

鉛直方向杭頭ばね定数に関する改定土研資料算定式の精度  
(プレボーリング節杭工法の载荷試験データ)

ばね定数 プレボーリング工法 载荷試験

ジャパンパイル ○国際会員 小椋 仁志  
千葉工業大学 更谷 圭吾  
同 出浦 翔太  
同 国際会員 鈴木 誠

1. はじめに

杭の鉛直変位量を簡便に評価するための杭頭ばね定数を求めるには、現在は土木構造物を対象とした道路橋示方書<sup>1)</sup>の算定式を用いることが多い。しかし、この算定式には地盤特性が反映されないという問題点がある。これを解消するために、2009年に出された土木研究所資料<sup>2)</sup>(以下、土研資料)の中で新たな算定式が示された(以下、2009年算定式)。さらに2015年になって、それを見直した算定式(以下、2015年算定式)が土研資料(2015)<sup>3)</sup>として示された。

筆者らは、杭頭ばね定数の算定式の精度を検証する目的で、節杭を用いたプレボーリング(拡大)部固め工法の载荷試験データによって、これまでJSCA算定式と前述の2009年算定式を検証してきた<sup>4)5)</sup>。その結果、2009年算定式は杭先端が砂質土の場合は比較的良好な対応が見られたものの、粘性土では大きな偏り(バイアス)とばらつきがあることがわかった。今回、2015年算定式の精度を検証し、2009年算定式との比較を行った。本報では、その結果を報告する。

2. 鉛直方向杭頭ばね定数の算定式

2009年算定式と2015年算定式を、以下に示す。

$$K_{vd} = \frac{1}{\frac{L}{2EA}(1 + \gamma_y) + \frac{4\gamma_y}{\pi D_p^2 k_v}}$$

$$K_{vd} = \frac{1}{\frac{L}{2EA}(1 + \gamma_y - \zeta) + \xi \frac{4\gamma_y}{\pi D_p^2 k_v}}$$

ここに、 $L$ : 杭長(m)、 $E$ : 杭体の弾性係数(kN/m<sup>2</sup>)、 $A$ : 杭体の断面積(m<sup>2</sup>)、 $D_p$ : 根固め部の径(m)、 $\gamma_y$ : 杭頭降伏時の先端伝達率の推定値、 $k_v$ : 杭先端の地盤反力係数(kN/m<sup>3</sup>)であり、 $\zeta$ と $\xi$ は、2015年算定式で追加された杭体収縮量算出のための補正係数と杭の先端変位量算出のための補正係数である。プレボーリング杭では $\zeta = -0.02$ が、 $\xi$ は先端地盤が砂・砂礫の場合は0.20が与えられている。しかし、粘性土地盤の場合は打撃工法と場所打ち杭以外は値が示されていないため、本検討ではどの値を数種類試みて最適な値を探すこととした。また、2009年算定式では与えられていなかったため最も近い鋼管ソイルセメント杭の係数を準用した $\gamma_y$ と $k_v$ を算定するための係数は、2015年算定式では新たに設定されたプレボーリング杭の係数に変更している。

この検討には、図1に示す節杭を用いたプレボーリング(拡大)根固め工法(M工法)で施工された杭の载荷試験データ110件(先端が砂質土地盤71件、粘性土地盤39件)を使用した。試験杭の寸法などは、前報<sup>4)</sup>を参照されたい。

3. 先端砂質土地盤での算定値の精度

算定式による杭頭ばね定数の算定値と载荷試験による実測値の比較図を図2と図3に示す。図2は2009年算定式、図3が2015年算定式であり、杭先端が砂質土地盤の場合である。算定値は、载荷試験杭の緒元と地盤データを算定式に代入して得られた値である。一方、実測値は、算定式が降伏荷重時のばね定数を対象としていることから、極限支持力 $P_{uo}$

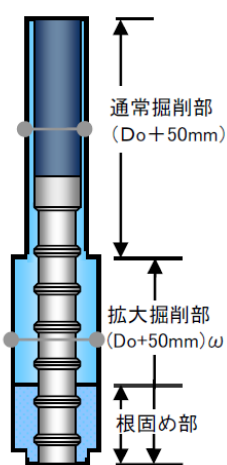


図1 M工法<sup>4)</sup>

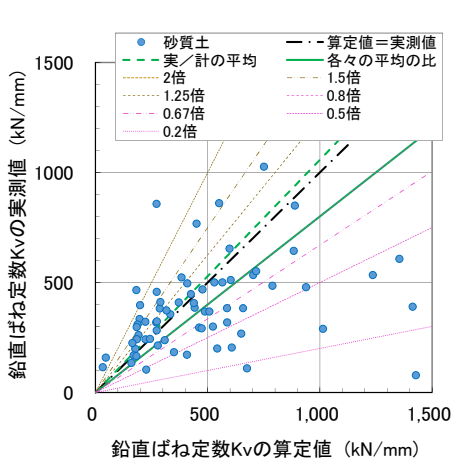


図2 2009年算定式による算定値と実測値の比較(砂質土地盤)

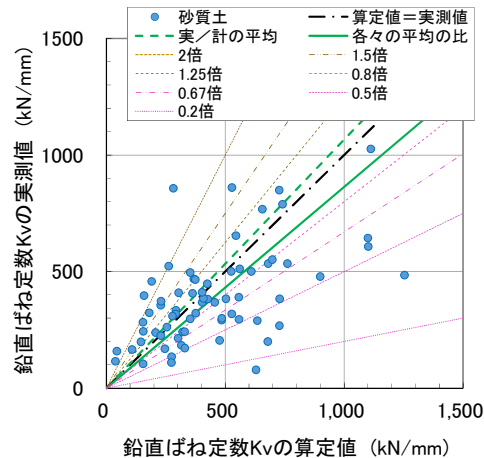


図3 2015年算定式による算定値と実測値の比較(砂質土地盤)

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

OGRA Hitoshi (Japan Pile Corporation), SARATANI Keigo, IDEURA Syota and SUZUKI Makoto, (Chiba Institute of Technology)

の2/3を降伏支持力 $P_{yo}$ とし、載荷試験から得られたその時の沈下量 $S_{yo}$ との比 $P_{yo}/S_{yo}$ の値である。 $P_{uo}$ は、本来は道路橋示方書の支持力算定式によって求めるべきであるが、節杭を用いたプレボーリング(拡大)根固め工法杭は対象外のため、建築分野で使用されている支持力式(国土交通大臣認定式)<sup>4)</sup>による値を用いている。

図2と図3を比べると、算定値と実測値の相関係数は0.344から0.561に向上している。バイアスに関しては、実測値と算定値の比の平均や各々の平均の比から判断すると、2009年算定式でも小さかったが2015年算定式ではさらに小さくなっている。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)の平均値 $\mu$ は-0.043から-0.042とほぼ0(バイアスが小さい)を維持し、標準偏差 $\sigma$ は0.327から0.285と小さくなっている(ばらつきが小さい)。 $\mu$ と $\sigma$ の値から、2015年算定式で得られた算定値は、実測値の0.61~1.34倍の範囲に50%の確率で入り、0.43~1.90倍の範囲には80%の確率で入ることになる。以上より、2015年算定式は実用的には満足できる精度と判断される。

#### 4. 先端粘性土地盤での算定値の精度

図4は、杭先端が粘性土地盤の場合の2009年算定式による算定値と実測値の比較図である。図のように相関も悪く(相関係数0.148)、バイアスも大きい(各々の平均の比0.442)。これらのことから、実用的にも満足できる精度とはいえない。

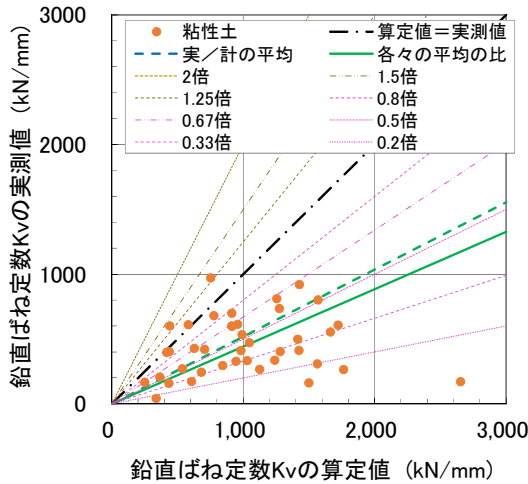


図3 2009年算定式による算定値と実測値の比較(粘性土地盤)

これに対して、 $\xi=0.4$ とした図4の

2015年算定式では相関係数は0.217と小さいものの、各々の平均の比は0.949とバイアスは大幅に改善しており、平均的には実測値に近い算定値を与えることになる。また、 $\log_{10}$ (実測値/算定値)の $\mu=0.036$ 、 $\sigma=0.380$ から2015年算定式で得られた算定値は、実測値の0.60~1.96倍の範囲に50%の確率で入り、0.35~3.33倍の範囲には80%の確率で入ることになる。以上より、2015年算定式は、ばらつきは大きいものの実用的にはなんとか満足できる精度であると判断される。

図4は、杭の先端変位量算出のための補正係数 $\xi$ を0.4としたときの結果である。 $\xi=0.4$ は $\xi$ の値を数種類変えて検討した結果で決めたものである。検討の一例として、 $\xi=0.25$ とした場合の算定値と実測値の比較を図5に示す。両者の相関係数は0.193と $\xi=0.4$ の場合よりもやや悪く、各々の平均の比も0.759とバイアスも悪くなっている。このように、今回の検討では、先端地盤が粘性土の場合のプレボーリング工法に用いる $\xi$ の値として0.4を採用するのが妥当という結果になった。

#### 5. おわりに

本報では、筆者らが節杭を用いたプレボーリング(拡大)部固め工法の載荷試験データによって行っている一連の杭頭ばね定数算定式の検証の一環として、2015年に出された土研資料の算定式を対象として、その精度を検討した。その結果、杭先端が砂質土地盤の場合には2009年の土研資料の算定式比べても精度は向上しており実用的には満足できる精度と判断された。先端が粘性土地盤の場合には、2009年の算定式に比べて精度は大幅に向上し、ばらつきは大きいものの実用的にはなんとか満足できる精度の値を与えるものと判断された。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・IV下部構造編，2012.3.
- 2) 土木研究所：杭の軸方向の変形特性に関する研究，土木研究所資料第4139号，2009.3.
- 3) 土木研究所：杭基礎の鉛直支持力及び地盤ばね定数推定式の見直しと信頼性の評価に関する研究，土木研究所資料第4297号，2015.3.
- 4) 小椋仁志・小林 淳・上條雅大・鈴木 誠：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)，第50回地盤工学研究発表会，pp.1325-1327，2015.9.
- 5) 小林 淳・上條雅大・鈴木 誠・小椋仁志：鉛直方向杭頭ばね定数に関する土研資料算定式の精度(プレボーリング節杭工法の載荷試験データ)，第50回地盤工学研究発表会，pp.1327-1328，2015.9.

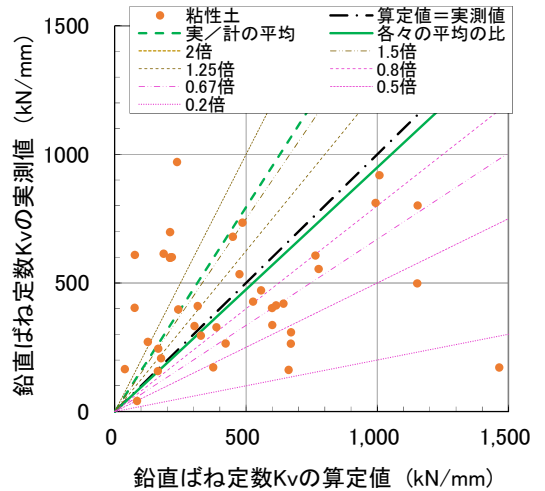


図4 2015年算定式による算定値と実測値の比較(粘性土地盤， $\xi=0.4$ )

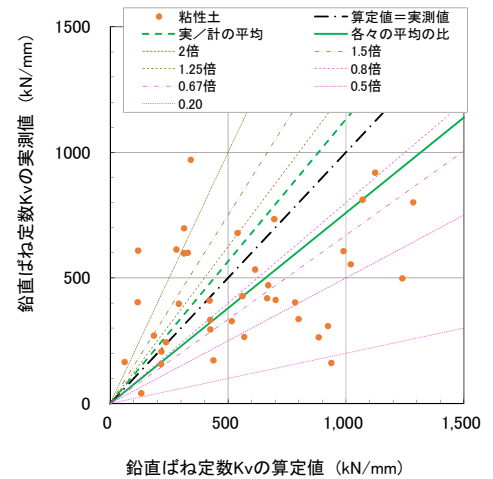


図5 2015年算定式による算定値と実測値の比較(粘性土地盤， $\xi=0.25$ )