure 5. Test results (P-series)

Table 3. Test results

| 試験種類 | 記号 | 水石膏比 W/P(%) | 先端面積 Ap(mm ²) | 破壊時強度 (kN) | 根固め部破壊パターン |
|-----------|--------|-------------|---------------------------|------------|------------|
| 閉端杭 (CPT) | SP | — | 1855 | — | — |
| | CPT60 | 60 | 1855 | 16.39 | 割裂破壊 |
| | CPT80 | 80 | 1855 | 12.55 | 割裂破壊 |
| | CPT100 | 100 | 1855 | 10.64 | 割裂破壊 |
| | CPT120 | 120 | 1855 | 4.93 | 割裂・パンチング破壊 |
| 定着円盤 (P) | P58 | 120 | 1855 | 3.99 | パンチング破壊 |
| | P68 | 120 | 2773 | 7.61 | パンチング破壊 |
| | P75 | 120 | 3710 | 9.69 | 水平クラック破壊 |

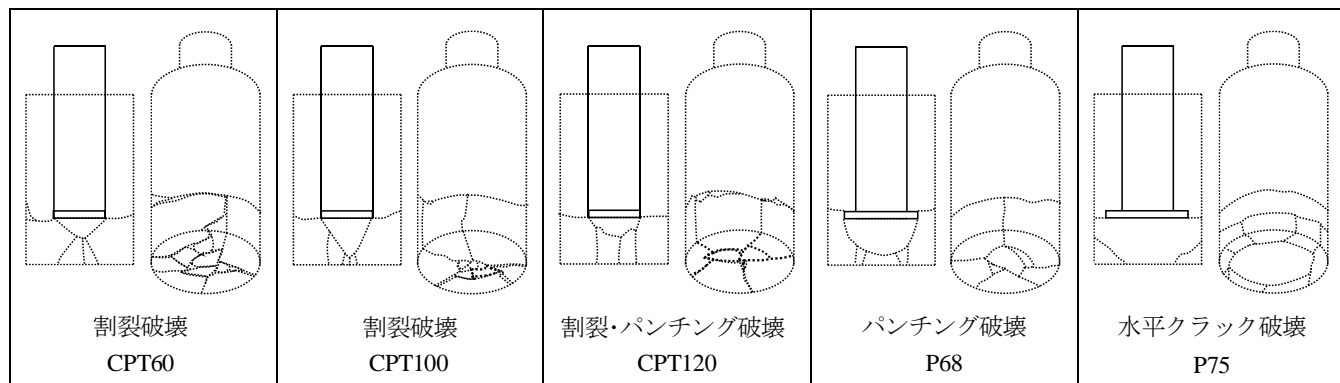


Figure 6. Failure - mode of root hardening part