

埋込み杭（プレボーリング工法）の先端荷重～先端沈下量関係の推定式の検討

○正会員 小椋仁志\*  
正会員 土屋 勉\*\*

埋込み杭 荷重～沈下量関係 先端沈下量  
先端荷重 押込み試験 荷重伝達法

1. はじめに

杭の荷重  $P$ ～沈下量  $S$  関係を計算により求める場合は、先端荷重  $R_p$ ～先端沈下量  $S_p$  関係と周面抵抗  $R_f$ ～沈下量  $S$  関係の推定式をもとに、荷重伝達法により算定するのが一般的である。基礎指針(2001)<sup>1)</sup>では、場所打ち杭の  $R_p$ ～ $S_p$  関係の推定式が示されている。今回、新たに埋込み杭の推定式を検討したので報告する。

2. 先端荷重～先端沈下量関係の推定式の形

山肩ら<sup>2)</sup>は、岸田らの提案<sup>3)</sup>をもとに、以下の形の  $R_p$ ～ $S_p$  関係の推定式を提案した。

$$(S_p/D_p)/(S_p/D_p)_u = \alpha(R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u + (1-\alpha)\{(R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u\}^n$$

ここに、 $\alpha, n$  : 係数、 $D_p$  : 先端杭径 (ST 杭は拡大径、節杭は節部径)、 $A_p = \pi D_p^2/4$ 、 $(S_p/D_p)_u = 0.1$ 、 $(R_p/A_p)_u : S_p = 0.1D_p$  時の  $R_p/A_p$

基礎指針<sup>1)</sup>ではこの形を採用して、山肩らや岸田らの報告をもとに場所打ち杭で  $\alpha=0.3, n=2$  を推奨している。埋込み杭は、山肩らが  $\alpha=0.20, n=3.98$  を提案している<sup>4)</sup>。

3. 载荷試験データの概要

今回、推定式を検討するにあたっては、埋込み杭の支持力算定式の作成<sup>5)</sup>に用いたプレボーリング工法による既製コンクリート杭と鋼管杭の押込み試験のデータを対象とした。ただし、 $S_p$  が  $0.1 D_p$  に達していないデータ、 $S_p < 0.1 D_p$  で  $R_p$  にピーク値が生じているデータ、 $R_p$ ～ $S_p$  関係が不規則的なデータは除外した。最終的に用いたデータ数は、杭の先端が砂地盤の場合が 30 件(うち鋼管杭 9 件)、礫地盤が 20 件(同 8 件)、粘性土地盤が 19 件(同 0 件)である。

図 1 に  $D_p$  と根固め径の関係を示す。図 2 に杭先端から下方に  $1D_p$ 、上方に  $1D_p$  間の平均 N 値と杭の先端深度の関係を示す。 $D_p$  は 300～1200mm、根固め径は 400～2400mm、杭先端平均 N 値は 1～63、杭の先端深度は 4～72.5m

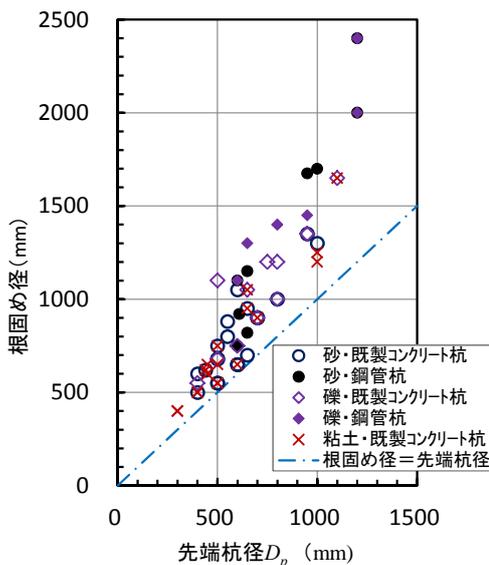


図 1 先端杭径と根固め径の分布

の範囲に分布している。

なお、文献 5)では根固め部の断面積  $A_e$  を用いて  $R_p = 150A_e$  の支持力算定式を提案しているが、先端支持力のデータは  $S_p = 0.1D_p$  時の値を用いて作成し

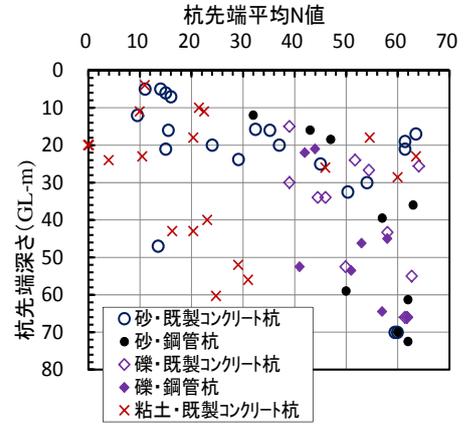


図 2 杭先端平均N値と先端深度分布

ていること、 $S_p$  が根固め径の 10%以上になるまで载荷されているデータが少ないことなどから、文献 1)～4)と同様、 $D_p$  には杭の先端径を用いて整理した。

4. 作成した先端荷重～先端沈下量関係の推定式

図 3 は、杭先端が砂地盤の場合の  $(R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u$ ～ $(S_p/D_p)/(S_p/D_p)_u$  関係である。既製コンクリート杭と鋼管杭では、曲線の形状がかなり異なり、後者の方が初期剛性は大きくなっている。これは、鋼管杭では先端 N 値が大きい範囲にある(図 2)ことも一因であろう。図 3 には、文献 6)と同じ方法で求めた回帰曲線を併記している。回帰曲線の係数は、既製コンクリート杭では  $\alpha=0.28, n=3.9$ 、鋼管杭では  $\alpha=0.15, n=5.9$  となっている。両者を合わせた全データでは  $\alpha=0.24, n=4.5$  と、文献 4)に近い値になる。

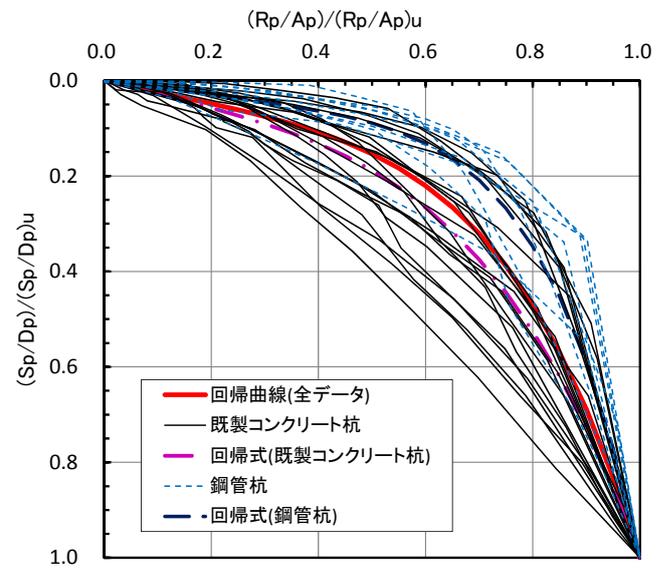


図 3  $(R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u$ ～ $(S_p/D_p)/(S_p/D_p)_u$  関係：砂地盤

図4は、杭先端が礫地盤の場合である。既製コンクリート杭と鋼管杭では曲線の形状はほぼ同じで、回帰曲線の係数も、既製コンクリート杭では  $\alpha=0.10$ 、 $n=3.7$ 、鋼管杭では  $\alpha=0.14$ 、 $n=3.9$  とほぼ同じ値になっている。全データの係数は、 $\alpha=0.12$ 、 $n=3.8$  である。

図5は、杭先端が粘性土地盤の場合である。鋼管杭のデータはないため、既製コンクリート杭の曲線を示す。回帰曲線の係数は、 $\alpha=0.28$ 、 $n=3.9$  となっている。

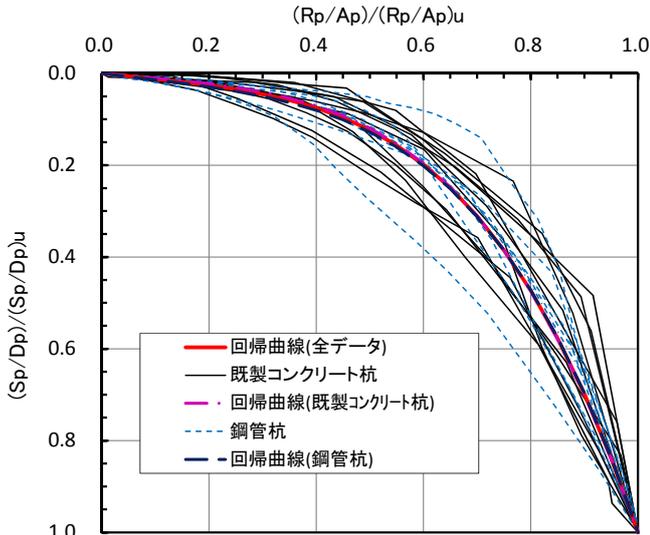


図4  $(R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u \sim (S_p/D_p)/(S_p/D_p)_u$  関係：礫地盤

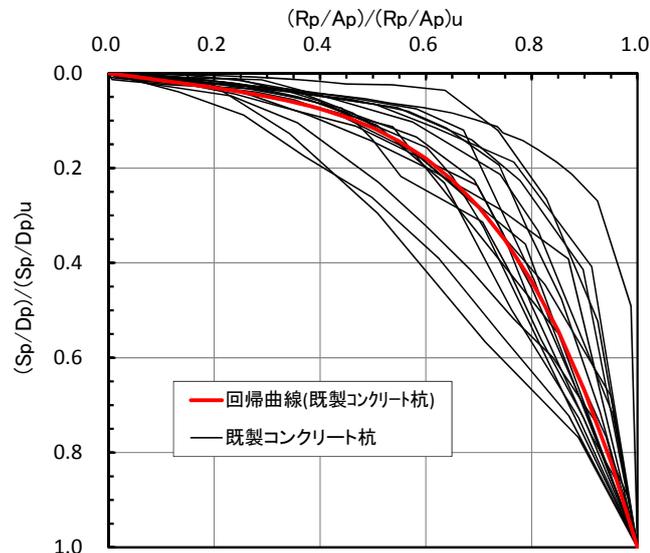


図5  $(R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u \sim (S_p/D_p)/(S_p/D_p)_u$  関係：粘性土地盤

### 5. 推定値と実測値の比較

推定式を検証するため、先端が砂地盤の既製コンクリート杭を対象に、回帰曲線の  $\alpha, n$  を用いた推定式による  $S_p$  (以下、推定  $S_p$ ) と押し込み試験による実測値(以下、実測  $S_p$ ) を比較した。図6は、両者の相関図である。相関係数は 0.946 と、非常に良い相関を示している。定量的には、(実測  $S_p$  の平均)/(推定  $S_p$  の平均)が 0.933 となることから、

推定式は実測値より平均で約 7% 大きい  $S_p$  を与えることが分かる。

実際に  $S_p$  を推定する時は、 $R_p$  として支持力式による値を用いることになる。いま、支持力式  $R_p = 150A_e$  による値を推定式に適用して  $S_p$  (以下、適用  $S_p$ ) を求める。これと実測  $S_p$  との相関を示したのが図7である。相関係数は 0.382 と、良い相関とはいえない。定量的には、

(実測  $S_p$  の平均)/(適用  $S_p$  の平均)が 0.528 となるため、推定式は平均すると実測値のほぼ 2 倍の  $S_p$  を与えることになる。これは、支持力式  $R_p = 150A_e$  の係数には、安全性を考慮してデータの平均値よりも小さめの値が採用されていることによる。

### 6. おわりに

本報では、多数の押し込み試験のデータをもとに、 $R_p \sim S_p$  関係の推定式について検討した結果について述べた。本検討は、日本建築学会 杭基礎の鉛直挙動検討小委員会(長尾俊昌主査)の活動の一環として行われたものである。

【謝辞】 データを提供いただいたコンクリートパイル建設技術協会と鋼管杭・鋼矢板技術協会に謝意を表します。

- 【参考文献】
- 1) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001.10
  - 2) 山肩邦男・伊藤淳志・山田 毅・田中 健: 場所打ちコンクリート杭の極限先端荷重および先端荷重～先端沈下量特性に関する統計的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第 432 号、pp.137-146、1991.5
  - 3) 岸田英明・高野昭信: 砂層を支持地盤とする Non-displacement pile(埋込み杭・場所打ちコンクリート杭)の先端支持力、第 23 回土質工学シンポジウム、pp.25-32、1978.11
  - 4) 山肩邦男・伊藤淳志・田中 健・倉本良之: 埋込み杭の極限先端荷重および先端荷重～先端沈下量特性に関する統計的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第 436 号、pp.81-89、1991.5
  - 5) 木谷好伸・廣瀬智司: 埋込み杭の支持力係数の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集構造 I-2(東北)、2018.9
  - 6) 土屋 勉・永井 宏・下奈津実: 回転貫入杭の先端荷重～先端沈下特性に関する統計的研究、日本建築学会技術報告集、第 22 巻、第 52 号、pp.915-918、2016.10

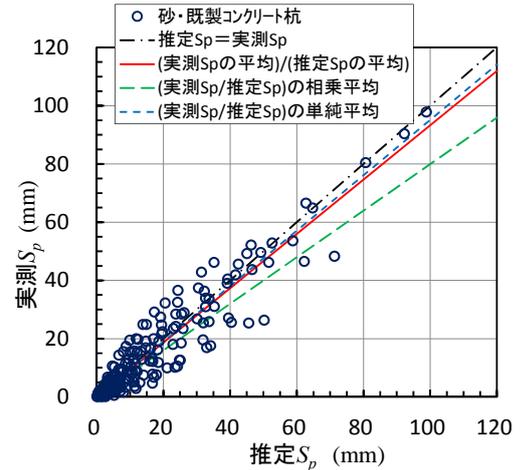


図6 推定  $S_p$  と実測  $S_p$  の相関

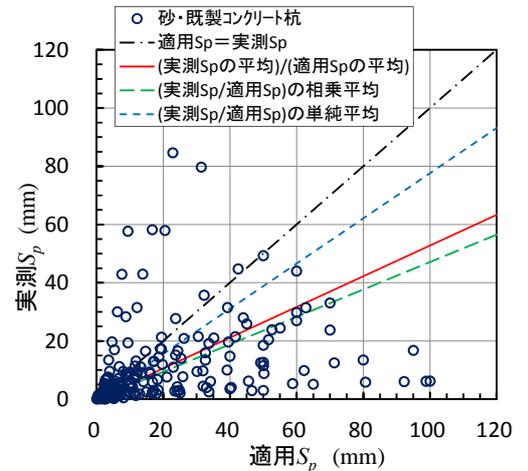


図7 適用  $S_p$  と実測  $S_p$  の相関

\* ジャパンパイル(株)・工博

\*\* 室蘭工業大学名誉教授・工博

\* JAPAN PILE Corporation・Dr.Eng.

\*\* Emeritus Prof., Muroran Institute of Technology・Dr.Eng.