

杭の鉛直ばね定数の簡易算定法の提案
(その4: プレボーリング拡大根固め工法杭の共通算定式)

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

前報(その1)¹⁾ではプレボーリング拡大根固め工法の一つであるM工法による杭について、杭頭の鉛直ばね定数の算定法を提案した。その後、他の3工法による杭についてもそれぞれの算定式を作成し、さらに各工法共通の算定式も検討した。本報では、それらの結果を報告する。

2. 各工法の鉛直ばね定数Kaoの算定式

プレボーリング拡大根固め工法の場合、(その3)で示した算定式に、根固め部などの要素が加わった式となる。この誘導過程等は、前報等^{1)~3)}に示している。対象とした施工法は既報のM工法(Hyper-MEGA, EX MEGA, MEGA)のほか、H工法(HBM)、K工法(Hybridコーティング、SUPERコーティング)、およびX工法(MRXX)である。これらの工法のKaoを算定する際に用いる定数等を、表1に示す。

$$K_{ao} = \gamma R_{ao} / S_{ao} = \gamma / (1/K_{a\delta} + 1/K_{apo})$$

$$= \gamma / [\{ (L_c + m L_s / 2) / C_s + \lambda_a L_p / C_p \} + \{ \lambda_a \times (D_p / A_p) / k_{app} \}] \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 γ : 補正係数 (表1)
 R_{ao} : 長期許容支持力 (kN) $R_{ao} = R_{uo} / 3$ (R_{uo} : 表1)
 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
 $\xi = 0.5$ 、 η は Z_c から求める (算定式は表1)

Z_c : 杭の中間深さ $Z_c = L_c + L_s / 2$ (m)
 L_s : 杭の摩擦力が作用する部分の長さ (m)
 $L_s = L - L_c - L_p$
 L : 杭体の全長 (m)
 L_p : 根固め部の杭先端上方部分の長さ (m)
 D_o : 根固め部に位置する杭体の外径 (mm)
M, K工法: 節部径、H, X工法: 拡大部杭径
 λ_a : 長期荷重時先端伝達率
 λ_a は λ_u から求める (算定式は表1)
 λ_u : 極限荷重時先端伝達率 $\lambda_u = R_{up} / R_{uo}$
 R_{up} : 極限先端支持力 (kN) (算定式は表1)
 R_{uo} : 極限支持力 (kN) (算定式は表1)
 C_s : 杭周部の圧縮剛性 (kN)
 $C_s = \rho_A A \times \rho_E E + (A_s - \rho_A A) E_s$
 A : 杭体の平均換算断面積 (mm^2)
 ρ_A : 杭体の実測断面積比 (表1)
 E : 杭体のヤング係数 $E = 40,000 N/mm^2$
 ρ_E : 杭体の実測ヤング係数比 (表1)
 D_p : 根固め部の外径 (mm) (各工法の値)
 A_s : 杭周部の平均閉塞断面積 (mm^2)
 $A_s = \{ L_n \times A_n + (L_e - L_p) \times A_p \} / (L - L_p)$
 A_n : 通常掘削部の閉塞断面積 (mm^2) (各工法の値)
 A_p : 根固め部の閉塞断面積 (mm^2) $A_p = D_p^2 \times 4 / \pi$
 L_n : 通常掘削部の長さ (m) $L_n = L - L_e$
 L_e : 拡大周面部の長さ (m) (M工法以外は $L_e = L_p$)

表1 各工法のKaoの算定に用いる定数や式

工法名	M工法	H工法	K工法	X工法
データ数	51	28	30	20
実測断面積比 ρ_A	1.07	1.07	1.05	1.07
実測ヤング係数比 ρ_E	1.1	1.1	1.07	1.0
E_s (N/mm^2)	2,000	455	2,000	1,500
E_p (N/mm^2)	6,000	12,000	10,000	15,000
極限支持力 R_{uo} (kN)	認定式	認定式	認定式	認定式
先端支持力 R_{up} (kN)	認定式の第1項	認定式	認定式	認定式
λ_a の算定式	$\lambda_a = 0.07 + 0.07 \lambda_u + 0.68 \lambda_u^2$ $\lambda_u < 0.2: \lambda_a = 0.52 \lambda_u$	$\lambda_a = 0.6 \lambda_u$	$\lambda_a = 0.45 \lambda_u$	$\lambda_a = 0.75 \lambda_u$
η の算定式	$\eta = 0.6 - 0.01 Z_c$	$\eta = 0.6$	$\eta = 0.55$	$\eta = 0.65 - 0.0025 Z_c$
k_{app} の算定式	$k_{app} = 0.12 + 0.011 N_p$	$k_{app} = 0.025 N_p$	$k_{app} = 0.5 + 0.012 N_p$	$k_{app} = 0.02 N_p$
N_p の平均範囲	杭先端から下方 $D_o + D_p$ 間	認定式の範囲	認定式の範囲	認定式の範囲
補正係数 γ	1.15	1.05	1.1	1.3
相関係数	0.734	0.900	0.933	0.825
50%の確率で入る範囲	実測値の0.74~1.26倍	0.85~1.08	0.93~1.23	0.69~1.27倍

An estimating method for vertical stiffness of pile head
(Part 4: Common formula for root enlarged and solidified prebored pile)

SAKAGAMI Koji, OGURA Hitoshi
and MIMACHI Tadashi

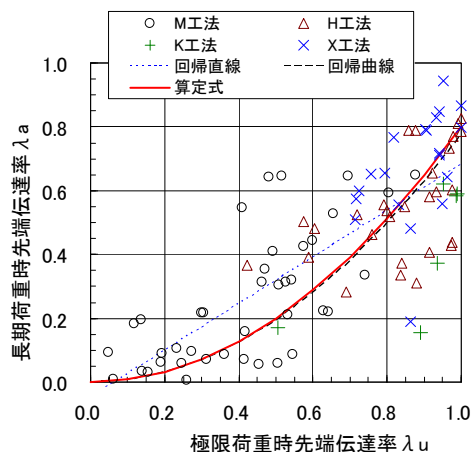


図1 先端伝達率 λa と λu の関係

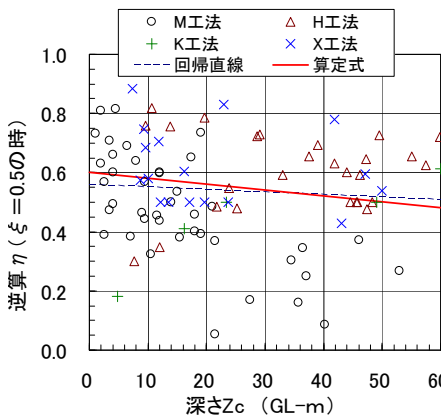


図2 $\eta - Zc$ 関係

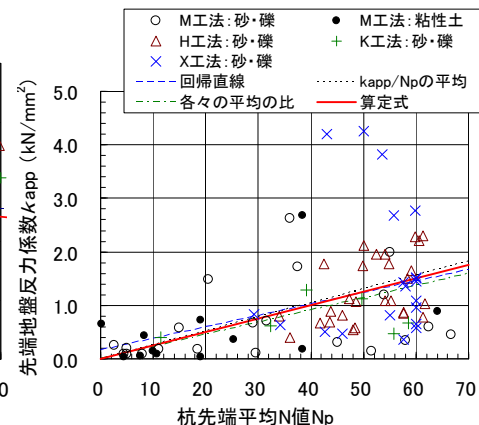


図3 $k_{app} - N_p$ 関係

E_s : 杭周充填材のヤング係数 (N/mm^2) (表1)

C_p : 根固め部の圧縮剛性 (kN)

$$C_p = \rho_A A_o \times \rho_E E + (A_p - \rho_A A_o) E_p$$

A_o : 根固め部に位置する杭体の換算断面積 (mm^2)

M, K工法: 軸部断面積、H, X工法: 拡大部断面積

E_p : 根固め材のヤング係数 (N/mm^2) (表1)

k_{app} : 先端地盤反力係数 (kN/mm^2)

k_{app} は N_p から求める (算定式は表1)

N_p : 杭先端平均N値 (平均範囲は表1)

以上の定数や算定式を用いて、(1)式から K_{ao} を算定した。表1に、算定値と載荷試験による実測値との相関係数と、算定値が50%の確率で入る範囲を示す。これらの値から、得られる K_{ao} の精度は高いといえる。

3. 共通算定式の作成

前節で述べた4種類の施工法の載荷試験データから、根固め部の拡大掘削を伴うプレローリング拡大根固め工法に共通して適用できる算定式を作成する。作成に使用したデータは95件 (M41件 (先端地盤が粘性土の16件含む)、H28件、K6件、X20件) である。根固め部の径は500~2500mm、杭体の全長は4~75.5mの範囲に分布している。

共通算定式では、表1に示した定数や式を下記に変更して鉛直ばね定数 K_{ao} を求める。

$$\rho_A = 1.07, \rho_E = 1.1 \text{ (文献}^{2)} \text{による)}$$

$$E_s = 1,500 N/mm^2, E_p = 10,000 N/mm^2 \text{ (各工法の間中値)}$$

$$\lambda_a = 0.8 \lambda_u^2 \text{ (図1による)}$$

$$\eta = 0.6 - 0.002 Z_c \text{ (図2による)}$$

$$k_{app} = 0.025 N_p \text{ (図3による)}, \gamma = 1.05$$

R_{uo} , R_{up} , N_p の平均範囲: 表1と同じ

以上の条件で求めた K_{ao} の算定値と載荷試験による実測値の相関図を図4に示す。相関係数は0.720と良い相関を示している。 $\ln(\text{実測値}/\text{算定値})$ の平均は-0.0044、標準偏差は0.394となり、算定値は50%の確率で実測値の0.73~1.25倍の範囲に入ることになる。共通算定式で

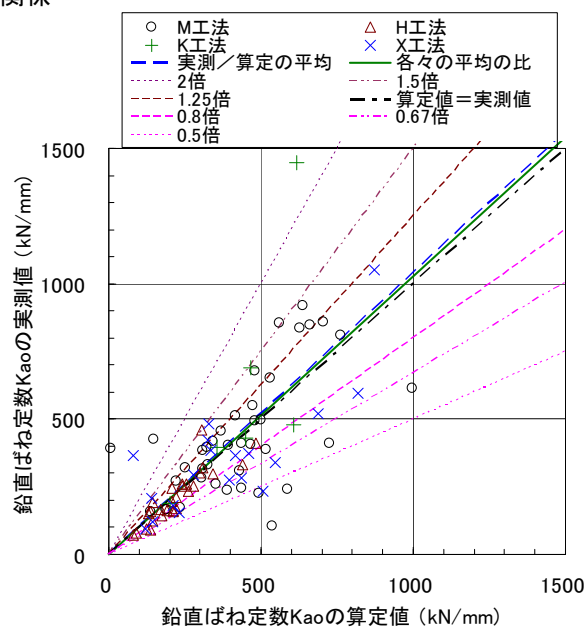


図4 K_{ao} の算定値と実測値

も、実用上、十分な精度の K_{ao} が得られるといえる。

4. おわりに

本報では、4種類のプレローリング拡大根固め工法による杭の長期荷重時の鉛直ばね定数の算定方法と、それらを統合した共通算定式について述べた。JSCA基礎地盤系部会では、今後も拡大掘削を伴わないプレローリング根固め工法や中掘り拡大根固め工法の算定式を順次作成し、構造設計用のツールとして提供する予定である。

最後に、貴重な載荷試験データを提供して頂いたジャパンパイル(株)、日本ヒューム(株)、三谷セキサン(株)および(株)トーヨーアサノの関係各位に深く感謝します。

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: プレローリング (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. 463-464、2012.9
- 2) 3) 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

* (株)山下設計構造設計部

** (一社)日本建築構造技術者協会基礎地盤系部会・工博

*** (株)日本設計構造設計群

Yamashita Sekkei Inc. Structural Design Dept

Japan Structural Consultants Association (JSCA), Dr.Eng.

NIHON SEKKEI, Inc. Structural Engineering Dept.