

杭の鉛直ばね定数の簡易算定法の提案
(その1: プレボーリング(拡大)根固め工法杭)

正会員 ○阪上浩二* 同 小椋仁志**
同 三町直志***

鉛直ばね定数 杭頭沈下量 長期荷重
載荷試験 既製コンクリート杭 プレボーリング工法

1. はじめに

現在の耐震設計では、架構の応力計算において地盤や建物の条件によって、その影響が大きい場合には基礎ばね(鉛直)を考慮して計算を行うこととされている。しかし、基礎ばねの解析手法や、地盤ばねや杭ばねの取扱いに関しては課題や問題点が多く残されている。一方、既製コンクリート杭の分野においては、技術の進歩が著しく高支持力化が急速に進んでいる。これらの経緯を踏まえ、日本建築構造技術者協会(JSCA)技術委員会基礎地盤系部会(主査:三町)では、各種杭工法の鉛直載荷試験データを整理し、統一的で有効な杭ばね(鉛直)を求める方法を検討している。

その検討で、各工法の特性によりモデルがかなり変わることが分かったため、文献^{1),2)}では、第一段階としてプレボーリング(拡大)根固め工法に分類されるM工法を取り上げ、それに合わせたモデルによって杭頭ばねの算定方法を提案した。本報では、杭ばねの基本的な考え方に加え、補正係数を導入するなど、文献^{1),2)}で提案した算定法を改良した点について述べる。

2. 杭頭ばねのモデル化

ばね定数は長期荷重時の値を求めることとした。これは、図1に示す杭の鉛直載荷試験で得られる杭頭の荷重P~沈下量S_o曲線の例のように、長期許容支持力までの初期載荷(図中①)と、徐荷後の再載荷時P~S_o曲線(図中②)は概ね同じ勾配の直線となっていることから、建物の静的応力計算に用いる鉛直方向の杭ばねは、地震荷重時を含めて長期荷重時の弾性ばねを用いることが合理的と考えられることによる。

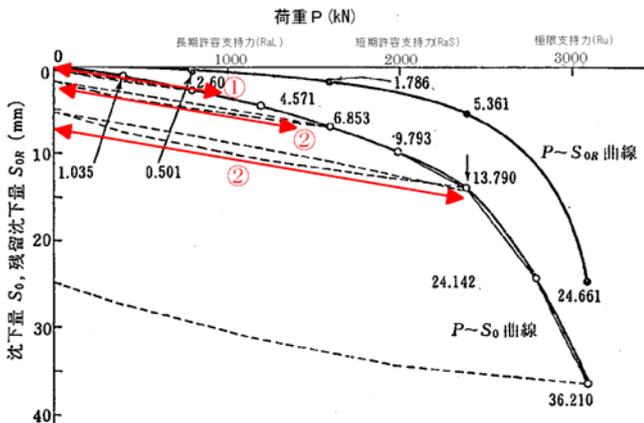


図1 荷重P~沈下量S, S_{OR}曲線の例

長期荷重時の杭頭ばね定数K_{ao}は、長期許容支持力をR_{ao}、杭頭沈下量をS_{ao}、補正係数をγとすると、K_{ao} = R_{ao}/γ S_{ao}として表される。

S_{ao}は先端沈下量S_{ap}と杭の縮み量δ aの和であるので、K_{ao} = R_{ao}/γ (δ a + S_{ap})となり、
1/K_{ao} = γ (δ a + S_{ap})/R_{ao}
= γ { (δ a/R_{ao}) + (S_{ap}/R_{ao}) }

ここで、R_{ao}/δ a = K_{aδ}(周面ばね)、R_{ao}/S_{ap} = K_{apo}(先端ばね)とおくと、

$$K_{ao} = \gamma / (1/K_{a\delta} + 1/K_{apo}) \text{となる。}$$

3. M工法による杭の杭頭ばね定数K_{ao}の算定手順

K_{ao}の具体的な算定方法は、施工法の特性により異なる。文献^{1),2)}で示したM工法(図2)のK_{ao}算定手順を以下に示す。モデル・諸数値の根拠・式の誘導過程等は文献^{1),2)}を参照されたい。

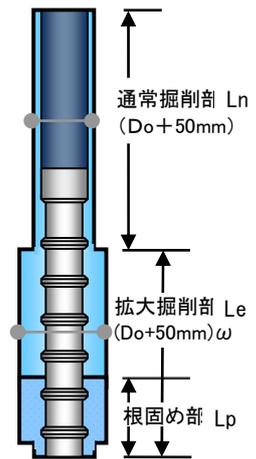


図2 M工法

①諸数値の入力: 杭全長L、フリクションカット(以下、FC)処理部分の長さL_c、拡大掘削部の長さL_e、根固め部に位置する節杭の節部径D_o、拡大比ω (ω = 1~2)、杭の換算断面積(公称値)A、杭体コンクリートの設計基準強度F_c

②M工法の支持力式³⁾による値: 杭先端から下方に(D_o + D_e)間の平均N値N_L、極限支持力R_{uo}、

杭先端面の極限支持力R_{up} = 240 ω^{1.5} × N_L × A_{np}(砂質土地盤)、R_{up} = 210 ω^{1.25} × N_L × A_{np}(粘性土地盤)

③あらかじめ設定された数値: 根固め部長さL_p = 2m、杭の実測断面積比ρ_A = 1.07、杭の実測ヤング係数比ρ_E = 1.1、杭のヤング係数(公称値)E = 40kN/mm²(F_c = 123 N/mm²は42kN/mm²)、杭周充填材のヤング係数E_s = 2 kN/mm²、根固め材のヤング係数E_p = 6 kN/mm²

④長さ、断面積: FC下端から根固め部上端までの長さL_s = L - L_c - L_p、通常掘削部の長さL_n = L - L_e、根固め部径D_p = (D_o + 50) ω (mm)、通常掘削部の閉塞断面積A_n = (D_o + 50)² π / 4、拡大掘削部の閉塞断面積A_p = A_n × ω²、根固め部に位置する節杭の節部閉塞断面積A_{np} = D_o² π / 4

⑤極限荷重時先端伝達率λ_u = R_{up}/R_{uo}

- ⑥長期荷重時先端伝達率 $\lambda a = 0.6 \lambda u$ (次節で再検討)
- ⑦摩擦力分布：杭の中心深さ $Zc = Lc + Ls/2$ (m)、摩擦力が変化する深さの係数 $\xi = 0.5$ 、深さ $z = Lc + \xi \times Ls$ におけるひずみ分布の係数 $\eta = 0.6 - 0.01 Zc$
- ⑧杭周部の平均閉塞断面積杭周部平均閉塞断面積 $A_s = \{Ln \times A_n + (Le - Lp) \times A_p\} / (L - Lp)$ ただし、 $\omega = 1$ では $A_s = A_n$
- ⑨杭の圧縮剛性 (杭本体と充填材の圧縮剛性の和) 杭(先端付近を除く)の圧縮剛性(一定値と仮定) $C_s = \rho_A A \times \rho_E E + (A_s - \rho_A A) E_s$ 、根固め部分の圧縮剛性 $C_p = \rho_A A \times \rho_E E + (A_p - \rho_A A) E_p$
- ⑩周面ばね $K_{a\delta} : 1/K_{a\delta} = \{Lc + (\xi + \eta - \xi \lambda a - \eta \lambda a + 2 \lambda a) \times Ls/2\} / C_s + \lambda a Lp / C_p$
- ⑪長期時の先端地盤反力係数 $k_{app} = 0.125 + 0.011 N_L$
- ⑫先端ばね $K_{apo} : 1/K_{apo} = \lambda a \times (Dp/Ap) / k_{app}$
- ⑬長期荷重時の杭頭ばね定数 $K_{ao} :$

$$K_{ao} = \gamma / (1/K_{a\delta} + 1/K_{apo}) \quad (\text{補正係数 } \gamma = 1.15)$$

4. λa の算定方法の再検討

長期荷重時先端伝達率 $\lambda a = R_{ap} / R_{ao}$ (R_{ap} : 長期荷重時の先端面抵抗、 $R_{ao} = R_{uo}/3$) は、支持力式から得られる極限荷重時先端伝達率 $\lambda u = R_{up} / R_{uo}$ を基にして求める⁴⁾。 λu から λa を算定する式として、図3の $\lambda a \sim \lambda u$ 関係から文献²⁾では前節⑥の式としたが、本報では2次式に改めた。その結果、回帰式は次式となった。

$$\lambda a = 0.0714 + 0.0725 \lambda u + 0.684 \lambda u^2$$

これから、 λa の算定式は次式に変更する。

$$\lambda a = 0.07 + 0.07 \lambda u + 0.68 \lambda u^2$$

ただし、この式では $\lambda u < 0.1$ の範囲では、 $\lambda a > \lambda u$ と不合理なものになる。そこで、2次式との連続性を考慮して、 $\lambda u < 0.2$ では $\lambda a = 0.52 \lambda u$ とする。

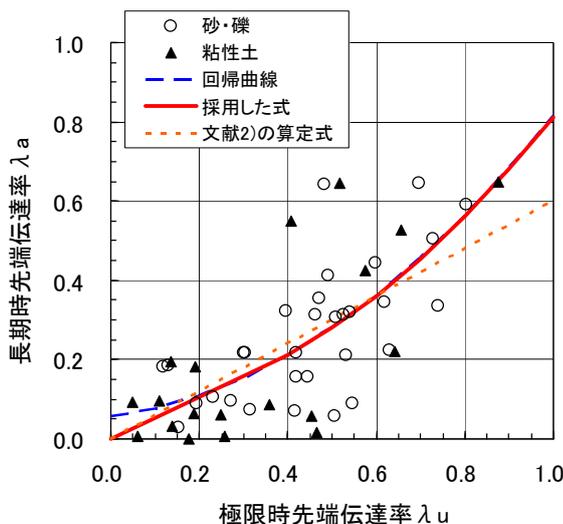


図3 $\lambda a \sim \lambda u$ 関係

* (株)山下設計 構造設計部門
 ** ジャパンパイル(株)・工博
 *** (株)日本設計 造設計群

5. K_{ao} の算定結果

以上の手順で K_{ao} を算定した。補正係数 γ を 1 とした場合、実測値/算定値の平均は 1.13、各々の平均値の比は 1.16 となったが、これは主にモデル化による誤差である¹⁾。この誤差を考慮して γ は 1.15 とする。図4は、 K_{ao} の算定値と実測値の関係である。相関係数は文献²⁾では 0.708 だったのに対し、 λa の算定方法の見直しによって 0.734 に改善された。摩擦分布を2区間と単純化し、 λa と k_{app} に地盤定数からの推定値を用いたことを考えると、実用的には満足できる算定方法といえよう。

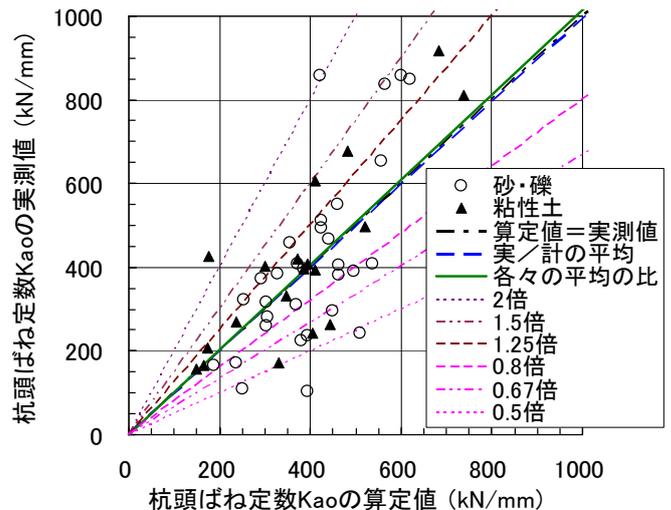


図4 K_{ao} の算定値と実測値

実測値 < 算定値のデータを軽く扱う不合理を避けるため、(実測値/算定値)を対数で表した $\ln(\text{実測値}/\text{算定値})$ の分布は、ほぼ正規分布とみなすことができた。そこで、平均 m と標準偏差 σ を求めると、 $m = -0.0322$ 、 $\sigma = 0.389$ となった。したがって、算定値は 50% の確率で実測値の 0.74 ~ 1.26 倍の範囲に、80% の確率で 0.6 ~ 1.6 倍の範囲に入ることになる。

6. おわりに

本報では、プレローリング根固め拡大工法杭の長期荷重時の杭頭ばね定数の算定方法を提案した。JSCA基礎地盤系部会では、今後もデータを収集して種々の工法の算定方法を提案していきたいと考えている。一連の検討でご意見を頂いたJSCA基礎地盤系部会員に感謝します。

参考文献

- 1) 2) 小椋仁志・本間裕介：プレローリング(拡大)根固め工法杭の鉛直ばね定数の簡易算定法の提案(その1：算定方法の検討)、(その2：算定結果の検討)、第46回地盤工学研究発表会講演集、pp. 1233-1236、2011.6
- 3) 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：既製杭のプレロ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
- 4) 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

Yamashita Sekkei Inc. Structural Design Dept
 JAPAN PILE Corp., Dr.Eng.
 NIHON SEKKEI, Inc. Structural Engineering Dept.