

鉛直方向杭頭ばね定数に関する JSCA 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)

ばね定数 プレボーリング工法 載荷試験

ジャパンパイル ○ 国際会員 小椋 仁志  
千葉工業大学 学生会員 小林 淳  
同 上條 雅大  
同 国際会員 鈴木 誠

1. はじめに

建築物を設計する際に杭の鉛直変位量を簡便に評価するために、筆者の一人が属する JSCA (日本建築構造技術者協会) 技術委員会基礎地盤系部会では杭頭ばね定数の算定方法を提案してきた<sup>1~4)</sup>。今回、プレボーリング(拡大)根固め工法で施工された PHC 節杭の多数の載荷試験データを用いて、JSCA 算定式による杭頭ばね定数の精度を検証する機会を得た。本報では、その検証結果について紹介する。

2. JSCA 算定式の概要

JSCA の杭頭ばね定数の算定式は、土木研究所の方法<sup>5)</sup>を参考に作成されたもので、①設計時に用いる定数だけを使う、②四則演算だけで計算できる、③長期荷重時を対象としたばね定数である、④周面抵抗は杭体の縮み量のみによって評価しているなどの特徴がある。現在、場所打ち杭工法その他、プレボーリング(拡大)根固め工法、同径掘削プレボーリング拡大根固め工法、中掘り工法による既製コンクリート杭の算定式がある。今回、検証の対象としたのは、図 1 に示す節杭を使ったプレボーリング(拡大)根固め工法 (以下、M 工法) である。M 工法は、根固め部には節杭 (節部径 Do) を用いる、拡大径は通常掘削径 (Do+50mm) の ω 倍 (ω: 拡大比, ω=1~2)、掘削底と杭先端が原則として一致している、拡大掘削部を杭長の 1/2 を限度に設定できる等の特徴を持つ<sup>6)</sup>。M 工法の算定式を次式に示す。式中の記号や算定に必要な値、式は表-1 にまとめている。表中の η, λa, kapp の算定式は、載荷試験結果から求めたものである。

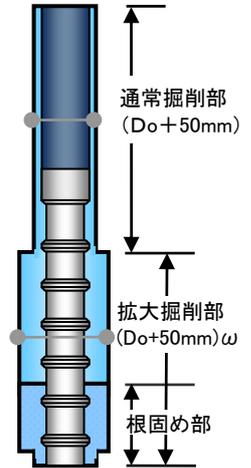


図 1 M 工法

$$Kao = \gamma R_{ao} / S_{ao} = \gamma / (1/K_{a\delta} + 1/K_{ap\delta}) = \gamma / [ \{ (Lc + mLs/2) / C_s + \lambda a L_p / C_p \} + \{ \lambda a \times (D_p / A_p) / k_{app} \} ] \dots \dots \dots (1)$$

なお、誘導過程等は、文献 1)~4) を参照されたい。

表-1 (1)式の記号、算定に必要な値と式

3. 検証に用いた載荷試験

(1)式を作成するために用いた 51 件(先端地盤: 砂質土 31 件, 粘性土 20 件)の載荷試験(軸力測定あり, 以下「特性調査試験」)のデータのほかに、設計支持力の確認等のために行われた載荷試験(軸力測定なし, 以下「確認試験」)を 59 件(先端地盤: 砂質土 40 件, 粘性土 19 件)のデータを収集して検証に用いた。これらの載荷試験杭の杭長と杭径(根固め径)を図 2 に示す。確認試験杭の大半は埋立地に用いられた摩擦杭であり、拡大比 ω は 10 件が ω=1.23, 他は ω=1 であり、試験地は関東 11 件, 関西 45 件, 九州 3 件となっている。

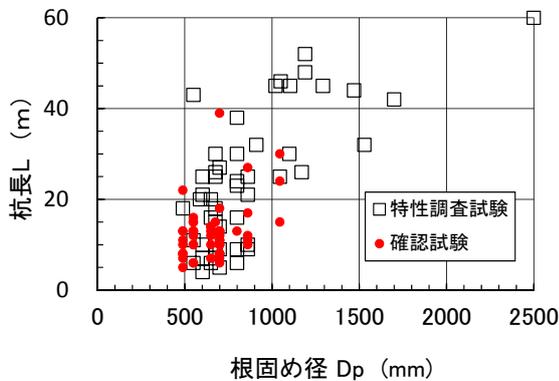


図 2 載荷試験杭の杭長と根固め径の分布

Kao	: 杭頭ばね定数(kN/mm)	Kaδ	: δ ばね	Kapδ	: Sp ばね
γ	: 補正係数(γ=1.15)	Rao	: 長期許容支持力(kN)	Rao = Ruo/3	
Ruo	: 認定支持力式 <sup>6)</sup> による極限支持力(kN)	Sao	: 長期荷重時の杭頭沈下量(mm)		
m	= (ξ + η)(1 - λa) + 2λa	ξ, η	: 周面摩擦力の分布係数, ξ=0.5		
η	= 0.6 - 0.01Zc	Zc	: 杭の中間深さ Zc = Lc + Ls/2 (m)		
Lc	: フリクションカット部分の杭体長さ(m)	Ls	: 杭の摩擦力が作用する部分の長さ(m)	Ls = L - Lc - Lp	
L	: 杭体の全長(m)	Lp	: 根固め部の長さ Lp = 2m		
λa	: 長期荷重時先端伝達率				
	λa = 0.07 + 0.07λu + 0.68λu <sup>2</sup>	ただし	λu < 0.2 : λa = 0.52λu		
λu	: 極限荷重時先端伝達率 λu = Rup/Ruo				
Rup	: 極限先端支持力(kN)	砂質土	: Rup = 240ω <sup>1.5</sup> NpAp		
	粘性土	: Rup = 210ω <sup>1.25</sup> NpAp	ω	: 拡大比 ω = 1~2	
Do	: 根固め部に位置する節杭の節部径(mm)				
Dp	: 根固め部の外径(mm)	Dp	= (Do+50)ω		
Np	: 杭先端平均N値		杭先端から下方 Do + Dp 間の平均 N 値		
Ap	: 根固め部の閉塞断面積 (mm <sup>2</sup> )	Ap	= Dp <sup>2</sup> × π/4		
Cs	: 杭周囲の圧縮剛性(kN)	Cs	= ρAA × ρEE + (As - ρAA)Es		
As	: 杭体の平均換算断面積(mm <sup>2</sup> )	ρA	: 杭体の実測断面積比		
	ρA = 1.07	E	: 杭体のヤング係数 E = 40,000N/mm <sup>2</sup>		
ρE	: 杭体の実測ヤング係数比 ρE = 1.1				
As	: 杭周囲の平均閉塞断面積(mm <sup>2</sup> )				
	As = {Ln × An + (Le - Lp) × Ap} / (L - Lp)				
An	: 通常掘削部の閉塞断面積 (mm <sup>2</sup> )	An	= (Do+50) <sup>2</sup> × π/4		
Ln	: 通常掘削部の長さ(m)	Ln	= L - Le	Le	: 拡大周面部の長さ(m)
Es	: 杭周充填材のヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	Es	= 2,000N/mm <sup>2</sup>		
Cp	: 根固め部の圧縮剛性(kN)	Cp	= ρAAo × ρEE + (Ap - ρAAo)Ep		
Ao	: 根固め部に位置する節杭の軸部換算断面積 (mm <sup>2</sup> )				
Ep	: 根固め材のヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	Es	= 6,000N/mm <sup>2</sup>		
kapp	: 先端地盤反力係数(kN/mm <sup>2</sup> )	kapp	= 0.12 + 0.011Np		

Accuracy of "JSCA" estimating formula for vertical stiffness of pile head (Load test results of root solidified prebored nodular piling method)

OGURA Hitoshi (Japan Pile Corporation),  
KOBAYASHI Jun, KAMIJO Masahiro and SUZUKI Makoto  
(Chiba Institute of Technology)

#### 4. 算定値と実測値の比較

杭頭ばね定数  $K_{ao}$  の算定値は(1)式で求める。実測値は、試験地の地盤データと杭の諸元から認定支持力<sup>6)</sup>で求めた長期許容支持力  $R_{ao}$  を、載荷試験データから求めた荷重が  $R_{ao}$  の時の杭頭沈下量  $S_{ao}$  で除した値となる。得られた  $K_{ao}$  の実測値と算定値から、JSCA 算定式の精度を検証する。

図3は JSCA 算定式の作成時に使用した特性調査試験 51 件だけのデータでの実測値と算定値の関係である<sup>4)</sup>。相関係数は 0.734 と良い相関を示している。

これに対して、確認試験のデータを加えたときの両者の関係は、図4のようになる。相関係数は 0.442 と相関性は認められるが、良い相関とはいえない。これは、確認試験のデータのみでの相関係数が 0.249 と小さいことによる。特に先端地盤が砂質土のデータに限れば相関係数は -0.021 と相関性は全くない(先端地盤が粘性土では 0.445)。相関性に関して言えば、JSCA 算定式の精度は十分ではないといえよう。

実測値を算定値で除した値の平均値(図中では、「実/計の平均」)を求めると 1.09, 実測値の平均値を算定値の平均値で除した値(図中では、「各々の平均の比」)を求めると 1.04 となり、やや実測値の方が大きいものの、平均的には算定値は実測値を説明できるといえる。

図5は実測値を算定値で除した値を常用対数  $\log_{10}$ (実測値/算定値)とした時のヒストグラムである。対数を用いたのは、単純な比では(実測値<算定値)のデータを軽く扱うことになる不合理を避けるためである。この図から  $\log_{10}$ (実測値/算定値)はほぼ正規分布とみなせることが分かる。平均値は -0.015 であり  $10^{-0.015} = 0.966$  となることから、(実測値/算定値)の相乗平均からみてもやや実測値の方が小さいものの、平均的には算定値は実測値を説明できるといえる。

$\log_{10}$ (実測値/算定値)の標準偏差を求めると 0.235 となる。これから、算定値は 50%の確率で実測値の 0.67~1.39 倍の範囲に、80%の確率で 0.48~1.94 倍の範囲に入ることになり、実用的には満足できる精度であるといえよう。

先端地盤が砂質土のデータと粘性土のデータに分けて考えても同様の傾向がある。砂質土の場合は算定値が 50%の確率に入るのは実測値の 0.64~1.38 倍の範囲、80%の確率に入るのは 0.45~1.96 倍の範囲となる。また、粘性土の場合は算定値が 50%の確率に入るのは実測値の 0.68~1.32 倍の範囲、80%の確率に入るのは 0.50~1.79 倍の範囲となる。

以上より、JSCA 算定式は、ばらつきは大きいですが、平均的には実測値に近い値を与え、確率で考えると実用的には満足できる杭頭ばね定数が得られる算定方法であると判断される。

#### 5. おわりに

本報では、鉛直方向の杭頭ばね定数を算定するために提案されている JSCA 算定式について、プレボーリング節杭工法の載荷試験データを用いてその精度や実用性を検証した。その結果、ばらつきは大きいものの、実用的には満足できる算定方法であることが分かった。

謝辞 本検討にご協力いただいた JSCA 技術委員会基礎地盤系部会の三町直志主査、阪上浩二副主査はじめ委員各位に、深甚の謝意を表します。

参考文献 1), 2) 小椋仁志・本間裕介: プレボーリング(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) 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: プレボーリング(拡大)根固め工法杭), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.463-464, 2012.9.
- 4) 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4: プレボーリング拡大根固め工法杭の共通算定式), 日本建築学会大会講演梗概集 B-1, pp.463-464, 2013.8.
- 5) 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.
- 6) 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, GBRC, Vol.32, No.1, pp.10-21, 日本建築総合試験所, 2007.1

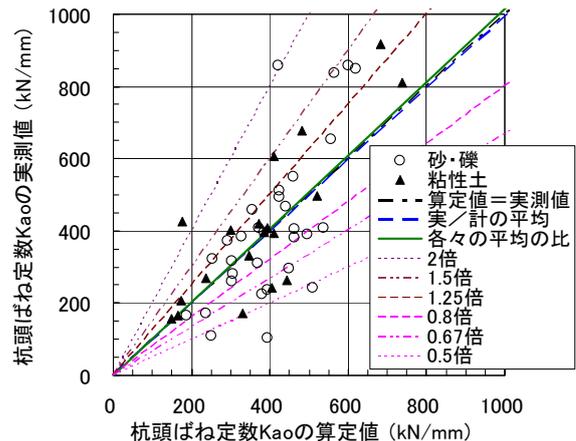


図3 特性調査試験のデータによる実測値と算定値の関係(文献3)より転載)

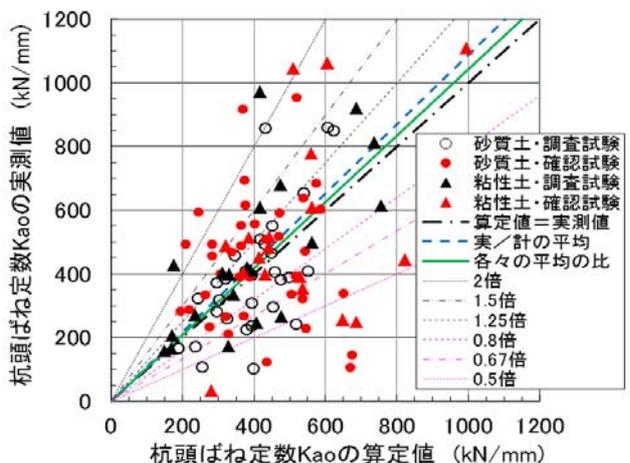


図4 全てのデータによる実測値と算定値の関係

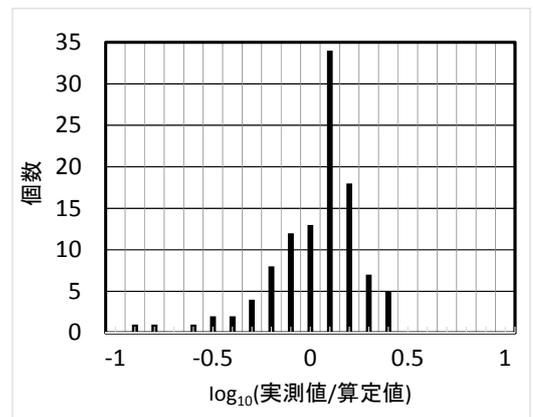


図5  $\log_{10}$ (実測値/算定値)のヒストグラム