

鋼管回転杭の応力可視化に関する研究

松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 学生会員 ○榎野泰河
 松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員 大屋 誠
 新日鉄住金エンジニアリング 正会員 澤石正道
 新日鉄住金エンジニアリング 徳岡孝俊

1. はじめに

近年、杭基礎の施工において、支持層まで杭が到達していない事例や施工時にデータを改ざんする問題が発生し、杭施工の信頼性・安全性への関心が高まっている。杭基礎には、種々の種類があるが、図1に示すように、先端に羽根を設けた鋼管²⁾を回転させることにより、地盤中に貫入させる回転杭が、施工時の建設残土の処理や騒音・振動の問題などの環境的・社会的な問題を解決する施工法として期待されている。また、杭先端の羽根を介して支持層へ荷重を伝達することから、大きな押し込み支持力や引き抜き抵抗力を有する杭として期待されている。このような利点を持つ鋼管回転杭だが、施工時の信頼性、安全性を高めるためには、施工時の杭体の状況を適切に把握することが重要である。

そこで本研究では、回転貫入型の鋼管杭の杭体を3次元でモデル化し、施工時に作用する荷重や境界条件を考慮し、有限要素解析により施工時の杭体の応力状態を再現することを試みる。

2. 鋼管回転杭の数値シミュレーション

2.1 解析モデルと解析方法

本研究では施工時の状況を再現するために、杭が支持層や岩などの硬い物質に接触し、杭の羽端部が固定された状況を想定することとする。構造物の数値モデルとして、実際の回転杭の施工状況を表現するための最適な境界条件、荷重・荷重条件について検討し、解析モデルを構築した。杭の材料としてはSTK-490を用い、解析に用いた材料諸元を表1に示す。ソルバーとして、解析時に荷重の大きさや向きを変化させながら載荷することが可能で、弾塑性解析まで対応可能なAutodesk Simulation mechanicalを用いた。

2.2 メッシュサイズと境界・荷重条件の設定

有限要素法を用いて構造物の数値シミュレーションを行う場合、解析精度を高めるためには、モデル化の誤差と数値解析誤差を念頭において解析を行わなければならない。これらの誤差を最小にするためには、実現象を再現可能な適切な境界条件、荷重条件の設定と適切なメッシュ分割が必要である。本研究では回転杭の解析を行うにあたり、周辺土圧や施工重機による拘束がない場合に、先端羽根部の固定と単純な荷重設定では、実際の施工時の許容トルクに比べ、かなり低いトルクで、杭内部に降伏する部位が生じる結果となった。このことから、施工過程を再現する解析条件の検討として、(1)接線方向以外の変形を小さく抑えること、(2)杭の貫入を考慮し、杭頭部に設置したコマの側面に貫入圧力が常に垂直に働くように圧力を作用させることを考慮することとした。再現度の判断基準は、これまでの試験施工や施工実績などからある程度のトルクまでは先端部に応力が集中すること、良好な砂質地盤において許容回転トルク(176kN・m)程度で応力集中部が降伏応力に達することを判断基準とした。決定した境界条件、荷重条件を図2に示す。境界条件は、先端羽部の端部を固定、杭鋼管部に接線方向のみに変形を許したピン固定、載荷用コマ部に貫入圧力を載荷、杭鋼管部への側面圧力を想定し、強制変位を適用した。また、解析精度と解析時間を考慮し、メッシュ数を7000要素程度と決定した。

表1 解析に用いた STK-490 の材料諸元

ヤング率	(N/mm ²)	200000
ポアソン比		0.29
ひずみ硬化係数	(N/mm ²)	2000
降伏応力	(N/mm ²)	345

キーワード 鋼管回転杭, 有限要素解析, 弾塑性

連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4 松江工業高等専門学校 TEL 0852-36-5268

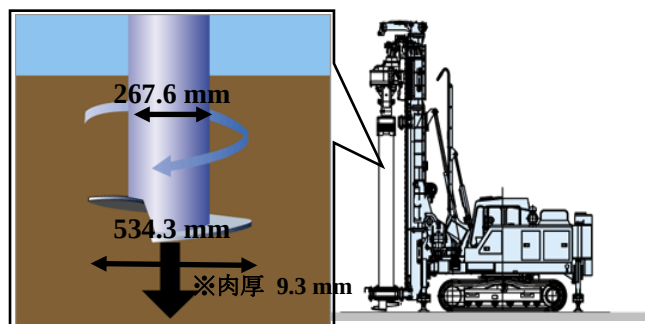


図1 鋼管杭形状の特徴と施工の様子

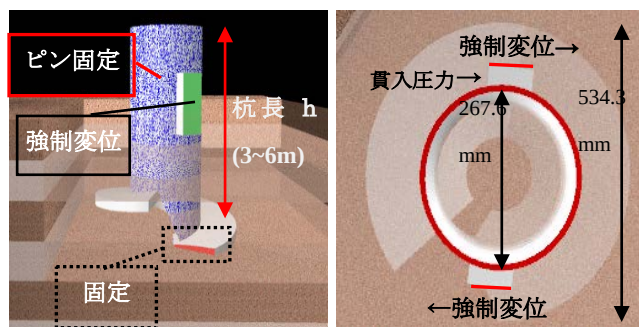
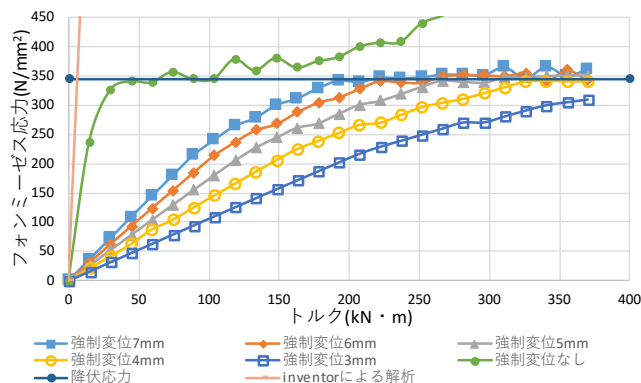


図2 解析モデルの概要と境界条件

図3 杭長 $h=3\text{m}$ での各解析条件における杭体内

最大応力とトルクの関係

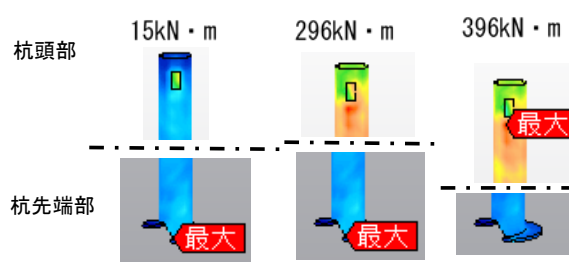


図5 杭長 6m 強制変位 6mm の最大応力発生位置

杭頭部

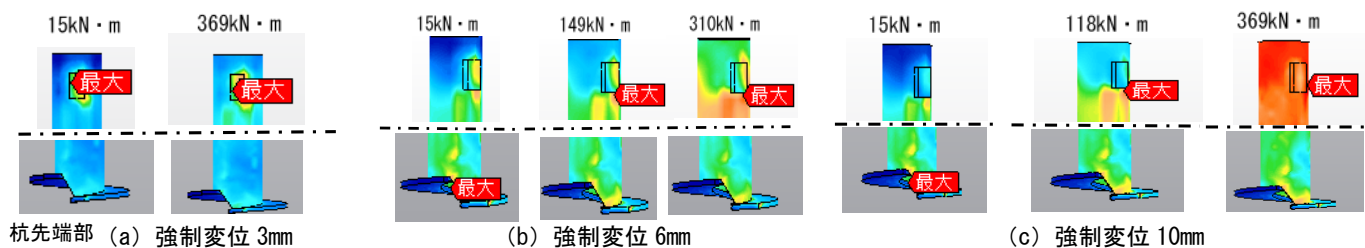


図4 杭長 3m での各強制変位における最大応力発生位置の変化

3. 解析結果と考察

杭長 3m を対象に、Inventor による解析では、杭の施工過程に配慮した荷重載荷ができず、杭先端の固定のみで解析を行った場合、約 $10\text{ kN}\cdot\text{m}$ と非常に小さなトルクで杭体内が降伏応力に達する結果となった。解析ソルバーを Simulation mechanical に変更し、側面の変位拘束、強制変位の導入及び荷重載荷方向の改善を行い解析した結果を Inventor の結果と合わせて図 3 に示す。地盤による側圧や粘性抵抗などに相当すると思われる強制変位の違いで杭体内の応力状態が大きく変化することが分かる。図 3 より、杭体の変形を 7mm 許容した場合、許容回転トルクに近い値で杭体内の最大応力が降伏応力に達している。

図 4 に強制変位を変化させた場合の杭体内の最大応力の発生位置を示す。回転トルクが小さい場合には、杭先端の断面が小さい部分に最大応力が生じ、トルクが大きくなるとコマの周辺で大きな応力が発生している。強制変位が小さい場合にはトルクが小さい段階で

コマ部分に応力が集中する結果となった。図 5 に強制変位 6mm で、部材長が 6m の場合の応力状態を示す。3m に比べかなり大きなトルクまで杭先端に最大応力が生じ、降伏応力に達するあたりで杭頭部のコマ部分が最大となっている。

4. まとめ

鋼管回転杭を 3 次元の有限要素解析により、杭体内の施工時における応力状態を解析した。強制変位により地盤の状態を模擬的に表現した。本解析結果から、現場における破損の状況から想定される杭体内の応力状態をある程度表現できたと考えられる。

参考文献

- 1) 特集 杭の支持層確認と支持力評価, 基礎工, Vol.32 No.6(2014).
- 2) (財) 国土技術研究センター, 小径 NS エコパイル工法 (小径回転圧入鋼管杭工法) 建設技術審査証明事業 (一般土木工法) 報告書, 平成 25 年 1 月.