

回転杭工法の引抜き支持力推定式の提案

回転杭工法 引抜き支持力、推定式

一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会 ○松井 良典 吉澤 幸仁
菊池 俊介 水谷 大作

1. はじめに

道路橋示方書・同解説（以下、道示）の次期改定では、信頼性の考えに基づいた部分係数設計体系版に移行される見通しであり、杭の支持力推定式においても信頼性の考えに基づいた検討が行なわれている^{1),2)}。しかし、参考文献1)では、鉛直支持力推定式を対象としており、引抜き支持力推定式の検討はなされていない。回転杭工法は引抜き時の抵抗に特徴があることから、参考文献1)と同様な手法で引抜き支持力推定式の見直しを検討した。

本論文では、その検討内容と推定精度を向上させた回転杭工法の引抜き支持力推定式の提案を行なうものである。

2. 検討の目的

杭の引抜き支持力推定式は、一般には押し込み支持力における周面抵抗力の推定式を適用することが可能であるとされている。ただし、回転杭工法にあっては、周面抵抗力に加えて杭径よりも大きな外径を有する杭先端翼によるアンカー効果を期待することができるため、これを適切に考慮することによって合理的な設計となることが期待される。

回転杭工法の先端翼によるアンカー効果の推定式は2007年に示され³⁾、設計実務に供されてきたが、同推定式の運用に伴う課題もある。本検討では、信頼性の考えに基づき現行の推定式より精度を向上させるとともに、課題の解消も併せて行っている。

3. 現行の推定式に係わる課題

回転杭工法の現行の極限引抜き支持力 R_{tud} の推定式を式(1)に、引抜き抵抗の概念図を図-1に示す。先端翼によるアンカー効果は第1項で表現されている。

$$R_{tud} = \pi \cdot D_w \cdot \left(\sum \gamma_i \cdot L_i + \gamma \frac{H}{2} \right) \cdot H \cdot \beta \cdot \tan \phi + U \sum (f_i \cdot L_i) \quad \dots \text{式(1)}$$

ここに、 D_w ：羽根外径（m）、 γ_i ：支持層より上で地表面から*i*番目の層の土の有効単位体積重量（kN/m³）、 L_i ：支持層より上で地表面から*i*番目の層の層厚（m）、 γ ：支持層の土の有効単位体積重量（kN/m³）、 H ：羽根上方の局所せん断破壊域の広がる高さで支持層への根入れ長（m） $H \leq 2.5 D_w$ 、 β ：引抜き係数で表-1に示すせん断抵抗角に応じた値、 ϕ ：支持層のせん断抵抗角（度）、 U ：杭の周長（m）、 f_i ：支持層より上で地表面から*i*番目の層の最大周面摩擦力度（kN/m²）で表-2による。

一般に支持層のせん断抵抗角は計測されないため、式(1)に従って設計を行おうとすると、1) N 値からせん断抵抗角 ϕ を推定し、2) せん断抵抗角 ϕ から $\beta \cdot \tan \phi$ を推定する、という2度の推定プロセスを経ることとなる。また、せん断抵抗角 ϕ の推定は道示IV編の参考資料²⁾に示される参考式を利用することとなるが、杭基礎の支持層のような大深度における参考式の適用性は確認されておらず、大深度の条件では控えめのせん断抵抗角 ϕ が推定されることが実務上の課題としてある。

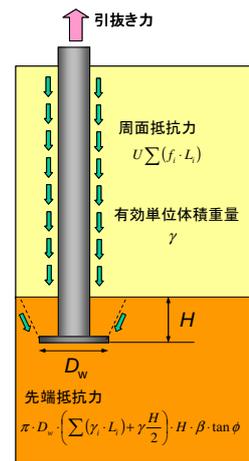


図-1 引抜き抵抗の概念図

4. 提案する推定式

上述した2度の推定プロセスを回避するため、式(1)における $\beta \cdot \tan \phi$ を先端引抜き係数 F に置き換え、 F の推定精度をあげた式(2)を提案する。

$$R_{tud} = \pi \cdot D_w \cdot \left(\sum \gamma_i \cdot L_i + \gamma \frac{H}{2} \right) \cdot H \cdot F + U \sum (f_i \cdot L_i) \quad \dots \text{式(2)}$$

ここに、 R_{tud} ：地盤から決まる杭の極限引抜き支持力（kN）

F ：先端引抜き係数で $F = 3.0N/(L/D_p)$ ただし $F \leq 5$

N ：支持層の N 値、 L ：杭長（m）、 D_p ：杭径（m）、

f_i ：各層の最大周面摩擦力度（kN/m²）で表-2による。

表-1 ϕ と β の関係

せん断抵抗角 ϕ	引抜き係数 β
35度	2.1
40度	3.3
45度	5.3

表-2 最大周面摩擦力度（kN/m²）

砂質土	粘性土
$3N (\leq 150)$	c または $10N (\leq 100)$

c は地盤の粘着力、 N は標準貫入試験の N 値

Proposal for estimation formula of pull-off bearing capacity of rotary driving steel pipe pile

MATSUI Yoshinori; Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet piles
YOSHIZAWA Yukihito; Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet piles
KIKUCHI Shunsuke; Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet piles
MIZUTANI Taisaku; Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet piles

今回の提案式は、参考文献1)と同様の方法で支持力推定式を検討し、19例の载荷試験データをもとに引抜き抵抗係数 F の最適値を設定したものである。ここで、極限引抜き支持力の定義は、参考文献3)と同様に杭先端変位が杭先端径の7%に達した時点での杭頭抵抗力としている。

5. 提案式の推定精度

杭頭における極限引抜き支持力の実測値と推定値との関係を図-2に示す。推定結果は偏りやばらつきが小さいことが望ましいが、視覚上はこればかりににくいいため、併せて統計量を示している。個々のデータの(実測値)/(推定値)を推定比と呼ぶことにすると、 M は推定比の平均値、 MED は推定比の中央値、 SD は推定比の標準偏差を意味する。図-3は推定結果の偏り(平均)・ばらつき(標準偏差)を図化したものである。

推定比の平均値(偏り)は、現行式:1.50に対して提案式:1.03、推定比の標準偏差(ばらつき)は、現行式:0.44に対して提案式:0.27となり、現行式に対して提案式の推定精度は向上している。

また、推定比の度数分布を図-4に示すが、安全側に偏っている現行式に対して提案式ではこれが改善されることも確認できる。図-5は先端引抜き係数 F の推定方法による比較を示したもので、こちらも現行式(左)に対して提案式(右)の推定精度が向上していることが確認できる。

なお紙面の都合上、杭頭での引抜き支持力の結果のみを記載しているが、杭先端地盤の種別、杭長杭径比に着目した場合においても、提案式によって推定結果の偏りやばらつきが改善される傾向にあることを確認している。

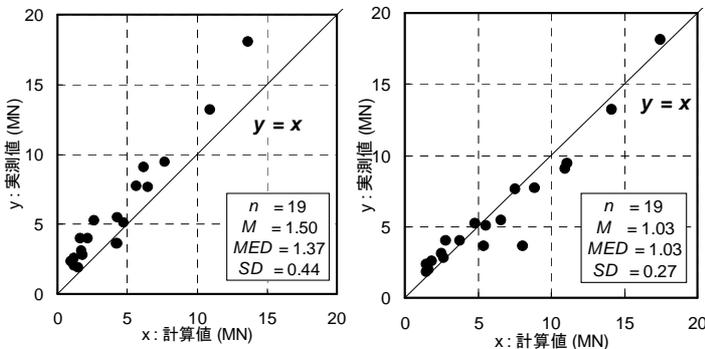


図-2 実測値と推定値との対比 (左: 現行式、右: 提案式)

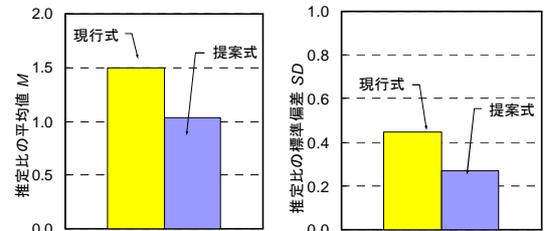


図-3 推定結果の偏り・ばらつき

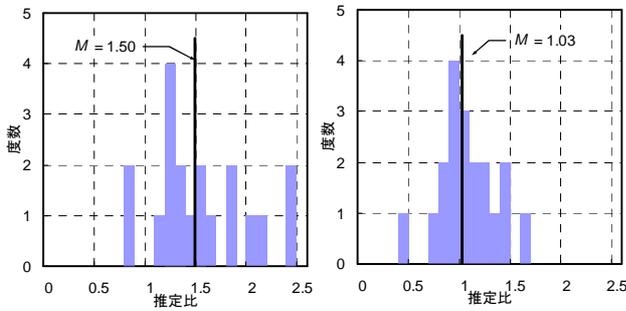


図-4 推定比の度数分布 (左: 現行式、右: 提案式)

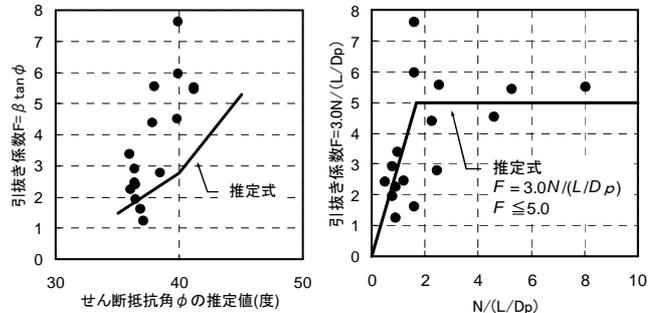


図-5 先端引抜き係数 F の推定方法による比較

6. おわりに

本検討にあたっては、関係各位から多くの助言を頂いた。ここに感謝の意を表す。本検討が、部分係数設計体系版への移行に際し、回転杭工法の引抜き支持力推定式として参考になれば幸いである。

7. 参考文献

- 1) 中谷昌一, 白戸真大, 横幕清: 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
- 2) 横幕清, 白戸真大, 中谷昌一: 杭の鉛直支持力推定式の作成方法の標準化とそれに基づく推定式の見直し, 土木技術資料, Vol51, No5, pp.22-27, 2009.05
- 3) 社団法人 日本道路協会: 杭基礎設計便覧, 平成18年度改訂版, 2007.1
- 4) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説IV下部構造編, 2012.3