

プレボーリング(拡大)根固め工法杭に用いる杭頭ばね定数の算定方法 (その2:算定結果の検討)

ジャパンパイル 正会員 本間裕介
同 国際会員 小椋仁志

プレボーリング工法 載荷試験 ばね定数

1. はじめに

(その1)では、長期荷重時の杭頭ばねの算定方法について述べた。本報では、引き続き算定結果等を報告する。

2. aの算定

長期荷重時先端伝達率 $a = R_{ap} / R_{ao}$ の算定方法は、極限荷重時先端伝達率 u に換算係数を乗じて求める土木研究所の方法¹⁾を用いる。まず、 u をM工法の支持力算定式²⁾による極限荷重時の支持力 R_{uo} と、先端面付近の支持力 R_{up} の比 R_{up} / R_{uo} として求める。 R_{up} は、砂質地盤の場合は $R_{up} = 240^{-1.5} \times N_L \times A_{np}$ 、粘性土地盤の場合は $R_{up} = 210^{-1.25} \times N_L \times A_{np}$ により計算する。ここに、 β は拡大比、 N_L は杭先端から $(D_o + D_p)$ 間の平均N値、 A_{np} は根固め部に位置する節杭の節部閉塞断面積である(支持力算定式中で先端支持力に含まれる根固め部の摩擦力 $90 \times N \times A_{np}$ は R_{up} には加えない。なお、 R_{uo} は支持力算定式通りに計算する。)

次に、換算係数は u と載荷試験データから求めた a の関係から決めたものを用いる。 a は、 P_{uo} を安全率3で除した長期許容支持力 R_{ao} と、荷重が R_{ao} の時の先端面付近(最下端節部下面位置)の支持力 R_{ap} の比 R_{ap} / R_{ao} となる。

u と a の関係を図1に示す。相関係数は0.696と良い相関が認められる。また、先端地盤による差は小さい。そこで、両者の回帰直線、 a / u の平均値、各々の平均値の比を求めると、それぞれ $a = -0.025 + 0.655u$ 、0.614、0.593となる。これから、 a は換算係数を0.6とする式 $a = 0.6u$ によって算定することとする。

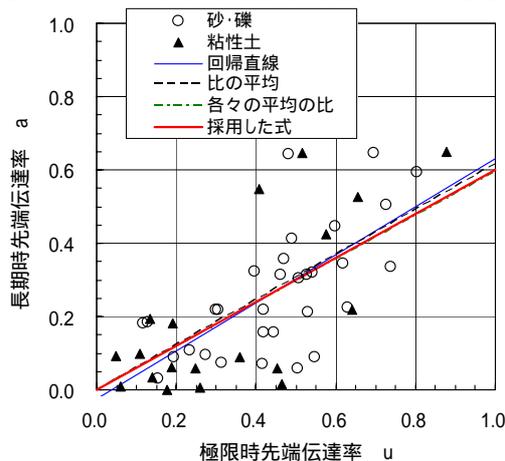


図1 a ~ u関係

3. k_{app} の算定

先端地盤反力係数 k_{app} は、 N_L から算定する式によって求める。載荷試験データから得られる長期荷重時の先

端支持力 R_{ap} と先端沈下量 S_{ap} から求めた $k_{app} =$

$(R_{ap} / A_p) / (S_{ap} / D_p)$ と N_L の関係を図2に示す。

ここで、 A_p 、 D_p 、 N_L は、M工法の支持力機構²⁾に適合するように、それぞれ根固め部の断面積、根固め部の直径、杭先端から $(D_o + D_p)$ 間の平均N値を採用する。なお、 k_{app} の精度が懸念されるため S_{ap} / D_p が0.08%未満のデータは省いている。両者の相関係数は0.565と、弱いながら相関性は認められる。また、先端地盤の種類による差は顕著ではない。そこで、両者の回帰直線、 k_{app} / N_L の平均値、各々の平均値の比を求めると、それぞれ $k_{app} = 0.119 + 0.0113N_L$ 、0.0207、0.0182となる。回帰直線の切片は無視できない値であるため、 k_{app} の算定式は $k_{app} = 0.12 + 0.011N_L$ とする。

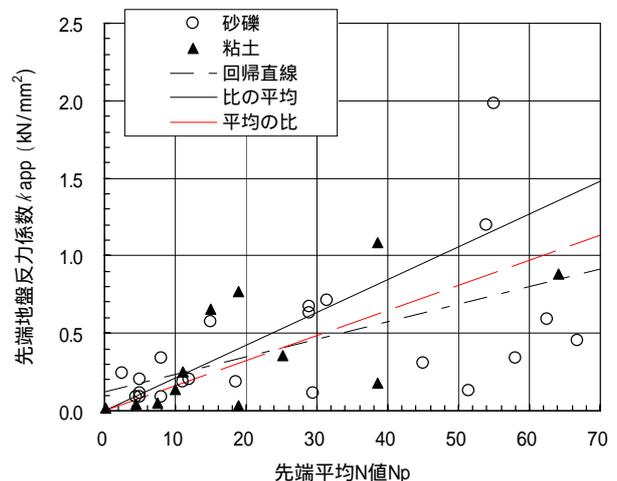


図2 $k_{app} \sim N_L$ 関係

4. 摩擦力分布の仮定

(その1)で述べたように、杭体の杭頭(フリクションカット(長さ L_c)を行っている場合は、その下端)と根固め部上端の間(長さ L_s)のひずみ分布(摩擦力分布)は、深さ z を境とする2つの区間に分けて考える。すなわち、深さ $z = L_c + \alpha L_s$ におけるひずみを $\alpha z = \alpha (a_o \mu_{ap}) + \mu_{ap}$ と考える(μ は剛性比 C_p / C_s)。 α は摩擦力分布を表す係数で、これらの値を変えることによって、摩擦力の分布状態を考慮することができる。すなわち、 L_s 間での摩擦力が一定の場合は $\alpha = 1$ 、 z より上方の区間の摩擦力の方が大きい場合は $\alpha < 1$ となる。 α は本来は地盤定数と関連づけられるものであるが、種々試みたものの非常に煩雑なものになった。そこで、地盤定数から設定するのは今後の課題として、ここでは α は0.5と固定して杭の中心深さ $Z_c = L_c + L_s / 2$ から α を求めることとした。

図3は $\alpha = 0.5$ として実測の K_{ao} から逆算して求めたと Z_c の関係である。 α はおおむね 0.3~0.8 の範囲に分布 (平均 0.470) しているが、杭中心位置が深くなると α は小さくなる (上方の摩擦力的の方が大きい) 傾向が見られる。両者の相関係数は 0.644 で相関性は認められ、回帰直線は $\alpha = 0.593 - 0.00881 Z_c$ となる。この式を丸めて、式 $\alpha = 0.6 - 0.01 Z_c$ によって α を求める。

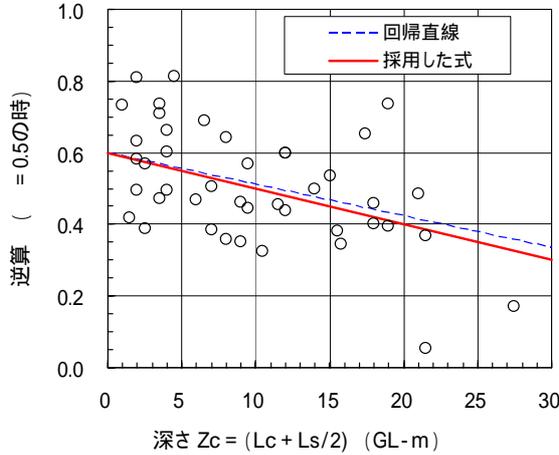


図3 α ~ Z_c 関係

5. 杭頭ばね定数 K_{ao} の算定手順

(その1) と本報で述べた事項から杭頭ばね定数 K_{ao} の算定手順をまとめると、以下のようになる。

杭等の諸元: $L, L_c, L_e, D_o, \alpha, A, F_c$
 $L_s = L - L_c - L_p, L_n = L - L_e$
 $D_p = (D_o + 50) \text{ (mm)}, A_n = (D_o + 50)^2 / 4$
 $A_p = A_n \times \alpha^2, A_{np} = D_o^2 / 4$
 $L_p = 2 m, \alpha_A = 1.07, \alpha_E = 1.1, E = 40 \text{ kN/mm}^2$ ($F_c = 123 \text{ N/mm}^2$ は 42 kN/mm^2), $E_s = 2 \text{ kN/mm}^2, E_p = 6 \text{ kN/mm}^2$
 N_L, R_{uo} : M工法の支持力算定式
 $R_{up} = 240 \alpha^{1.5} \times N_L \times A_{np}$ (砂質土地盤)
 $R_{up} = 210 \alpha^{1.25} \times N_L \times A_{np}$ (粘性土地盤)
 $a = 0.6, u = 0.6 P_{up} / P_{uo}$
 $Z_c = L_c + L_s / 2 \text{ (m)}$
 $\alpha = 0.5, \alpha = 0.6 - 0.01 Z_c$
 $A_s = \{ L_n \times A_n + (L_e - L_p) \times A_p \} / (L - L_p)$
 ただし、 $\alpha = 1$ のときは $A_s = A_n$
 $C_s = \alpha_A A \times \alpha_E E + (A_s - \alpha_A A) E_s$
 $C_p = \alpha_A A \times \alpha_E E + (A_p - \alpha_A A) E_p$
 $1 / K_a = \{ L_c + (\alpha + 1 - \alpha) a$
 $\alpha + 2 \alpha) L_s / 2 \} / C_s + \alpha L_p / C_p$
 $k_{app} = 0.125 + 0.011 N_L$
 $1 / K_{apo} = \alpha \times (D_p / A_p) / k_{app}$
 $K_{ao} = 1 / (1 / K_a + 1 / K_{apo})$

6. K_{ao} の算定結果

図4は、以上の手順で算定した K_{ao} と、載荷試験で得られた K_{ao} の実測値の関係である。先端地盤が粘性土の場合にはばらつきは見られるものの、摩擦分布を2区間とし、 α と k_{app} に地盤定数からの計算値を用いたにもかかわらず、相関係数は 0.708 と良い相関を示している。

実測値 / 算定値の平均は 1.18、各々の平均値の比は 1.20 となることから、本方法による算定値は実測値より 20% 小さな杭頭ばねを与えることが分かる。

図5は、実測値と算定値の比を求め、その値を自然対数とした時のヒストグラムである。対数を用いたのは、実測値 < 算定値のデータを軽く扱う不合理を避けるためである。この図から $\ln(\text{実測値} / \text{算定値})$ はほぼ正規分布とみなすことができることが分かり、平均 m と標準偏差 σ を求めると $m = 0.130, \sigma = 0.400$ となった。これから、算定値は 50% の確率で実測値の 0.9~1.5 倍の範囲に、80% の確率で 0.7~1.9 倍の範囲に入ることになる。算定値は小さな杭頭ばねを与える傾向があるものの、実用的には満足できる算定方法であると判断される。

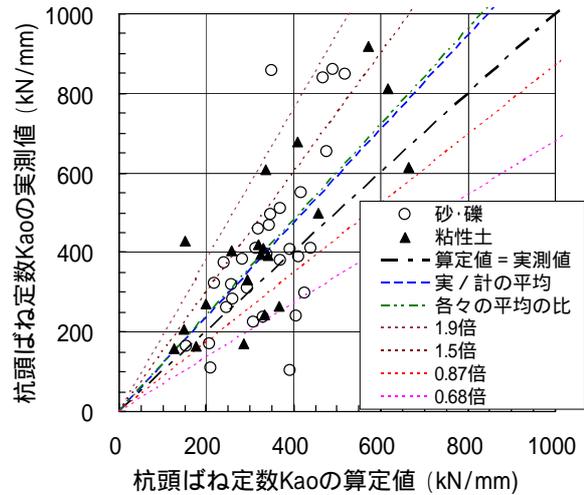


図4 K_{ao} の算定値と実測値

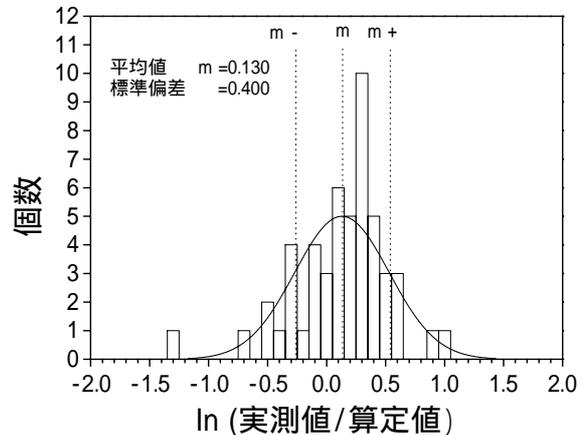


図5 $\ln(\text{実測値} / \text{算定値})$ のヒストグラム

7. おわりに

本報では、長期荷重時の杭頭ばね定数の簡便な算定方法について述べた。J S C A 基礎地盤系部会では、今後、データを収集して種々の工法に用いることのできる算定方法を検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 土木研究所: 杭の軸方向の変形特性に関する研究、土木研究資料第 4139 号、2009.3
- 2) 小椋仁志・小松吾郎・真鍋雅夫・大島章・千種信之・細田豊・須見光二・三村哲弘: 既製杭のプレボーリング拡大根固め工法の拡大掘削径と鉛直支持力、G B R C、Vol. 32, No. 1, pp. 10-21, 日本建築総合試験所, 2007.1