

杭の鉛直ばね定数の簡易算定法の提案 (その3: 場所打ちコンクリート杭の算定式)

正会員 ○小椋仁志* 同 阪上浩二**
同 三町直志*** 同 宮本和徹****

鉛直ばね定数 杭頭沈下量 長期荷重
載荷試験 場所打ちコンクリート杭

1. はじめに

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、各種杭工法の鉛直ばね定数に関して、簡易でかつ鉛直載荷試験データに基づいた信頼できる算定方法を検討している。前報^{1),2)}では、プレボルリング拡大根固め工法および中掘り拡大根固め工法の一つのM工法とN工法を対象とした算定式を作成し提案した。引き続き、場所打ちコンクリート杭の算定式を作成したので、本報ではその結果を報告する。

2. 算定式作成の方針

・**長期荷重時** 鉛直ばね定数 K_{ao} は、長期荷重時を対象とする。これは、履歴荷重時の荷重-沈下量関係を考えると、地震荷重時も含めて長期荷重時のばね定数を用いることが合理的である¹⁾ことによる。なお、鉛直ばね定数の算定によく使われる道路橋示方書(道示)の方法³⁾は、降伏荷重時を対象にしている。場所打ち杭の載荷試験データを用いて検討したところ、道示によるばね定数は実測値に比べてほぼ半分の値となった。このように、道示の算定式は柔らかい値を与えることに注意が必要である。

・**地盤定数** 道示の方法は、杭径と杭長だけから計算できるため非常に簡便で使いやすい反面、杭先端や周面の地盤の状況が反映されていないという問題がある。次回の改定では地盤定数を計算に取り入れた方法⁴⁾が導入される予定で、本報の算定法はこれを参考にしている。

・**簡便な計算** 構造設計者が使いやすいように、 K_{ao} は杭の設計時に用いられる数値だけから四則演算のみで計算できるものとする。ただし、実用に耐えうる精度を有しているのは当然である。

3. 鉛直ばね定数 K_{ao} の算定式

場所打ちコンクリート杭の鉛直ばね定数 K_{ao} の算定式は(1)式のとおりである。なお、この式の誘導過程などについては、前報¹⁾を参照されたい。

$$K_{ao} = \gamma R_{ao} / S_{ao} = \gamma / \{ (1/K_{a\delta} + 1/K_{apo}) \\ = \gamma / \{ [(L_c + m L_s / 2) / C] + \{ \lambda_a \times (D_p / A_p) / k_{app} \} \} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 γ : 補正係数 $\gamma = 1.2$ (7節参照)

R_{ao} : 長期許容支持力(kN) $R_{ao} = R_{uo} / 3$ (R_{uo} : 5節)

S_{ao} : 長期荷重時の杭頭沈下量(mm)

$K_{a\delta}$: 周面ばね(kN/mm)、 K_{apo} : 先端ばね(kN/mm)

L_c : フリクションカット部分の杭体長さ(m)

$$m = (\xi + \eta) (1 - \lambda_a) + 2 \lambda_a$$

ξ 、 η : 周面摩擦力の分布係数

$$\xi = \eta = 0.5 \quad (\text{摩擦力は一定と仮定})$$

λ_a : 長期荷重時先端伝達率 (5節参照)

$$\lambda_a = -0.045 + 0.3 \lambda_u$$

λ_u : 極限荷重時先端伝達率

$$L_s = L - L_c$$

L : 杭体の全長(m)

C : 杭体の圧縮剛性 $C = A \times E$ (kN)

A : 杭体の平均換算断面積(mm²)

拡頭杭の場合は拡頭部、拡底杭の場合はテーパ部と拡底部の断面積も考慮する。

E : 杭体のヤング係数(N/mm²)

$$E = 33,500 \times (F_c / 60)^{1/3} \quad (\text{newRC式})$$

F_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)

D_p : 杭体先端部の外径(mm)

A_p : 杭体先端部の断面積(mm²) $A_p = D_p^2 \times \pi / 4$

k_{app} : 先端地盤反力係数(kN/mm²) (6節参照)

$$k_{app} = 0.01 N_p$$

N_p : 杭先端平均N値

4. 算定式の作成に使用したデータ

場所打ちコンクリート杭の K_{ao} の算定式を作成するに当たっては、日本基礎建設協会が集めた45件の載荷試験データを使用した。図1に、杭体の全長 L と杭先端部の外径 D_p の分布を示す。 L と D_p の最大値はそれぞれ57.5m、1,900mmとなっている。また拡底率の最大は1.7である。

5. 長期荷重時先端伝達率 λ_a の算定式

長期荷重時先端伝達率 λ_a は、長期荷重時の杭頭荷重 R_{ao} と先端抵抗 R_{ap} との比(R_{ap} / R_{ao})であって、極限荷重時先端伝達率 λ_u の関数として求める。 λ_u は極限荷重時の杭頭荷重 R_{uo} と先端抵抗 R_{up} との比

(R_{up} / R_{uo})で、支持力算定式から得られる値である。

R_{uo} : 告示1113号式による極限支持力(kN)

R_{up} : 告示1113号式による極限先端支持力(kN)

図2は、支持力算定式による λ_u と、載荷試験結果から求めた λ_a の関係である。相関係数は0.429と緩い相関が見られ、回帰式は $\lambda_a = -0.048 + 0.3139 \lambda_u$ となる。これから、 λ_a の算定式は次式とする。

$$\lambda_a = -0.045 + 0.3 \lambda_u \quad (2)$$

ただし、 $\lambda_u < 0.15$ の場合は $\lambda_a = 0$

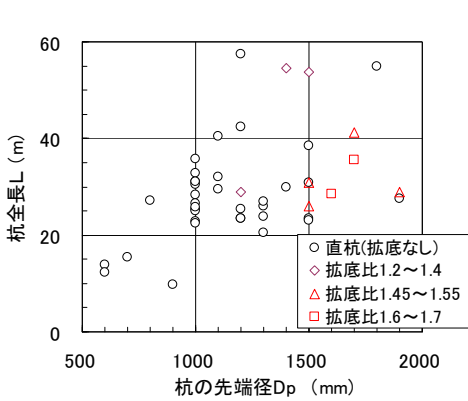


図1 載荷試験杭の杭長と先端径の分布

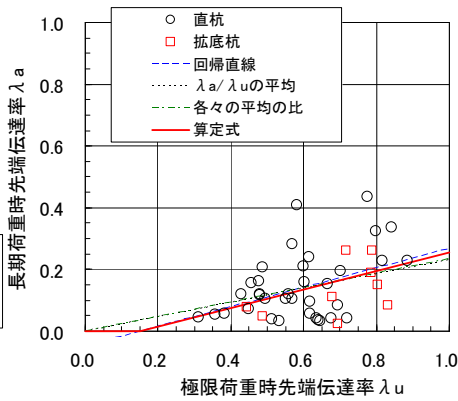


図2 先端伝達率 λa と λu の関係

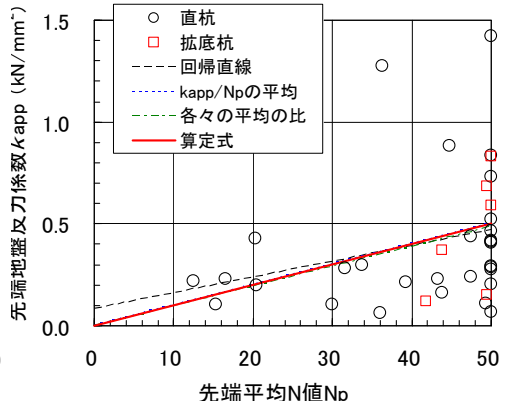


図3 k_{app} - N_p 関係

6. 先端地盤反力係数 k_{app} の算定式

先端地盤反力係数 k_{app} は、次式で定義される。

$$k_{app} = (R_{ap} / A_p) / (S_{ap} / D_p)$$

ここに、 R_{ap} は長期荷重時先端抵抗 (kN)、 S_{ap} は長期荷重時先端沈下量 (mm) であり、 D_p と A_p は杭先端部の外径と断面積である。

図3に、載荷試験データから求めた k_{app} と杭先端平均N値 N_p の関係を示す。 N_p は杭先端から上方に1 D_p 、下方に1 D_p 間の平均N値で、上限を50としている。相関係数は0.280と小さい。両者の回帰直線は $k_{app} = 0.082 + 0.9977 N_p$ 、 k_{app}/N_p の平均は0.0100、 k_{app} の平均/ N_p の平均は0.0097となることから、 k_{app} の算定式は次式とする。

$$k_{app} = 0.01 N_p \quad (\text{kN/mm}^2) \quad (3)$$

7. 鉛直ばね定数 K_{ao} の算定結果

以上の(1)~(3)式によって 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1.23、実測値の平均/算定値の平均は1.17となった。これはモデル化による誤差である。 γ は、算定値=実測値となるよう $\gamma = 1.2$ 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0.268と小さい。

(実測値/算定値) < 1 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 $\ln(\text{実測値}/\text{算定値})$ の平均 m と標準偏差 σ を求めると、 $m = -0.0718$ 、 $\sigma = 0.487$ となった。これから、算定値は50%の確率で実測値の0.67~1.29倍の範囲に、80%の確率で0.50~1.74倍の範囲に入ることになる。したがって、相関係数は小さいものの、実用上は信頼できる精度といえよう。

同じ地盤条件の下で、本算定方法による場所打ち杭の K_{ao} と、前報で述べたM工法(プレボリング拡大根固め工法)杭、N工法(中掘り拡大根固め工法)杭の算定結果を比較した。その結果、 K_{ao} の値は場所打ち杭 > M工法杭 >

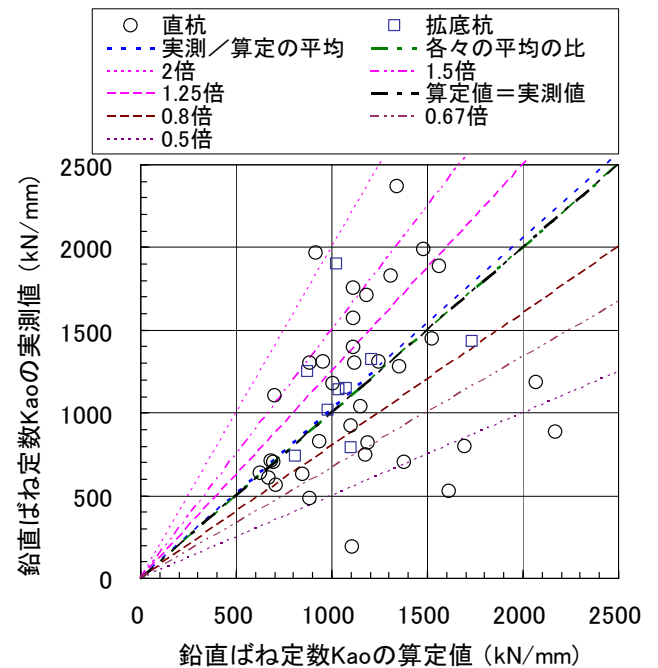


図4 K_{ao} の算定値と実測値

N工法杭の順となった。これは、 K_{ao} は圧縮剛性 C が大きいほど、周面摩擦力の割合が大きい (λa が小さい) ほど大きな値となるが、それを反映する結果である。

8. おわりに

本報では、場所打ちコンクリート杭の長期荷重時の鉛直ばね定数の簡便な算定方法を提案した。

最後に、載荷試験データを整理して頂いた日本基礎建設協会の技術委員各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 阪上浩二・小椋仁志・三町直志：杭の鉛直ばね定数の簡易算定法の提案 (その1: プレボリング(拡大)根固め工法杭)、(その2: 中掘り拡大根固め工法杭)、日本建築学会大会(東海)講演梗概集B-1、pp. 463-466、2012.9
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書 IV下部構造編、pp. 406-408、2012.3
- 3) 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

* (一社)日本建築構造技術者協会基礎地盤系部会・工博
 ** (株)山下設計構造設計部
 *** (株)日本設計構造設計群
 **** (一社)日本基礎建設協会技術委員会

Japan Structural Consultants Association (JSCA), Dr.Eng.
 Yamashita Sekkei Inc. Structural Design Dept.
 NIHON SEKKEI, Inc. Structural Engineering Dept.
 Japan Foundations Engineering Association