

節杭を用いたプレボーリング根固め工法杭の荷重～沈下量関係推定方法の検証

荷重～沈下量関係 プレボーリング工法 载荷試験

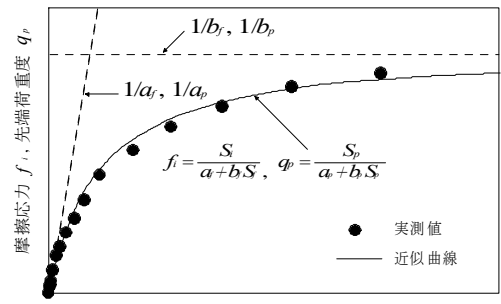
ジャパンパイル ○国際会員 小椋 仁志  
千葉工業大学 鈴木 将平  
同 国際会員 鈴木 誠

1. はじめに

筆者らは、これまで節杭を用いたプレボーリング根固め工法杭の多数の確認载荷試験のデータを用いて、JSCA（日本建築構造技術者協会）や土木研究資料で提案されている杭頭鉛直ばね定数の算定式の精度を検証してきた<sup>1)~3)</sup>。今回、このデータを中心にして、伊藤や筆者の一人（小椋）らが提案している荷重  $P_0$ ～沈下量  $S_0$  関係の推定方法<sup>4)</sup>（以下、本推定法）を検証した。本報では、その検討結果を紹介する。

2. 本推定法の概要

伊藤らは、117件の節杭を用いた4種類の埋込み工法（セメントミルク工法、低排土セメントミルク工法、プレボーリング根固め工法、プレボーリング拡大根固め工法）で1994～2003年に施工された杭の载荷試験による、668件の杭周面の摩擦力度  $f_i$ ～沈下量  $S_i$  関係および117件の杭先端の荷重  $q_p$ ～沈下量  $S_p$  関係を整理した。それらを Kondner 型双曲線関数（(1)・(2)式）に図-1のように近似することにより、全試験結果の係数  $a_f, a_p$  および  $b_f, b_p$  の値を求めた。係数  $a_f, a_p$  と  $b_f, b_p$  は、それぞれ初期勾配の逆数、漸近線（極限值）の逆数を表している。



区間沈下量  $S_i$ , 先端沈下量  $S_p$

図-1  $f_i \sim S_i$  関係および  $q_p \sim S_p$  関係のモデル化

$$f_i = \frac{S_i}{a_f + b_f S_i} \quad (1) \quad q_p = \frac{S_p}{a_p + b_p S_p} \quad (2)$$

これらの係数は、最小自乗法による直線回帰式から求めることができる。得られた係数と地盤の  $N$  値との関係を求め、最小自乗法によって回帰した直線の式を表-1に示す。

本推定法では、まず、各層の平均  $N$  値を表-1の回帰直線式に代入して係数を求めると、(1)・(2)式の  $f_i \sim S_i$  関係と  $q_p \sim S_p$  関係が決まる。なお、 $a_p$  と  $b_p$  を求める回帰直線式に代入する  $N$  値は、杭先端から下に  $3D$ ・上に  $1D$  間にある  $N$  値の平均値である ( $D$ : 杭径)。次に、これにより決まった  $f_i \sim S_i$  関係と  $q_p \sim S_0$  関係を使い、荷重伝達法解析によって  $P_0 \sim S_0$  関係を求める。このように、本推定法は、杭の諸元と地盤の  $N$  値だけから、 $P_0 \sim S_0$  関係が推定できる方法である。

表-1 係数の算定式

定数	土質	回帰直線式
$1/a_f$ ( $\text{kN/m}^2$ )	砂質土	$1,580N+10,900$
	粘性土	$1,750N+15,000$
	腐植土	$345N+7,070$
$1/b_f$ ( $\text{kN/m}^2$ )	砂質土	$7.03N+67.1$
	粘性土	$4.40N+50.1$
	腐植土	$6.05N+14.8$
$1/a_p$ ( $\text{kN/m}^2$ )	砂質土	$18,200N+13,700$
	粘性土	$12,400N+67,500$
	腐植土	$11,500N+83,100$
$1/b_p$ ( $\text{kN/m}^2$ )	砂質土	$243N-49.4$
	粘性土	$38.0N+1,000$
	腐植土	$98.6N+272$

3. 検証に用いた载荷試験の概要

今回の検証に用いたのは、プレボーリング（拡大）根固め工法で施工された杭を対象にした85件の载荷試験データである。図-2に、試験杭の杭長と杭径（節部径）の分布を示す。このうち28件は本推定法を作成するために用いた117件の载荷試験（すべて軸力測定を伴う特性調査試験）の一部である（以下、作成時使用データ）。他の57件は本推定法の作成には用いなかった試験（以下、作成不使用データ）であり、そのうち4件は作成後に行った特性調査試験（図-2で杭長が30m以上の杭）、53件は設計支持力の確認等のために行われた载荷試験（軸力測定のない確認試験）となっている。確認試験の大半は埋立地に用いられた摩擦杭の载荷試験であって、拡大比  $\omega$  は10件が  $\omega=1.23$ 、他は  $\omega=1$  であり、試験地は関東11件、関西39件、九州3件となっている。

4. 杭頭沈下量  $S_0$  の実測値と解析値の比較

各々の载荷試験杭の諸元と地盤情報から、 $P_0 \sim S_0$  関係を解析により推定した。その一例として、節部径  $\phi 500$ -軸部径  $400\text{mm}$ （掘削径  $\phi 550\text{mm}$ ）、杭長  $8\text{m}$  の試験杭の場合を実測値と合わせて図-3

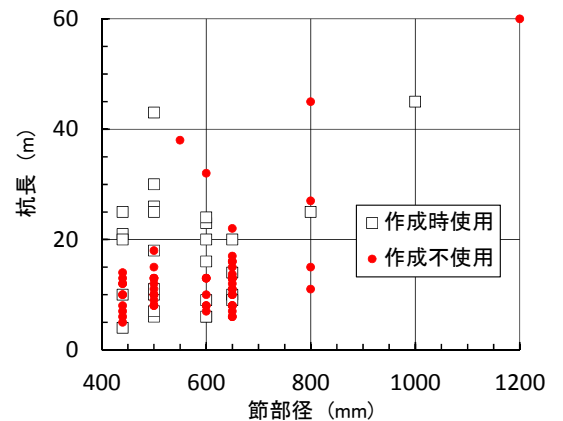


図-2 载荷試験杭の杭長と節部径の分布

に示す。一つの載荷試験で6~20の荷重段階があるため、データ数は載荷試験数の約9倍の781個となっている。なお、 $S_0$ が節部径の10%を超えるデータは採用していない。

図-4は、載荷試験で得られた実測杭頭沈下量  $S_t$  と同一荷重時の本推定法により求めた解析杭頭沈下量  $S_c$  の相関図である。両者の相関係数は0.803と、良い相関を示している。ただし、 $S_t$ の平均値と  $S_c$ の平均値の比  $\gamma$  は1.18と、平均で見ると解析値は実測値よりも18%小さくなっている。作成時使用データに限ると  $\gamma=1.24$  となるのに対し、作成不使用データでは  $\gamma=1.10$  となり、後者の方が解析値は実測値に近くなっている。

次に、全てのデータについて  $S_t$  と  $S_c$  の比  $S_t/S_c$  を求め、その自然対数  $\ln(S_t/S_c)$  の値のヒストグラムを図-5に示す。対数の値で評価したのは、 $S_t/S_c$ のままでは  $S_t > S_c$  の場合の値が1以上となるのに対し、 $S_t < S_c$  の場合は0~1の狭い範囲の値となり、後者のデータを軽く扱うことになって不合理な結果となるためである。 $\ln(S_t/S_c)$  が0に近いほど解析値が実測値に近いと言えるが、全データの偏りを表す平均値  $m$  は0.087、ばらつきを表す標準偏差  $\sigma$  は0.523となった。

これを本推定法作成時の  $\ln(S_t/S_c)$  の  $m=0.187$ 、 $\sigma=0.332$  と比べると、偏りは非常に小さくなっている。反面、ばらつきは大きくなっているが、 $m$  と  $\sigma$  から計算すると、本推定式による解析値は50%の確率で実測値の0.77~1.55倍の範囲に入り、80%の確率で0.56~2.13倍の範囲に入ることになる。したがって、本推定法は、実用的には満足できる精度であるといえよう。

### 5. 杭頭ばね定数 $K_0$ の実測値と解析値の比較

文献<sup>1)~3)</sup>に続いて杭頭ばね定数  $K_0$  の解析値と実測値を比較することによって、本推定法を検証する。 $K_0$ としては、載荷試験杭の支持力算定式から求めた長期許容支持力を、その時の杭頭沈下量で除した値を採用する。

図-6は、杭頭ばね定数の実測値  $K_t$  と解析値  $K_c$  の相関図である。相関係数は0.446と、ある程度の相関は認められる。 $K_t$ の平均値と  $K_c$ の平均値の比は1.17となり、 $S_t$  と  $S_c$  の関係とほぼ同じ偏りとなった。

次に、 $K_t/K_c$ の常用対数  $\log_{10}(K_t/K_c)$ の値から  $m$  と  $\sigma$  を求めると、 $m=0.043$ 、 $\sigma=0.235$  となった。JSCA算定式の場合 ( $m=-0.015$ 、 $\sigma=0.235$ )<sup>1)</sup>と比べると、偏りはやや大きくなるが、ばらつきは同じ程度となることが分かった。

### 6. おわりに

本報では、伊藤らが作成したプレボーリング根固め工法杭の荷重~沈下量関係の推定方法を、作成時に使用しなかった多数の載荷試験データを中心にして検証した。その結果、モデルの簡便さと地盤定数として  $N$  値のみを用いていることを考えると、実用的には十分に満足できる精度の推定方法であることが確認できた。

- 参考文献 1),2) 小椋仁志・小林 淳・上條雅大・鈴木 誠：鉛直方向杭頭ばね定数に関するJSCA算定式の精度、鉛直方向杭頭ばね定数に関する土研資料算定式の精度(プレボーリング節杭工法の載荷試験データ)、第50回地盤工学研究発表会(札幌), pp.1325-1328, 2015.9.
- 3) 小椋仁志・更谷圭吾・出浦翔太・鈴木 誠：鉛直方向杭頭ばね定数に関する改定土研資料算定式の精度(プレボーリング節杭工法の載荷試験データ)、第51回地盤工学研究発表会(岡山), pp.1363-1364, 2016.9.
- 4) 伊藤淳志・小椋仁志・田中佑二郎・韓 英敏：節杭を用いたプレボーリング根固め工法杭の荷重~沈下量関係の推定方法、日本建築学会構造系論文集, Vol.72, No.628, 2008.6

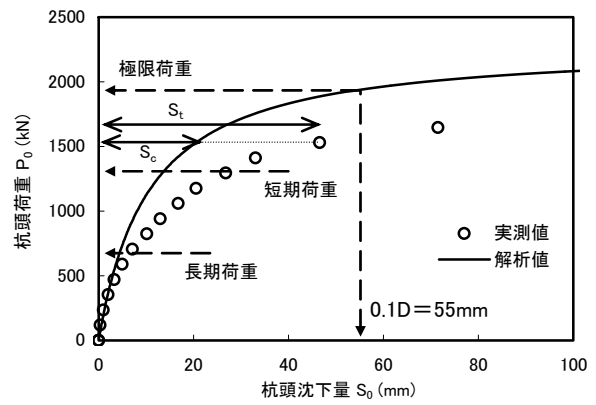


図-3  $P_0 \sim S_0$  関係の実測値と解析値

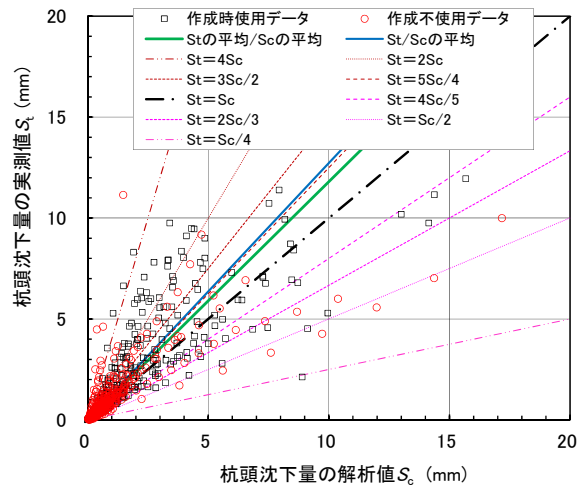


図-4 杭頭沈下量の実測値と解析値の相関図

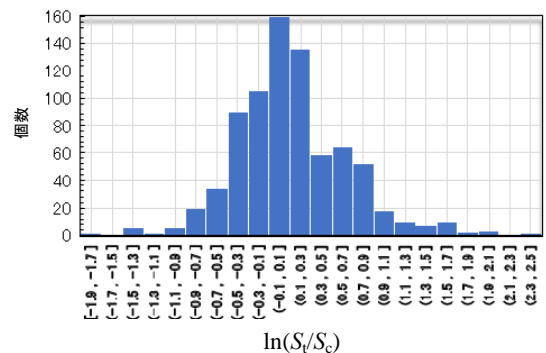


図-5  $\ln(S_t/S_c)$  のヒストグラム

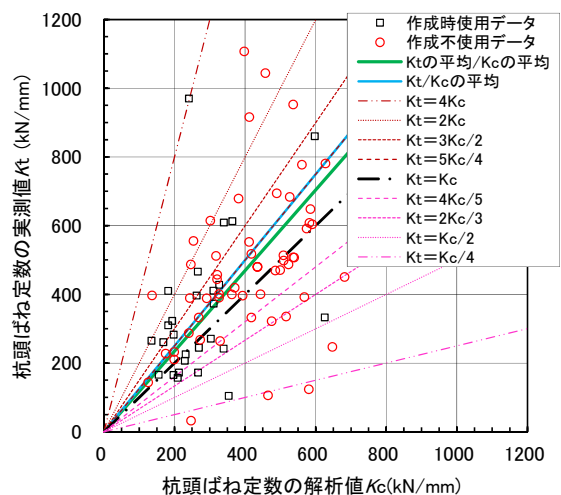


図-6 杭頭ばね定数の実測値と解析値の相関図