

複数羽根を有する回転杭の地盤抵抗モデルに関する一考察

日鐵住金建材 正会員 ○徳岡孝俊 和田昌敏 新日鐵住金 正会員 澤石正道 豊福浩司
 ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 西村昭彦 日野篤志

1. はじめに

近年、土木分野の杭設計方法は荷重変位関係に基づいた性能設計に改定され、設計にあたっては実挙動を再現する応答値の算定が求められている。例えば「平成24年版 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物（以下、H24基礎標準と呼ぶ）」では、杭の非線形挙動を精度よく推定できる地盤抵抗モデルに改められた。ただし、これは一般的な杭工法を対象に示されたモデルであり、複数羽根を有する回転杭（以下、本工法と呼ぶ）¹⁾等の新工法についての適用性は検討されていない。そこで、本研究ではH24基礎標準の考え方を準用して、載荷試験（押込み試験）データに基づき本工法の地盤抵抗モデルを提案する。

2. 地盤反力係数の検討方法と条件

2.1 基準変位量

地盤抵抗モデルとしてH24基礎標準では二次勾配を持つバイリニアモデルが採用され、第1勾配を原点と10mm変位時の荷重を結んだ括線勾配、第2勾配の起点となる降伏支持力を20mm変位時の荷重、終点となる終局支持力を杭径の10%変位時の荷重と定義している。一方、本工法の鉛直支持力は羽根径に依存するため、基準変位量の設定には羽根径 D_w を用いること、本工法の適用範囲は杭径700mm以下、羽根径900mm以下であり、10mm程度の変位で降伏レベルに達する杭径400mm以下の小径杭が多用されているため、小口径回転杭²⁾の地盤抵抗モデルの考え方を参考に、H24基礎標準におけるパラメータの定義に対して、表2.1に示すように基準変位を見直し、図2.1に示す地盤抵抗モデルを定義する。

2.2 載荷試験データの整理

本検討に用いた載荷試験データ（押込み試験）数は9データで、各パラメータは図2.1に示す杭径 D_p が165.2~700mm、羽根径 D_w が300~900mm、羽根ピッチ/羽根の幅 P/B が4.5~10、羽根区間長 L_w が2.4~17mである。これらの試験データから、表2.2に示すようにN値3~19の範囲で杭先端の鉛直地盤反力係数の実測値 k_{fv}^t が24~166MN/m³、またN値2~36の範囲で杭周面の鉛直せん断地盤反力係数の実測値 k_{fv}^t が2.1~372MN/m³となった。ここで、H24基礎標準のパラメータである杭径 D を羽根径 D_w 、杭先端面積 A_t を羽根先端部の円環面積 $A_{w0}=(D_w^2-D_p^2) \cdot \pi/4$ （外径は羽根径 D_w 、内径は杭径 D_p ）、杭周長 U を羽根外周長 $U_w=\pi \cdot D_w$ と本工法では定義し、杭先端

表 2.1 地盤抵抗モデルのパラメータの定義

パラメータ	定義	算出方法 (H24基礎標準)	NSエコスパイラルの基準変位見直し
地盤ばね定数 (地盤反力係数)	バイリニアモデルの第1勾配	鉛直載荷試験における10mm変位時割線剛性の平均値相当	10mmまたは0.01 D_w (D_w :羽根径)の小さい方の値
降伏支持力	バイリニアモデルの折れ点の荷重	鉛直載荷試験における基準変位量20mm変位時荷重の平均値相当	20mmまたは0.02 D_w の小さい方の値
終局支持力	バイリニアモデルの0.1D変位時の荷重	鉛直載荷試験における0.1D(D :杭径)変位時荷重の平均値相当	0.1 D_w
基準支持力	-	鉛直載荷試験における0.1D変位時荷重の下限値相当	0.1 D_w

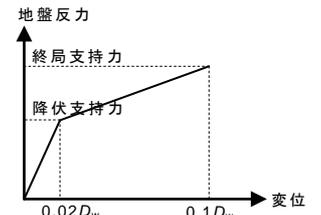


図 2.1 地盤抵抗モデル

の鉛直地盤反力係数は、基準変位時の割線剛性 $k_{fv}^t=q_t/S_0$ （杭先端変位量 S_0 、杭先端支持力度 q_t ）として、杭周面の鉛直せん断地盤反力係数は、基準変位時の割線剛性 $k_{fv}^t=\tau/S$ （各層での区間中点変位量 S 、区間周面抵抗力度 τ ）として求めた。

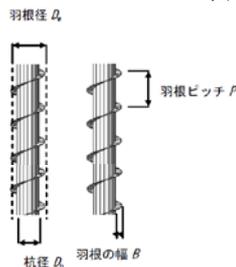


図 2.1 杭の寸法

表 2.2 地盤反力係数の実測値と変形係数(杭先端の場合)

試験ケース	実測値 $k_{fv}^t \times 2/1.5$ (MN/m ³)	土質	N値	Ed =1.0·En/1.0 (MN/m ²)	計算値 k_{fv}^t (MN/m ³)	実測/計算	実測/計算の対数
F165W300-O	46	細砂	5.0	10	25	1.9	0.27
F216W300-O	81	細砂	5.0	10	25	3.3	0.52
OSHI-S	125	細砂	10.0	20	29	4.3	0.63
OSHI-N	82	細砂	10.0	20	29	2.8	0.44
OSHI	147	細砂	10.0	20	34	4.4	0.64
OSHI-L	221	硬質シルト, 中砂	18.5	37	54	4.1	0.61
OSHI-400	32	砂	3.0	6	9	3.6	0.56
OSHI-600	88	細砂	11.0	22	26	3.4	0.53
OSHI-700	105	シルト質粘土	9.5	38	41	2.5	0.41

キーワード 複数羽根, 回転杭, 地盤抵抗モデル, 地盤反力係数, 押込み試験

連絡先 〒135-0042 東京都江東区木場 2-17-12 日鐵住金建材(株) 03-3630-4305

3. 検討結果と考察

3.1 地盤反力係数の評価式

杭の鉛直地盤反力係数は地盤の変形係数と比例関係にあり、杭先端については載荷幅依存性を考慮し羽根径の $-3/4$ 乗 ($D_w^{-3/4}$) に比例、杭周面については載荷幅に依存しないものと仮定して、それぞれの関係を式(3.1)、式(3.2)で表わす。荷重保持時間を補正するため、載荷試験の実測値を 1.5 で除して長期レベルに換算し、その値を 2 倍して (1.33 倍) 短期の作用に対する地盤反力係数の値とする。これら両者の関係を図 3.1 に示すとともに、両者の関係から比例係数 X を実測の地盤反力係数と変形係数の比が対数正規分布となるものとして求めると、杭先端の鉛直地盤反力係数の比例係数は、 $X_{tv} = 3.25$ (対数の平均 $M = 0.512$, 標準偏差 $s = 0.121$)、杭周面の鉛直せん断地盤反力係数の比例係数は、 $X_{fv} = 0.95$ (対数の平均 $M = -0.021$, 標準偏差 $s = 0.212$) となる。

$$k_{tv} = X_{tv} \rho_{gk} E_d D_w^{-3/4} \tag{3.1}$$

$$k_{fv} = X_{fv} \rho_{gk} E_d \tag{3.2}$$

ここに、 k_{tv} ：杭先端の鉛直地盤反力係数(kN/m^3)、 k_{fv} ：杭周面の鉛直せん断地盤反力係数 (kN/m^3)、 X_{tv} , X_{fv} ：比例係数で、 $X_{tv} = 3.25$, $X_{fv} = 0.95$ を提案、 ρ_{gk} ：地盤反力係数に関する地盤修正係数で本検討では 1.0 (短期作用時)、 E_d ：地盤の変形係数の設計用値(kN/m^2)で、 $E_d = \rho_{gE} E_N / \gamma_{gE}$ 、 E_N ：標準貫入試験から得られた N 値から推定される地盤の変形係数(kN/m^2)で砂質土の場合は $E_N = 2000N$ 、粘性土の場合は $E_N = 4000N$ 、 ρ_{gE} ：地盤の変形係数に関する地盤修正係数で本検討では 1.0、 γ_{gE} ：地盤の諸数値に用いる地盤修正係数で本検討では 1.0 とする。

3.2 押し込み試験の再現解析

前節で提案した地盤抵抗モデルを用いて、本工法の押し込み試験の再現解析を行う。1 例として、杭径 400mm、羽根径 600mm、杭長 11m の実測値と H24 基礎標準に準拠して提案した地盤抵抗モデルと以前の基準 (H9 基礎標準) に基づく地盤抵抗モデルによる計算値を図 3.2 に示す。これより、H9 基礎標準に比べ H24 基礎標準に準拠した地盤抵抗モデルによる計算値は、より忠実に載荷試験を再現できるものになっていることが分かる。

4. おわりに

本研究では、H24 基礎標準の考え方を準用し、複数羽根を有する回転杭の地盤抵抗モデルを提案した。本モデルを用いて押し込み試験の再現解析を行った結果、従来の基準に準拠した地盤抵抗モデルに比べ本提案モデルによる計算値は実測の荷重変位関係に近づくことが示された。

参考文献

- 1) 土木学会, 回転圧入鋼管杭 (NS エコスパイラル) の設計施工法に関する技術評価 報告書, 土木学会技術推進ライブラリーNo.13, 2013
- 2) 西岡英俊, 山田聖治, 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鉛直地盤抵抗のモデル化, 鉄道総研報告 Vol.29, No.10, pp.35-40, 2015

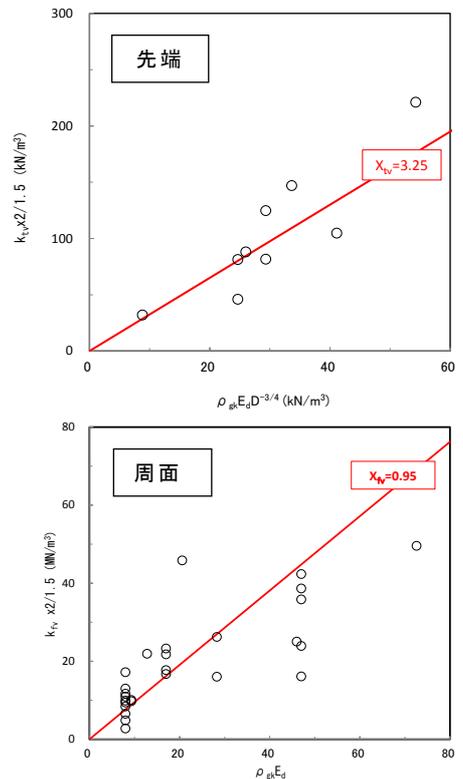


図 3.1 地盤反力係数の実測値と変形係数との関係

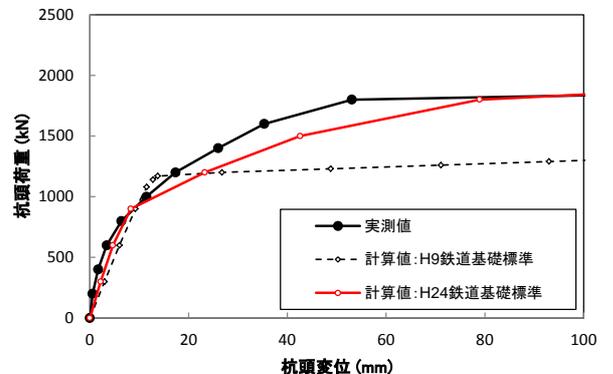


図 3.2 押し込み試験の再現解析結果