

改良体造成を加えた回転貫入杭の支持力特性に関する 3 次元 FE 解析

株式会社ケー・エフ・シー 正会員 渡邊 直人
 株式会社ケー・エフ・シー 正会員 奥野 稔
 株式会社ケー・エフ・シー 正会員 井上 武
 株式会社ケー・エフ・シー 加藤 健人
 五大開発株式会社 正会員 ○ 鱸 洋一
 九州大学大学院 正会員 ハザリカ ヘマンタ

1. はじめに

前報⁴⁾は、従来の回転貫入杭に対して、グラウト注入を併用することで、改良効果及び支持力特性の検討を行ったものである。その中で、「支持層底部改良型」²⁾は主に、従来の回転貫入杭の杭先端および周辺部にグラウト注入を実施することにより支持力特性の改良を行ったものである。さらに「改良体造成型」⁴⁾は、回転貫入後、鋼管に回転を与えながらグラウトを注入することにより、支持層及び中間層に均等な改良体を造成することが可能となった。加えて、杭先端部にグラウトを確実に注入する目的で垂直に爪をつけ、回転貫入と同時に掘削し、安定的な支持力確保を得るに至った。一方、既報³⁾は、これらの改良に対する支持機構を解析的に検証するために 3 次元弾塑性 FEM を用いてモデル化を行い、現地試験の再現解析および改良効果の比較検討解析を行ったものである。その報告においては、改良体造成型杭の支持力発現メカニズムとして 3 つの要因に着眼した。それらは 1) 杭周囲の改良体造成による下羽根の変形抑制、2) 杭周囲の改良体造成による地盤との摩擦増加、3) 杭先端形状改良による支持層への荷重伝播機構の変化である。

この内、既報³⁾にて、1)下羽根の変形が抑制されることにより支持力が増加することを数値解析的に確認した。本報告では前報⁴⁾での杭先端改良による検討結果を受け、3)杭先端形状改良の効果について数値解析的検証を行ったものである。

2. 解析概要

(1) 3 次元弾塑性 FEM における再現性検討に用いた事例は、従来型と改良体造成型であり、どちらも静的載荷により実施された試験である。

(2) 従来型は削孔長 5.0m、支持層貫入長 0.5m、羽根設置位置は先端部のみであり、杭先端は開端で杭内への土砂の流入を許す構造となっている。

(3) 改良体造成型は削孔長 4.0m、支持層貫入量 1.0m、改良長 3.0m、羽根設置位置は先端部および中間位置の上下 2箇所である。杭先端は閉端であり、また、杭先端中央部に爪を配置し支持層に、グラウト注入により杭荷重を伝達するよう改良された機構である。その内、ImB1 は、支持層設置面において凹型、ImB2 は凸型を示す。さらに、ImB2 は、ImB1 に比較し、支持層における掘削貫入量が多くなっている⁴⁾。

解析モデルを図 1～3 に示す。全要素数は 15,930、全節点数は 17,730 である。また、解析に用いた物性値を表 1,2 に示す。

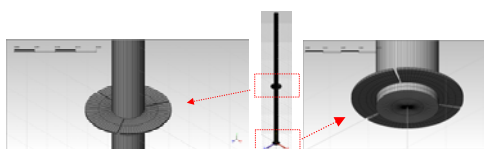


図 1 羽付き回転貫入杭の要素分割図
(左：上羽根 φ300 右：下羽根 φ204)

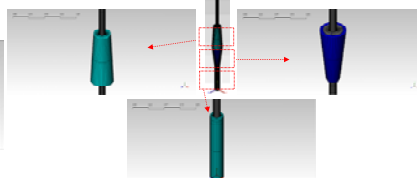


図 2 改良体の要素分割図(左：上羽根上部、
右：上羽根下部、下：下羽根上部)

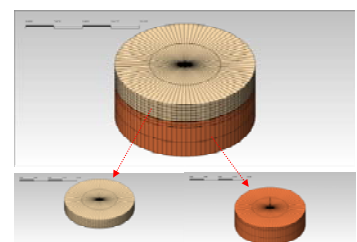


図 3 地盤の要素分割図(上：地盤全体、
左下：中間層部分、右下：支持層部分)

キーワード 回転貫入杭，支持力，3 次元 FE 解析

連絡先 〒452-0011 愛知県清須市西枇杷島町城並 2 丁目 4 番 10 号 (株)ケー・エフ・シー TEL 052-509-4665

構成モデルとしては、鋼材には von Mises 弾塑性体、グラウト・改良体には Mohr Coulomb 弾塑性体、地盤材料には弾性係数の非線形性を考慮できる Duncan Chang 非線形弾性モデルを用いた。Duncan Chang モデルは軸差応力と接線弾性係数の関係として次式で定義されており、双曲線による応力 - ひずみ関係の非線形性と拘束圧による剛性変化の変化を考慮出来るモデルである。

$$E_i = K Pa \left(\frac{\sigma_3}{Pa} \right)^n \left[1 - \frac{R_f (\sigma_1 - \sigma_3)(1 - \sin \phi)}{2 \sigma_3 \sin \phi + 2 c \cos \phi} \right]^2 \quad (1)$$

ここで、 K は初期弾性係数を規定する定数、 n は弾性係数の拘束圧依存性を規定する定数、 R_f は破壊比、 Pa は大気圧であり、 $K=0.02 E_i$ 、 $n=0.8$ 、 $R_f=0.75$ を用いた。

3. 再現解析結果

図 4 に杭頭荷重 [kN] と杭頭変位 [mm] の関係を示す。図中、赤線が従来型杭の実測値、および解析値であり、青線が改良体造成型杭の実測値および解析値である。

概ね従来型杭の解析値は実測値の傾向を捉えており、杭頭変位が下羽根外径の 10% に到達した杭頭荷重の評価値¹⁾においても差異は 5% 以内に収まっていることから、本解析は実測値に対して再現性ある結果であると判断できる。ただ、改良体造成型杭の解析値は 400kN あたりから過大評価となっているが、これは現地試験では、杭頭へ载荷を行う際の、偏心による影響と考えられる。

4. 極限支持力増加に対する解析的検討

図 5 に杭先端改良機構の異なる、4 種類の杭頭荷重 [kN] と杭頭変位 [mm] の解析値における関係を示す。

- ・ 支持層底部改良型は、従来型に比べ支持力が若干増加し、(169kN→178kN)、特に、初期の接線勾配が高くなる傾向にある。
- ・ 改良体造成型においては、ImB2 の方が、ImB1 に比べ、杭頭変位が下羽根外径の 10% に到達した杭頭荷重の評価値¹⁾において 100kN ほど支持力が増加する。

以上は、前報⁴⁾の実測値とも一致する傾向が認められ、これらのことから杭先端の改良が支持力増加に起因していることが数値解析的にも確認されたものと考えられる。

5. まとめ

羽根付き回転貫入杭において、杭先端の改良が支持力増加に貢献することが現地試験などにより確認されているが、本報告により、それを数値解析的にも確認することができた。これによると杭先端部へのグラウト注入で地盤改良を行うだけでなく、併せて杭先端に爪を付け支持層を回転貫入と同時に掘削し、支持層へ荷重を直接伝達する機構の効果が大きいことが示されたものと考えられる。

参考文献

- (1) (社)地盤工学会：杭の鉛直载荷試験方法・同解説（第一回改訂版），2002。
- (2) 渡邊ら：杭先端改良型回転貫入杭の载荷試験，土木学会第 64 回年次学術講演会，2009。
- (3) 渡邊ら：地盤改良を併用した回転貫入杭の支持力特性に関する 3 次元 FE 解析，地盤工学会第 46 回地盤工学研究発表会，2011。
- (4) 渡邊ら：改良体造成を加えた回転貫入杭の载荷試験及び支持力特性，土木学会第 66 回年次学術講演会，2011。(投稿中)
- (5) Duncan, J. M. and Chang, C. Y.: Nonlinear analysis of stress and strain in soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 96(SM5), pp.1629-1653, 1970。

表 1 鋼材物性一覧

	単位体積重量 [kN/m ³]	ヤング率 [kN/m ²]	ポアソン比 [-]	降伏応力 [kN/m ²]	備考
パイル (STK400)	77.0	2.0×10^5	0.3	235,000	von Mises 弾塑性体
下羽根 (STK400 加工)	77.0	2.0×10^5	0.3	235,000	von Mises 弾塑性体
上羽根 (溶接取付)	77.0	2.0×10^5	0.3	235,000	von Mises 弾塑性体

表 2 地盤物性一覧

	単位体積重量 [kN/m ³]	ヤング率 [kN/m ²]	ポアソン比 [-]	粘着力 [kN/m ²]	内部摩擦角 [°]	備考
中間層地盤	17.0	8.4×10^4	0.35	0.0	28.0	Duncan Chang モデル
支持層地盤	19.0	8.4×10^4	0.30	0.0	37.0	Duncan Chang モデル
擾乱地盤	17.0	2.8×10^4	0.35	0.0	28.0	Duncan Chang モデル
充填グラウト	18.0	1.7×10^5	0.167	3.0×10^4	0.0	Mohr Coulomb 弾塑性体
改良体(グラウト)	18.0	1.7×10^5	0.167	3.0×10^4	0.0	Mohr Coulomb 弾塑性体
改良体(砂+グラウト)	17.0	2.0×10^5	0.30	3.3×10^4	0.0	Duncan Chang モデル

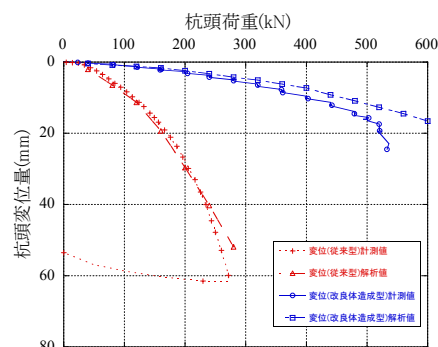


図 4 杭頭荷重と杭頭変位関係
(赤：従来型杭，青：改良体造成型)

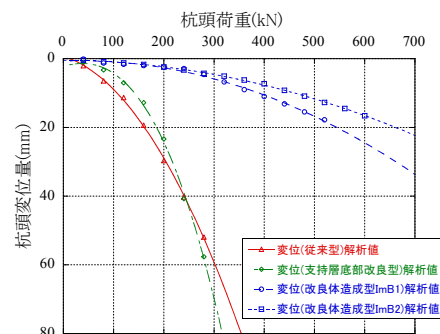


図 5 杭頭荷重と杭頭変位関係(解析値)
△：従来型杭，◇：支持層底部改良型杭，○：改良体造成型(ImB1)，□：改良体造成型(ImB2)