

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1:算定方法の検討)

ジャパンパイル 国際会員 小椋仁志
同 正会員 本間裕介

プレボーリング工法 載荷試験 ばね定数

1. はじめに

建築構造物の設計時に杭の沈下を簡易に考慮するには、杭頭ばねを設定することが有効である。筆者も一員の日本建築構造技術者協会(JSCA)技術委員会基礎地盤系部会(三町直志主査)では、精度が良い長期荷重時の杭頭ばねを簡便に求める方法を検討している。その検討で、各工法特性によりモデルがかなり変わることが分かった。そこで、最初の段階として一つの工法を取り上げ、それに合わせたモデルによって杭頭ばねの算定方法を検討することとした。本報では、モデルと算定方法の概要を述べる。

2. 既往の算定方法

杭頭ばね定数の算定方法には、道路橋示方書の方法¹⁾、日本建築学会基礎構造設計指針の方法²⁾、筆者らが提案した荷重-沈下量曲線から求める方法^{3),4)}などがある。しかし、は降伏荷重時のばねを対象にしていること、適用できる施工法が限られていること、地盤定数が反映されていないこと等から採用しづらい。～は荷重伝達法による繰返し計算が必要なこと、とは荷重-沈下量曲線全体が近似するように作られているため得られる長期荷重時のばね定数の精度は必ずしも良くないこと等の問題がある。は対象とする杭が小径に限られるうえ、沈下量が10mmの時の値を基に作成されているため長期荷重時には必ずしも対応していない。そこで、今回は土木研究所が新たに提案した方法⁵⁾を参考にして、長期荷重時の杭頭ばね定数を簡便に算定する方法を検討した。

3. 対象とする工法

本報で対象とする工法は、図1に示すプレボーリング(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 D_o)を用いる、拡大径は通常掘削径($D_o+50\text{mm}$)の倍(拡大比、 $=1\sim 2$)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。

M工法を対象としたのは、載荷試験数が多いこと、根固め部の先端面付近の軸力が測定されていること、先端面の支持力を算定できる設計式であること、先端面の抵抗に最も影響する根固め部より下方の平均N値を支持力算定時に用いること等による。

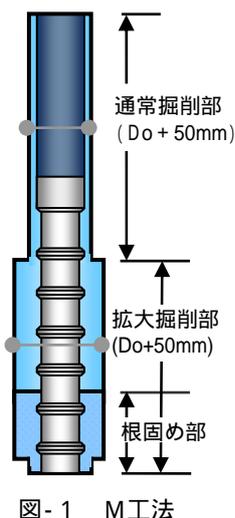


図-1 M工法

算定式の作成にあたっては、M工法で施工された杭の載荷試験データ51件(先端地盤砂・礫31件、粘性土20件)を用いた。先端地盤や拡大比の分布を、図2の根固め径(拡大掘削径) D_p と杭全長 L の関係中に示した。

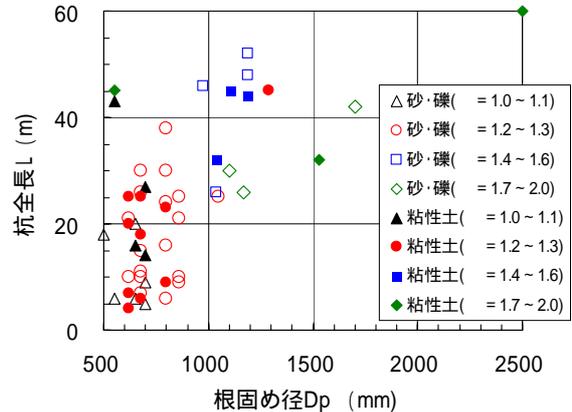


図-2 載荷試験データの分布

4. 杭頭ばねのモデル化

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} とすると、次式で求められる。

$$K_{ao} = R_{ao} / S_{ao}$$

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

したがって、

$$1 / K_{ao} = S_{ao} / R_{ao} = (a + S_{ap}) / R_{ao} \\ = (a / R_{ao}) + (S_{ap} / R_{ao})$$

となり、 R_{ao} / a を周面ばね K_a 、 R_{ao} / S_{ap} を先端ばね K_{apo} とくと、

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

5. 周面ばね K_a

5.1 杭の圧縮剛性

長期支持力時の杭頭のひずみを a_o 、先端(根固め部上端)のひずみを a_p とすると、 $a_o = R_{ao} / C_s$ 、

$$a_p = R_{ap} / C_p \text{ となる。ここに、} R_{ap} \text{ は長期許容支持力時の先端抵抗、} C_s \text{ は杭(先端付近を除く)の圧縮剛性(一定値と仮定)、} C_p \text{ は杭先端部分の圧縮剛性である。}$$

C_s と C_p は、杭本体と充填材の圧縮剛性の和となる。

$$C_s = A \cdot A \times E \cdot E + (A_s - A \cdot A) E_s \\ C_p = A \cdot A \times E \cdot E + (A_e - A \cdot A) E_p$$

ここに、 A : 杭の換算断面積(公称値)、 A_e : 杭の実測断面積比、 E : 杭のヤング係数(公称値)、 E_e : 杭の実測ヤング係数比、 E_s : 杭周充填材のヤング係数、 E_p : 根固め材のヤング係数、 $A_s = \{ L_n \times A_n + (L_e - L_p) \times A_p \} / (L - L_p)$

ただし、 $\mu = 1$ のときは $A_s = A_n$

L_n : 通常掘削部の長さ、 A_n : 通常掘削部の閉塞断面積 ($A_n = (D_o + 50)^2 / 4$)、 L_e : 拡大掘削部の長さ、 L_p : 根固め部長さ ($L_p = 2m$)、 A_p : 拡大掘削部の閉塞断面積 ($A_p = A_n \times \mu^2$)

充填材の圧縮剛性や A_n 、 E や考慮したのは、杭の断面積やヤング係数に公称値を用いて杭体みの圧縮剛性によって検討した場合、計算値と実測値の差が約 35% 生じたことによる。図 3 に杭の製造時に測定した断面積の実測値と公称値の比を示す。この結果から、平均値の $\mu = 1.07$ を採用する。図 4 はヤング係数の実測値(200mm、長さ 300mm、厚さ 40mm 遠心供試体による)と公称値(設計規準強度 F_c が 85、105N/mm² は 40kN/mm²、123 N/mm² では 42kN/mm²)の比である。この図から平均値の $\mu_e = 1.1$ を用いることとする。

E_s と E_p は、RC 規準⁶⁾の new RC 式と呼ばれる式 $E = \mu \times 33500 \times (f_c / 24)^2 \times (F / 60)^{1/3}$ で、単位体積重量 γ を 17kN/m³、掘削土の混合による低減率 γ_r を 0.6⁷⁾ として求める。杭周充填材の強度 F は 0.5 ~ 1N/mm² であることから $E_s = 2kN/mm^2$ 、根固め材の F は 15 ~ 20N/mm² であることから $E_p = 6kN/mm^2$ とする。

5.2 杭体のひずみ分布(摩擦力分布)の仮定

ひずみ分布(摩擦力分布)は次のようにモデル化する。杭頭~フリクションカット(以下、FC)処理部分(長さ L_c) 下端間のひずみは a_o 、根固め部のひずみは a_p とし、いずれもその間での摩擦力は 0 とする。FC 下端から根固め部上端までの間(長さ $L_s = L - L_c - L_p$)の摩擦力は深さ z を境とする 2 つの区間に分けて考え、 $z = L_c + \mu \times L_s$ でのひずみを $a_z = \mu \times (a_o + \mu a_p) + \mu a_p$ とする。 μ は摩擦力分布を表す係数で、 L_s 間での摩擦力を一定と仮定する場合には $\mu = 1$ とすればよい。 μ は剛性比 C_p / C_s である。

5.3 周面ばね K_a の計算

長期荷重時の杭の縮み量 a は以下の式で計算される。

$$a = a_o \times L_c + (a_o + a_z) \times L_s / 2 + (a_z + \mu a_p)(1 - \mu) L_s / 2 + a_p \times L_p$$

$$= R_{ao} \times \{ [L_c + (\mu + 2 a_o - a_p) \times L_s / 2] / C_s + a L_p / C_p \}$$

ここで、 a は長期荷重時先端伝達率 $a = R_{ap} / R_{ao}$

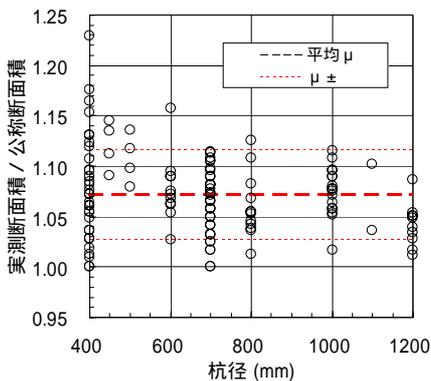


図-3 断面積の実測値と公称値

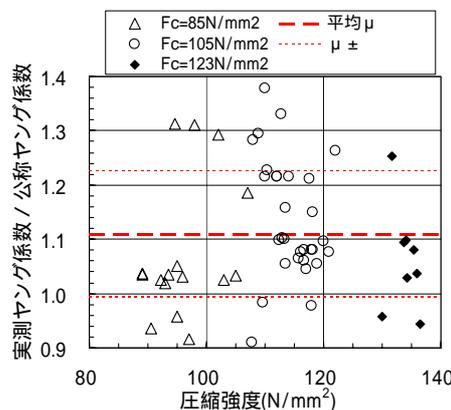


図-4 ヤング係数の実測値と公称値

であり、算定方法は(その2)述べる。以上より、周面ばね $K_a = R_{ao} / a$ は次式で得られる。

$$1 / K_a = \{ L_c + (\mu + 2 a_o - a_p) \times L_s / 2 \} / C_s + a L_p / C_p$$

6 . 先端ばね K_{ap}

先端ばね $K_{ap} = R_{ap} / S_{ap}$ は、次式で与えられる。

$$1 / K_{ap} = a / K_{app} = a \times (D_p / A_p) / k_{app}$$

ここで、 K_{app} は先端ばね定数で $K_{app} = R_{ap} / S_{ap}$ 、 k_{app} は先端地盤反力係数で

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

7 . モデルの妥当性の検討

3 で述べた荷重試験データから逆算した a と k_{app} を用い、 L_s 区間の摩擦力を一定と仮定 ($\mu = 1$) した時の杭頭ばね定数の計算値と、荷重試験データによる杭頭ばね定数の実測値の関係を図 5 に示す。相関係数は 0.931 と相関性は非常に良い。ただし、計算値は実測値より約 13% 小さい値となっている。この差はモデル化による誤差といえるが、摩擦力を一定と仮定したことを考えると、本モデルは妥当であると判断される。

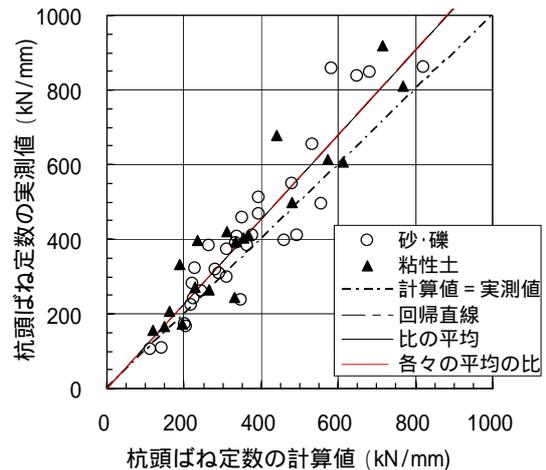


図-5 モデル化による誤差

8 . おわりに

以上、本報では長期荷重時の杭頭ばね定数を簡便に求める方法の概要を述べた。多くのご意見をいただいた J S C A 基礎地盤系部会の諸氏に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 下部構造編、2002.3
- 2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2001,10
- 3) 伊藤淳志・小椋仁志・田中佑二郎・韓英敏：節杭を用いたプレボーリング根固め工法杭の荷重・沈下量関係の推定方法、日本建築学会構造系論文集、p907-913、2008.6
- 4) 吉川那穂・小椋仁志・二見智子：埋込み節杭のデータによる摩擦杭の杭頭ばね定数の推定法、第 35 回地盤工学研究発表会(岐阜)、pp.1807-1808、2000.6
- 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) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010.2
- 7) 小椋仁志：根固め FEM 節杭を用いたプレボーリング拡大根固め工法における根固め部強度の FEM による検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国) B-1、p603-604、2008.9