

鉄道構造物に用いる小口径回転杭の鉛直地盤抵抗のモデル化

西岡 英俊* 山田 聖治**

澤石 正道*** 市川 和臣# 小橋 弘樹##

Modeling of Vertical Resistance of the Small Diameter Screw Pile for the Railway Structure

Hidetoshi NISHIOKA Seiji YAMADA

Masamichi SAWAISHI Kazuomi ICHIKAWA Hiroki KOBASHI

Recently, the screw pile which has wings at the tip of a steel pipe pile and is driven in the ground by rotation has been developed. Especially the small diameter screw pile (in general 400mm or less) has the advantage that the driving machine for it is small and it can be constructed at the place of narrow space. However, in Design Standards for Railway Structures, the design model of the small screw diameter pile is not defined, because the diameter of the pile generally used for a railway structure is larger than its diameter. Therefore, the modeling of the design value for its vertical resistance is proposed in this paper using the reliability design method.

キーワード：回転杭，鉛直載荷試験，信頼性設計法，鉛直支持力，地盤反力係数

1. はじめに

近年、鋼管先端に羽根部を有し、これを地盤に回転貫入させて所定深度まで打設する「回転杭工法」の開発・普及が進んでいる。鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物）¹⁾（以下、基礎標準）においても、平成24年の改訂で性能照査型設計法を導入するとともに、新工法として回転杭工法が取り入れられた。ただし、その適用条件は杭径が400mm以上、羽根部外径が杭径の1.5倍で、なおかつ羽根部に杭径の0.5倍径の開口を有する工法に限られている。この適用条件は主に新設高架橋等の鉄道本体構造物を想定し、比較的大口径の杭を強固な支持層へ確実に根入れさせることを考慮して土木分野での施工実績を踏まえて設定されたものである。

一方、橋上駅舎の新設工事等では、線路に近接した狭隘な箇所において杭を施工する必要があるが、図1のように1つの柱に複数の小口径回転杭を群杭利用する方式が有利となる場合がある²⁾。このように狭隘な場所での杭施工が必要となる場合、施工機械がコンパクトな小口径の回転杭のニーズが高いが、小口径の回転杭は主に建築分野の比較的小規模な杭工法として実績が多い工法であり、基礎標準で対象としている回転杭とは羽根先端の開

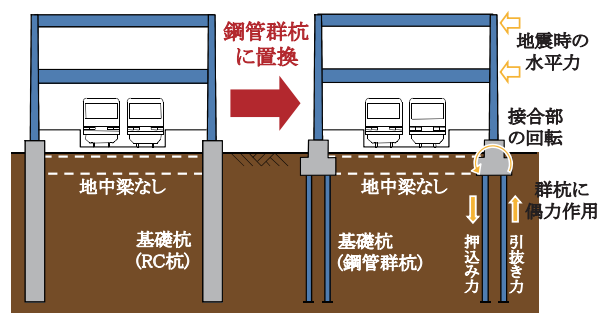


図1 小口径回転杭を群杭利用した橋上駅舎²⁾

口の有無や羽根径と杭径の比などの適用条件が異なっているため、基礎標準での回転杭の鉛直地盤抵抗モデルを適用することができない。

なお、橋上駅舎に適用される技術基準は、線路上空建築物（低層）構造設計標準³⁾であるが、この中で杭の鉛直地盤抵抗モデルは「基礎標準の考え方を準用してよい」と規定されている。特に図1右に示すような橋上駅舎等で地中梁のない1柱複数杭基礎となる場合には、大地震時の柱脚の回転剛性が杭の鉛直地盤抵抗に大きく依存することとなるため、その評価が重要となる。すなわち、図1右に示すような小口径回転杭を活用した橋上駅舎の普及を進めるためには、基礎標準に基づく鉛直地盤抵抗の評価が必要となっていた。

以上のような背景から、本検討では表1および図2に示す条件を満足する小口径回転杭工法の4つ^{4)~7)}を対象として、これらの載荷試験データベース（表2）を用いて基礎標準に示される回転杭（本論文では区別のため

* 構造物技術研究部 基礎・土構造研究室

** 構造物技術研究部 建築研究室

*** 新日鉄住金エンジニアリング株式会社

JFE スチール株式会社

旭化成建材株式会社

特集：構造物技術

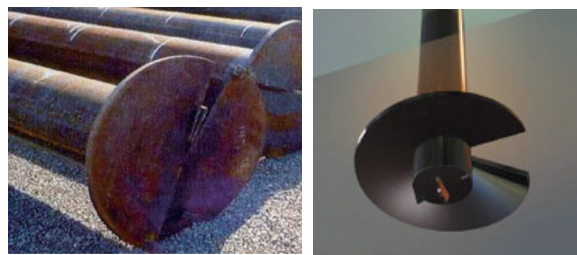
「大口径回転杭」と記す)と同様の信頼性設計法の考え方に基づく統一的な鉛直地盤抵抗のモデル化を行う。具体的には、構造解析に必要な地盤ばねの骨格曲線の形状を表す地盤ばね定数、降伏支持力および終局支持力のほか、各要求性能に対する設計限界値としての設計鉛直支持力の算定方法を提案する。

表1 検討対象とした小口径回転杭の適用条件

項目	(a) 大口径回転杭 (基礎標準)	(b) 小口径回転杭 (本検討)
杭径 D_p	400mm 以上 1600mm 以下	100mm 以上 400mm 以下
羽根外径 D_w	杭径 D_p の 1.5 倍	杭径 D_p の約 2 倍 (1.75 倍～2.25 倍)
先端開口の有無	D_p の 0.5 倍の開口を有する	開口の有無を問わない
施工及び施工管理	地盤を大きく乱すことなく強固な支持層へ貫入できる実績を有し、適切な施工管理手法が確立していること	



(a) 先端開口有タイプ



(b) 先端開口無タイプ

図2 小口径回転杭の先端形状

2. 基礎標準における杭の鉛直地盤抵抗のモデル化の基本的な考え方

基礎標準における杭の鉛直地盤抵抗のモデル化の考え方は基礎標準巻末の付属資料に詳述されているが、本論文に關係する特徴について以下に概説する。

2.1 骨格曲線

杭の鉛直地盤抵抗は、先端抵抗および周面抵抗それぞれで2次勾配を有するバイリニア型の地盤ばねによりモデル化する。周面地盤ばねについては正負両側(すなわち押し込み側と引抜き側)で対称の骨格曲線となるが、先端地盤ばねについては正負非対称となる。回転杭の先端地盤ばねの骨格曲線を図3に示す。

この骨格曲線の形状を決定するには、①地盤ばね定数 K_v (=初期勾配)、②降伏支持力 R_y (=折れ点荷重)、③終局支持力 R_u 、および④終局変位量(=終局支持力到達時の変位)の4つのパラメーターを N 値等の地盤調査結果から推定する必要がある。基礎標準では各杭工法別の実杭に対する鉛直載荷試験結果のデータベースに基づくこれらの推定式が示されている。

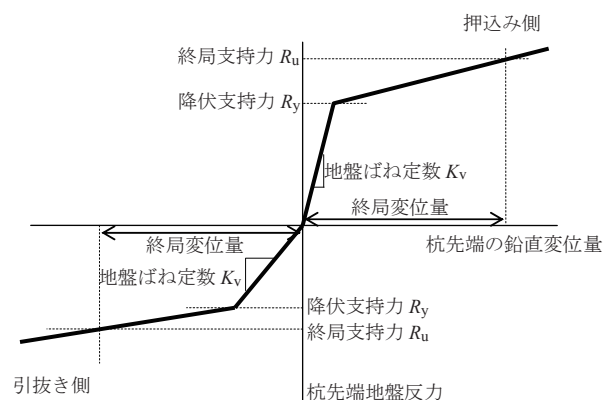


図3 回転杭の先端地盤ばねの骨格曲線

表2 対象工法と載荷試験データベースの概要

	工法 A ⁴⁾	工法 B ⁵⁾	工法 C ⁶⁾	工法 D ⁷⁾	4工法全体
先端の開口部の直径	杭径の0.5倍	杭径の0.5倍	(開口無し)	(開口無し)	—
羽根形状	らせん状	半円形板をX状に交差		らせん状	—
載荷試験本数	13本	4本	8本	11本	35本
試験方法	地盤工学会基準 JGS1811「杭の押し込み試験方法」 ⁸⁾ の段階載荷方式に準じるもの				
杭径=鋼管径(mm) [*]	406/257/114	319/236/114	319/253/114	356/242/140	406/249/114
杭の根入れ長(m) [*]	38.8/17.3/4.5	26.0/17.8/14.0	36.0/20.9/11.0	41.6/20.9/12.2	41.6/19.2/4.5
羽根外径/杭径 [*]	2.5/2.07/1.99	3.0/2.63/1.5	3.0/2.43/2.0	2.99/2.19/1.82	3.0/2.25/1.5
支持層への根入れ長/羽根外径	5.4/1.96/0.37	2.2/1.56/1.0	3.7/1.95/1.0	4.5/1.75/0.45	5.4/1.85/0.37
基準先端支持力比 [*] (実測値)	0.93/0.75/0.57	0.66/0.51/0.35	0.83/0.70/0.55	0.92/0.77/0.65	0.93/0.71/0.35

※最大値/平均値/最小値の順で記載

2.2 地盤ばね定数および地盤反力係数

実際の地盤ばねの割線勾配（＝杭反力÷変位）は、変位が大きくなるにつれて低下すること（変位レベル依存性）が知られている。基礎標準では、設計上の骨格曲線の初期勾配を表す地盤ばね定数（およびその単位面積あたりの値である地盤反力係数）を、鉛直荷重試験における10mm変位時の値と定義している。また、基礎標準では、地盤反力係数が地盤の変形係数に比例するものとして、各杭工法別の荷重試験データベースにおける平均値相当の推定式が提案されている。

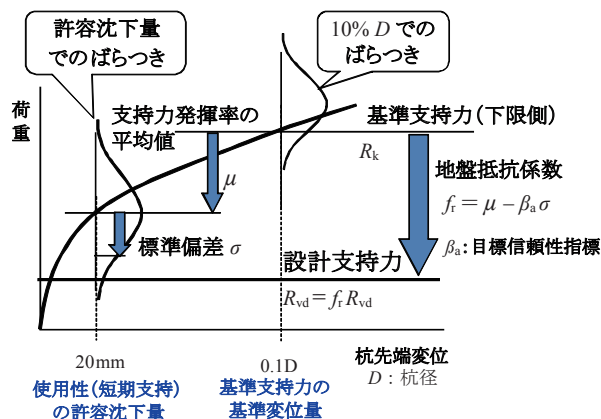


図4 地盤抵抗係数の基本的な考え方

2.3 基準支持力、降伏支持力および終局支持力

基礎標準では、図3の杭の骨格曲線を決定するパラメーターのうちの荷重側の降伏支持力 R_y と終局支持力 R_u は、特性値である基準支持力 R_k に地盤修正係数 ρ_{ey} あるいは ρ_{eu} を乗じて算定することとしている。このうち、基準支持力 R_k および終局支持力 R_u は、地盤工学会基準の第2限界抵抗力の定義に倣い、杭径の10%沈下時の支持力と定義し、地盤の N 値からの推定式および地盤修正係数が提案されている。そして、その推定式は、基準支持力 R_k については各杭工法別の荷重試験データベースの下限側の値を、終局支持力 R_u についてはその平均値相当の値を推定する式となっている。一方、降伏支持力 R_y は、20mm変位時の平均値相当の値となっている。

基準支持力に対する比の標準偏差である μ と σ は荷重試験データベースの統計処理から求めることができるので、地盤抵抗係数 f_r はデータベースの傾向を直接反映した値として算定される。

2.4 設計鉛直支持力および地盤抵抗係数

基礎標準では、性能照査の一つとして、杭の鉛直支持力の照査を行うこととしており、その設計限界値である設計鉛直支持力 R_{vd} は、基準支持力 R_k に要求性能に応じた地盤抵抗係数 f_r を乗じて算定することとしている。この地盤抵抗係数 f_r は、図4に示すように、各要求性能で想定する限界状態に至る許容沈下量でのばらつきに対して所定の目標信頼性指標 β_a を確保するように、次式で算定されている。

$$f_r = \mu - \beta_a \sigma \quad (1)$$

ここで、 μ ：基準変位量における支持力の基準支持力 R_k に対する比の平均値、 σ ：基準変位量における支持力の

3. 小口径回転杭特有の課題とその対応

前章に示した基礎標準における杭の鉛直地盤抵抗のモデル化での考え方を小口径回転杭に適用する上では、適用条件の違いにより、大きく2つの課題がある。以下に課題とその対応の考え方について示す。

3.1 基準変位量の見直し

基礎標準の大口径回転杭の各パラメーターの設定において想定している基準変位量を表3に示す。このうち、安定レベル2、3および基準支持力の基準変位は杭径の10%となっている。一方、地盤工学会基準⁸⁾では第2限界抵抗力の基準変位を「先端直径の10%」としており、これに従うとすれば大口径回転杭の場合には「先端の羽根外径の10%」とすべきであるが、基礎標準ではあくまで「杭径の10%」としており、両者で定義は異なっている。これは鉄道構造物の設計としては、杭径がフーチング寸法等の構造計画上の制約条件となる場合が多く、大口径回転杭でも同じ杭径の他の杭工法（例えば打込み杭工法）と同一の信頼性を確保するために、鉄道分野独自の運用

表3 基準変位量

要求性能		性能項目	大口径回転杭（基礎標準）	小口径回転杭（提案値）
地震時 以外	使用性	長期支持	13.3mm	① min (13.3mm, D_w の 1.33%)
		短期支持	20mm	② min (20mm, D_w の 2%)
	安全性	安定	min (50mm, D_p の 5%)	③ min (50mm, D_w の 5%)
地震時	復旧性	安定レベル1		杭径 D_p の 10%
		安定レベル2		
安全性	安定レベル3			
		(基準支持力)		
		(地盤反力係数)	10mm	min (10mm, D_w の 1.0%)

特集：構造物技術

として異なる定義を採用している。

しかしながら、本検討で対象とする小口径杭については群杭として適用されることが多いと想定され、杭工法選定段階での比較対象が必ずしも同径の杭ではないと想定される。また、本検討では羽根外径が杭径の約2倍となる工法を対象としており、先端沈下量が杭径 D_p の10%（すなわち羽根外径の約5%）程度では、まだ荷重の増加が期待できる範囲と考えられ、先端抵抗の評価として過剰に安全側の評価となってしまうことが考えられる。このような点を踏まえて、小口径回転杭の評価においては、地盤工学会基準の第2限界抵抗力の取扱いに倣い、羽根外径 D_w に対する比率で定義することとした。

一方、表3で杭径に依存しない絶対変位量で設定されている使用性の基準変位量は、杭径1mを超える大口径の杭を用いた場合でも過大な変形量を生じさせないことを考慮して設定されたものである。しかしながら、小口径回転杭では10mm程度の沈下量でも非線形化が顕著に表れることが想定されるため、同じ基準変位量を用いてしまうと、例えば使用性において累積沈下量が大きくなるなどの懸念がある。そのため本検討では、使用性の基準変位量を実質的に相対変位量に変更することとした。

3.2 先端開口の取扱い

大口径回転杭では貫入抵抗が大きいので、基礎標準では支持層への確実な貫入が可能となるように先端開口を有する工法のみを対象とし、開口部を除いたドーナツ型の先端面積を用いて先端地盤抵抗の評価を行っていた。

一方、本検討で取り扱う小口径回転杭の先端形状は図2に示すように先端開口が有る工法と無い工法の両方が含まれている。このような小口径回転杭の先端の鉛直地盤抵抗の統一なモデル化を行う上では、厳密には先端開口の有無による違いが少なからず影響すると考えられるが、ユーザー（建設主体・発注者）および設計者側からすれば、同一の杭径・羽根径であれば同一の設計モデ

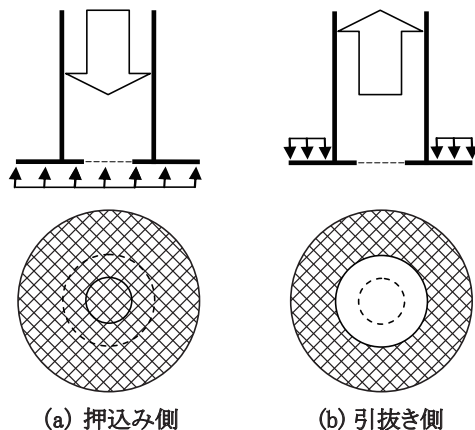


図5 先端抵抗面積 A_t の定義（網掛け部）

ルに統一されている方が、設計前に杭工法を確定させる必要が無く有用であり、公共調達の観点からも望ましいと考えられる。また、羽根外径と開口部径の比が約2倍と大口径回転杭（1.5倍）よりも大きく、相対的に先端開口の有無による違いの影響は小さくとなると考えられる。

そこで、小口径回転杭については杭先端の抵抗面積をモデル化する上で、図5に示すように押し込み側では開口の有無によらず閉塞された円の断面積を用い、引抜き側では鋼管よりも外側のドーナツ型の円環断面積を用いることとした。ただし、载荷試験データベースの統計処理の際には、先端開口の有無を分けない場合と分けた場合とでそれぞれ統計値を算出し、安全側となる条件で地盤修正係数および地盤抵抗係数を提案することとした。

4. 小口径回転杭の鉛直地盤抵抗のモデル化

以下では、小口径回転杭の鉛直地盤抵抗の各設計パラメーターについて、载荷試験データベースに基づく検討結果とともに提案したモデル化を示す。

4.1 地盤ばね定数および地盤反力係数

小口径回転杭の杭先端の地盤ばねの初期剛性となる地盤ばね定数、および地盤反力係数は式(2)および式(3)により算定する。

$$K_{tv} = k_{tv} A_t \text{ (kN/m)} \quad (2)$$

$$k_{tv} = 5.0 \rho_{gk} E_d D_w^{-3/4} \text{ (kN/m}^3) \quad (3)$$

ここで、 K_{tv} ：杭先端の鉛直地盤ばね定数、 k_{tv} ：杭先端の鉛直地盤反力係数、 A_t ：杭先端の抵抗面積（ m^2 、図5）、 ρ_{gk} ：地盤反力係数に関する地盤修正係数、 E_d ：地盤の変形係数の設計用値（ kN/m^2 ）、 D_w ：羽根外径（m）である。なお、押し込み側と引抜き側で地盤反力係数 k_{tv} は同一であるが、考慮する抵抗面積 A_t が異なっている。また、杭周囲の地盤ばね定数および地盤反力係数は、大口径回転杭の値を準用する。

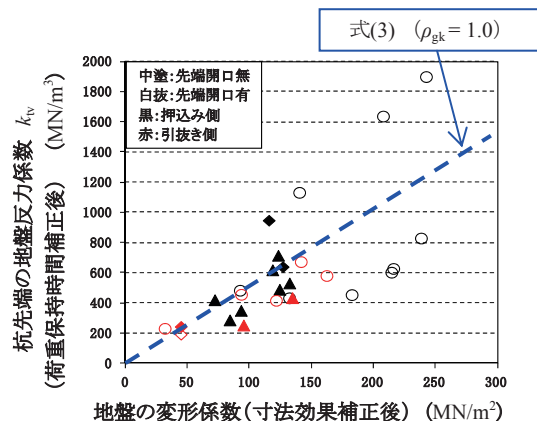


図6 先端の地盤反力係数と地盤の変形係数の関係

載荷試験データベースによる検証結果を図6に示す。横軸が N 値から算定した地盤の変形係数(寸法効果の影響は補正)で、縦軸が載荷試験での実測値であり、先端開口の有無や押し込み側と引抜き側の両方の載荷試験事例をプロットしているが、式(3)が概ね平均値相当の評価となっていることが確認できる。

4.2 基準支持力

小口径回転杭の杭先端の基準支持力は、式(4)～式(6)により算定する。

$$R_{tk} = q_{tk} A_t \text{ (kN)} \tag{4}$$

$$q_{tk} = 100N \leq 6000 \text{ (kN/m}^2\text{)} \tag{5}$$

$$R_{uk} = \pi D_w (\sum \gamma_i l_i + \gamma H / 2) H \beta \tan \phi \text{ (kN)} \tag{6}$$

ここで、 R_{tk} : 基準先端支持力、 q_{tk} : 基準先端支持力度、 A_t : 杭先端の抵抗面積 (m^2 , 図5)、 N : 先端の N 値 (N 値50以上では換算 N 値としてよい)、 R_{uk} : 基準先端引抜き抵抗力、 D_w : 羽根外径 (m)、 γ_i : 支持層より上面までの i 番目の層の土の有効単位体積重量 (kN/m^3)、 l_i : 支持層より上面までの i 番目の層の厚さ (m)、 γ : 支持層の土の有効単位体積重量 (kN/m^3)、 H : セン断破壊域の広がる高さで、支持層への根入れ長さ(上限値は D_w)、 ϕ : セン断破壊域の広がる範囲の内部摩擦角(度)、 β : 引抜き係数である。なお、基準先端引抜き抵抗力 R_{uk} の算定式は大口径回転杭と同一である。また、杭周囲の基準支持力も大口径回転杭の値を準用する。

載荷試験データベースによる検証結果として、先端 N 値と押し込み側の基準先端支持力度の関係を図7に、杭周囲抵抗も含めた杭頭での基準支持力の実測値と設計用値の関係を図8に示す。

式(5)は載荷試験データベースから経験的に設定したものであるが、図7で確認できるように実測値を概ね下限側で評価できていることがわかる。また、最終的な支持力照査を行う杭頭での基準支持力でみても、引抜き側も含めて図8に示すように概ね下限側を評価できている

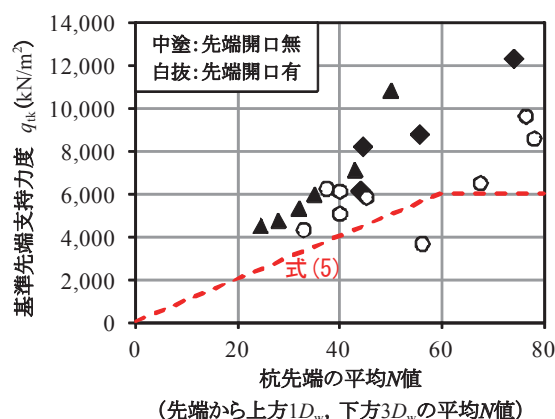


図7 基準先端支持力度と N 値の関係

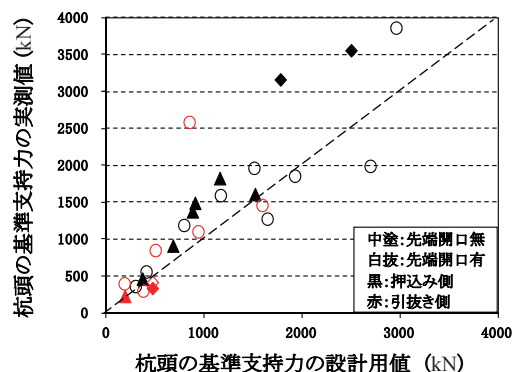


図8 杭頭での基準支持力の設計用値と実測値の関係

ことが確認できる。

4.3 地盤修正係数および地盤抵抗係数

載荷試験データベースの各基準変位における実測値を上述した基準支持力の設計式で正規化した値を統計処理した結果を表4に示す。ここで先端開口の有無の取扱いとして、開口有りの場合には開口部の閉塞効果が完全には発揮されていないことを考慮し、安全側に評価するため先端抵抗の押し込み側では開口有りの統計値を採用した。一方、先端抵抗の引抜き側では開口有無で羽根直上

表4 小口径回転杭の載荷試験データベースの統計処理結果

載荷方向	統計値	周面抵抗				先端			
		基準変位①	基準変位②	基準変位③	基準変位④	基準変位①	基準変位②	基準変位③	基準変位④
押し込み側	有効データ数 n	13 個	13 個	13 個	10 個	11 個	11 個	10 個	10 個
	平均値 μ	0.87	0.85	0.93	0.90	0.69	0.80	1.04	1.35
	変動係数 COV	54%	57%	45%	37%	29%	27%	21%	24%
引抜き側	有効データ数 n	8 個	8 個	8 個	7 個	10 個	10 個	9 個	8 個
	平均値 μ	0.55	0.54	0.54	0.50	0.93	1.07	1.57	1.67
	変動係数 COV	51%	47%	51%	67%	90%	84%	66%	58%

※ 表2のデータのうち羽根外径が杭径の1.75倍未満および2.25倍超のデータは統計処理の母集団から除外している

※※ 基準変位①～④は表3による

特集：構造物技術

の地盤を緩める影響の違いは比較的小さいものと考え、開口の有無を区分しない全データの統計値を採用した。なお、先端開口の有無による統計値の違いは文献⁹⁾を参照されたい。また、杭の周面抵抗については、開口無しの方が施工により杭周面地盤を乱す影響が大きいと考えられることを考慮し、開口無しの統計値を採用した。

これらの統計値から提案した地盤修正係数を表5に、地盤抵抗係数を図9に示す。

5. おわりに

本論文では、施工性に優れた小口径回転杭工法について、基礎標準に準じた信頼性設計法に基づく設計モデル

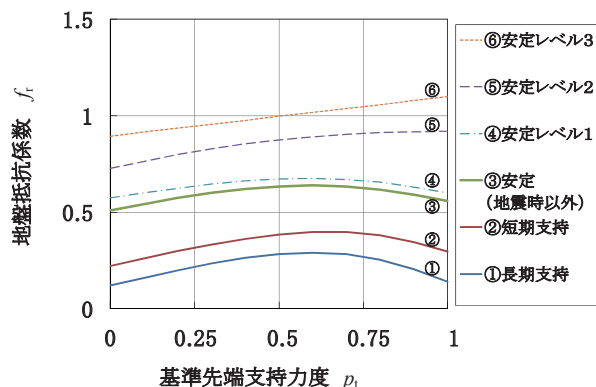
を提案した。本成果を活用することで、特に狭隘な場所や軌道に近接する場所など厳しい施工条件となる場合の基礎形式の検討において、小口径回転杭を活用して設計・施工の合理化が期待される。

なお、小口径の回転杭工法については多種多様な工法が存在するが、施工方法および施工管理方法が異なれば、実際の支持力特性も差が生じる。本論文に示した算定式は、表1および図2に示す4工法^{4)~7)}の実際の載荷試験データから統計的に求めたものであり、これら以外の工法に準用することはできないことに注意されたい。また、実務適用に際しての構造細目や適用上の留意点については、文献¹⁰⁾も参照されたい。

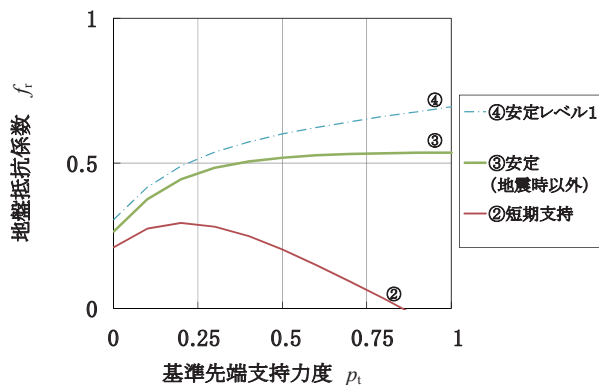
文 献

表5 小口径回転杭の先端の地盤修正係数

		押込み側	引抜き側
降伏支持力に関する 地盤修正係数 ρ_{gy}	先端	0.6	1.1
	周面	0.8	0.5
終局支持力に関する 地盤修正係数 ρ_{gu}	先端	1.1	1.7
	周面	0.9	0.5



(a) 押込み側



(b) 引抜き側

図9 小口径回転杭の地盤抵抗係数

- 1) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物，丸善，2012
- 2) 清水克将，山田聖治，西岡英俊，高田啓一，和田昌敏，岸田慎司：鋼管群杭を用いた線路上空建築物の設計手法，鉄道総研報告，Vol.28，No.8，pp.35-40，2014
- 3) 鉄道総合技術研究所編：線路上空建築物（低層）構造設計標準 2009，鉄道建築協会，2009
- 4) 一般土木工法・建設技術審査証明報告書：小径 NS エコパイル工法（小径回転圧入鋼管杭工法），国土技術研究センター，2013
- 5) 建設技術審査証明報告書：先端翼付き回転貫入鋼管杭「つばさ杭（開端タイプ）」，土木研究センター，2011
- 6) 建設技術審査証明報告書：先端翼付き回転貫入鋼管杭「つばさ杭」，土木研究センター，2011
- 7) 一般土木工法・建設技術審査証明報告書：スクリーパーパイル EAZET 工法（小口径・回転杭工法），国土技術研究センター，2014
- 8) 地盤工学会基準 JGS1811：杭の押込み試験方法・同解説，地盤工学会，2002
- 9) 西岡英俊，山田聖治，澤石正道，市川和臣，小橋弘樹，神田政幸，清水克将，和田昌敏，辻本和仁，高木実：鉄道構造物に用いる小口径回転杭の設計鉛直支持力のモデル化，第 59 回地盤工学シンポジウム論文集，pp.215-220，2014
- 10) 西岡英俊，澤石正道，市川和臣，小橋弘樹：鉄道構造物に用いる小口径回転杭の設計鉛直支持力，日本施設協会誌，Vol.53，No.7，pp.41-43，2015

■ 2015年10月号（特集：構造物技術）の訂正

特集論文の表中の各数値に誤りがありました。

以下のように訂正させていただき、お詫び申し上げます。

【正誤表】

訂正箇所 P. 39「表4 小口径回転杭の載荷試験データベースの統計処理結果」中
押込み側（先端）の各数値

【誤】

表4 小口径回転杭の載荷試験データベースの統計処理結果 網掛部分：訂正箇所

載荷方向	統計値	周面抵抗				先端			
		基準変位 ①	基準変位 ②	基準変位 ③	基準変位 ④	基準変位 ①	基準変位 ②	基準変位 ③	基準変位 ④
押込み側	有効データ数 n	13 個	13 個	13 個	10 個	11 個	11 個	10 個	10 個
	平均値 μ	0.87	0.85	0.93	0.90	0.69	0.80	1.04	1.35
	変動係数 COV	54%	57%	45%	37%	29%	27%	21%	24%
引抜き側	有効データ数 n	8 個	8 個	8 個	7 個	10 個	10 個	9 個	8 個
	平均値 μ	0.55	0.54	0.54	0.50	0.93	1.07	1.57	1.67
	変動係数 COV	51%	47%	51%	67%	90%	84%	66%	58%

※ 表2のデータのうち羽根外径が杭径の1.75倍未満および2.25倍超のデータは統計処理の母集団から除外している

※※基準変位①～④は表3による

【正】

表4 小口径回転杭の載荷試験データベースの統計処理結果

載荷方向	統計値	周面抵抗				先端			
		基準変位 ①	基準変位 ②	基準変位 ③	基準変位 ④	基準変位 ①	基準変位 ②	基準変位 ③	基準変位 ④
押込み側	有効データ数 n	13 個	13 個	13 個	10 個	11 個	11 個	10 個	10 個
	平均値 μ	0.87	0.85	0.93	0.90	0.55	0.63	0.85	1.10
	変動係数 COV	54%	57%	45%	37%	46%	41%	34%	32%
引抜き側	有効データ数 n	8 個	8 個	8 個	7 個	10 個	10 個	9 個	8 個
	平均値 μ	0.55	0.54	0.54	0.50	0.93	1.07	1.57	1.67
	変動係数 COV	51%	47%	51%	67%	90%	84%	66%	58%

※ 表2のデータのうち羽根外径が杭径の1.75倍未満および2.25倍超のデータは統計処理の母集団から除外している

※※基準変位①～④は表3による