

# 縦型回転式攪拌混合処理工法における改良杭の先端貫入量に関する地盤物性の影響

東北大学  
東北大学  
小野田ケミコ（株）  
小野田ケミコ（株）  
小野田ケミコ（株）  
東北学院大学

非会員  
正会員  
非会員  
非会員  
非会員  
正会員

○ 八木澤 結  
山川 優樹  
竹田 敏彦  
松井 倫嗣  
山根 行弘  
山口 晶

## 1. はじめに

スラリー攪拌混合処理工法の一つとして、縦型回転式攪拌混合処理工法<sup>1)</sup>がある。これは、攪拌翼が縦回転しながら地盤に貫入し、改良材と混合しながら改良杭を造成する工法である。

この工法では改良杭の水平断面形状が円形ではなく矩形となり、様々な形状比の矩形断面の改良杭を造成可能で、これを配置することにより杭式改良や格子式改良などを効率的に施工可能であるなどの利点がある。一方、改良杭の先端形状が半円形の尖状となる。そのため、平面載荷を前提とした一般的な支持力公式に基づいて適切な支持力を確保しようとする、改良杭の先端を支持層に貫入して施工する必要がある。支持層への先端貫入が支持力の向上に寄与することも考えられ、それを考慮に入れることにより適切な先端支持力を確保するために必要な先端貫入量を合理的に設定できる可能性がある。先端貫入が支持力に及ぼす影響は佐山ら<sup>2)</sup>によって検討されているが、地盤物性の影響は十分に検討されていない。

本研究では、改良体の先端形状および先端貫入深さが支持力に与える影響を調べるため、弾塑性有限要素解析による支持力解析を行い、適切な支持力を確保するのに必要な先端貫入量を評価した。また、支持層の地盤物性の影響を検討した。

## 2. 解析の概要

本研究では、3次元六面体20節点2次要素で、Mohr-Coulombモデルを用いた弾塑性解析を行った。

### (1) 解析モデルの形状

解析モデルとして、図-1に示すように先端部がフラットな改良杭を支持層に着底させた先端フラットモデルと、先端部が半円形の改良杭を支持層に所定の深さだけ貫入させた先端円形モデルの2種類を用いた。図-2に先端円形モデルの模式図を示した。初期先端貫入深さは、 $d = 15\text{ cm}, 35\text{ cm}, 55\text{ cm}, 75\text{ cm}$ の4ケースとした。また、改良杭幅は、標準型の攪拌翼径を想定して  $W = 1.5\text{ m}$  とし、改良杭長は上部層厚さ  $H$  の最低改良厚である  $1.5\text{ m}$  および  $5.0\text{ m}$  の2ケースとした。上部層は有限要素でモデル化せずに、単位体積重量： $\gamma = 16\text{ kN/m}^3$ として上部層厚さ  $H$  の地盤自重に相当する上載圧  $\gamma H$  を支持層に作用させて上部層厚さの影響を考慮した。ただし、この方法では上部層の地盤強度や改良杭との周辺摩擦の寄与分は考慮されないことに注意を要する。

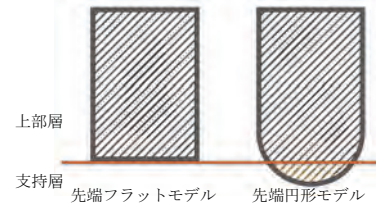


図-1 改良体の概略図

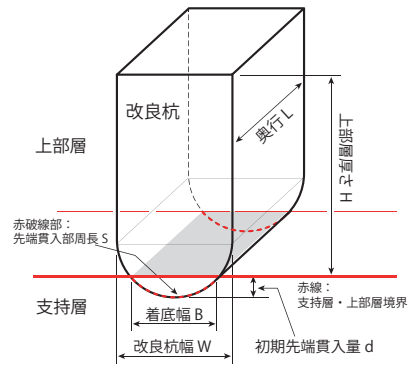


図-2 先端円形モデルの模式図

表-1 材料定数

	改良杭	支持層
単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	16	20
ヤング率 $E$ (MPa)	180	56
ポアソン比 $\nu$	0.26	0.33
粘着力 $c$ (kPa)	500	30 ~ 80
内部摩擦角 $\phi$ (度)	0	0 ~ 25

### (2) 材料定数

改良杭、支持層ともに Mohr-Coulomb モデルを用いて弾塑性体としてモデル化した。改良杭の材料定数は本研究を通して同一の値を用いた。一方、支持層の地盤物性の影響を調べるため、支持層の粘着力  $c$  と内部摩擦角  $\phi$  を様々に変化させて解析を行った。それぞれの材料定数を表-1に示す。

## 3. 解析結果と考察

### (1) 初期先端貫入量 $d$ を変化させた解析結果

支持層の内部摩擦角を  $\phi = 0^\circ$ 、粘着力を  $c = 30 \sim 70\text{ kPa}$  として、初期先端貫入量  $d$  を変化させて解析した結果を図-3に示した。沈下変位  $0\text{ cm}$  のときに荷重が  $0\text{ kN}$  でないのは、改良杭の重量を含んだ荷重を横軸に示しているのに対して、改良杭の重量が支持層に作用している状態を沈下変位の原点としているためである。

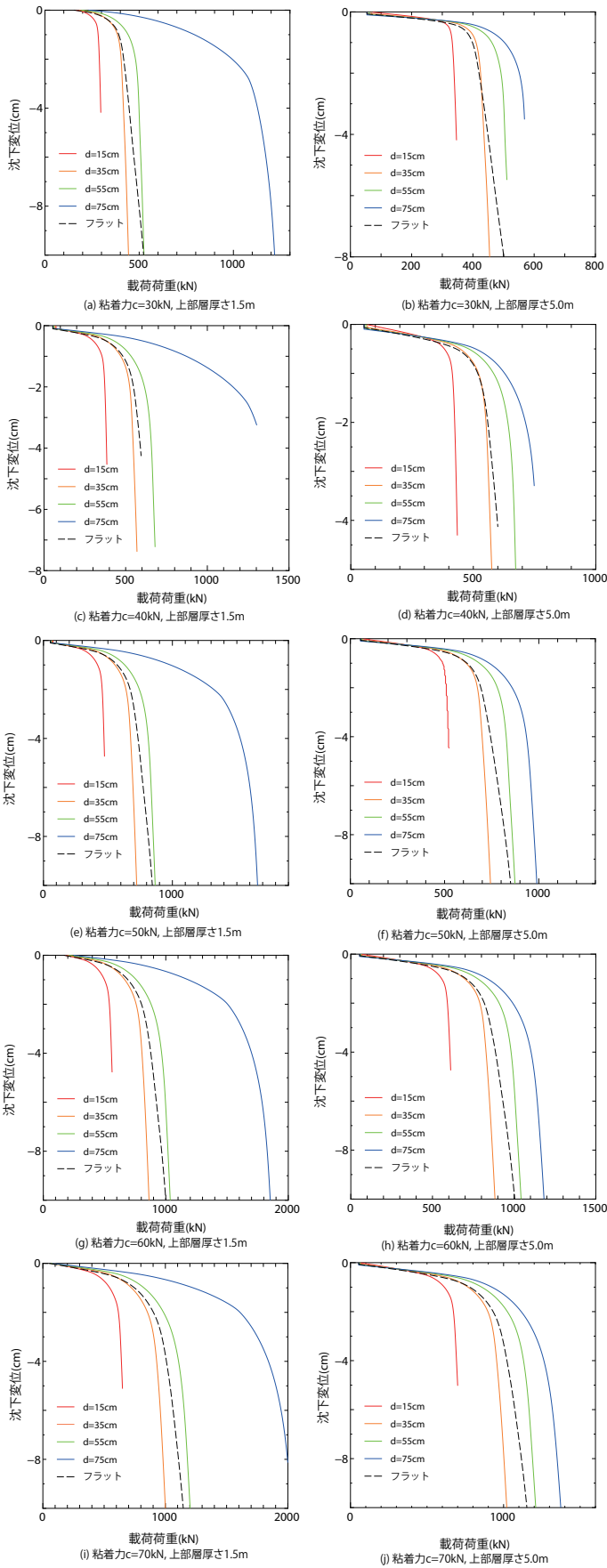


図-3 荷重-変位関係（支持層の内部摩擦角： $\phi = 0^\circ$ ）

荷重-変位曲線から降伏支持力を求め、先端円形モデルで先端フラットモデルと同等の降伏支持力となるような先端貫入量を求めた。これを等価初期先端貫入量  $d^*$  と呼ぶこと

にする。この際、荷重-変位曲線において曲率が最大となる点を降伏支持力に対応する点として評価した。

## (2) 降伏支持力での比較結果

前節で述べた降伏支持力での比較結果を上部層厚さ  $H$  ごとに図-4に示した。同図より、上部層厚さ  $H$  や支持層の粘着力  $c$  によらず  $d = 35 \text{ cm}$  付近で先端フラットモデルと同等の降伏支持力を示していることがわかる。つまり、今回検討した粘着力の範囲では、等価初期先端貫入量はおおよそ  $d^* = 35 \text{ cm}$  と評価される。

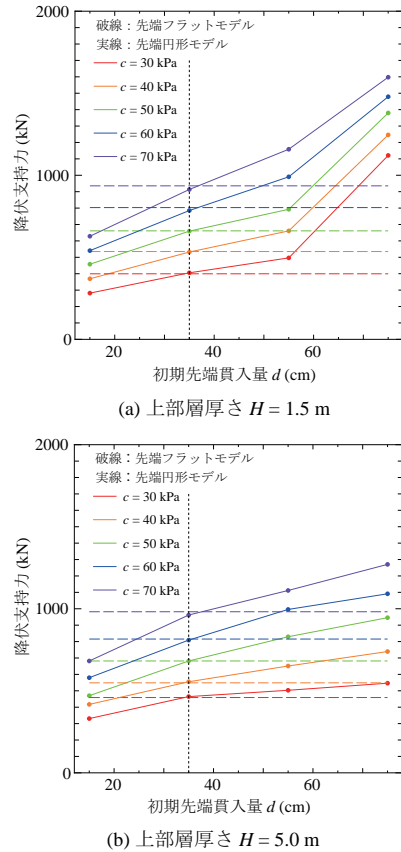


図-4 降伏支持力と初期先端貫入量  $d$  の関係

## 4. まとめ

今回検討した粘着力  $c = 30 \sim 70 \text{ kPa}$  において先端円形モデルの先端部をすべて支持層に貫入させる必要はなく、先端貫入量おおよそ  $d = 35 \text{ cm}$  で先端フラットモデルと同等の支持力を確保することができるという結果が得られた。現在、支持層の内部摩擦角  $\phi$  の影響について検討中である。

今回の解析では、主に先端支持力に着目して上部層の自重相当の上載圧を支持層上面に作用させて上部層厚の影響を考慮した。しかし、実際には周辺摩擦や上部の地盤強度の寄与もあると考えられ、さらに先端貫入量を少なくすることも考えられるため、これらを考慮に入れた解析を行う必要がある。

## 参考文献

- ツイン・ブレードミキシング工法研究会：中層混合処理工法「ツイン・ブレードミキシング工法」資料。
- 佐山拓海, 山川優樹, 竹田敏彦, 松井倫嗣, 山根行弘, 山口晶: 縦型回転式攪拌混合処理工法における改良杭の先端貫入量に関する数値解析的検討. 第15回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 57-62, 2022.