

縦型回転式攪拌混合中層処理工法による改良体の先端形状と地盤特性の支持挙動への影響

東北大学 学生会員 ○佐山 拓海
 東北大学 正会員 山川 優樹
 小野田ケミコ（株） 非会員 竹田 敏彦
 小野田ケミコ（株） 非会員 松井 倫嗣
 小野田ケミコ（株） 非会員 山根 行弘

1. はじめに

地盤改良工法の一つとして、縦型回転式攪拌混合中層処理工法¹⁾がある。これは、先端部の左右両側に取り付けた攪拌翼を鉛直回転させる専用攪拌装置により、先端部から吐出する固化材スラリーと改良対象土を攪拌混合し改良体を作成する工法である。

縦型回転式攪拌による中層混合処理工法は、改良体の水平断面形状が円形ではなく矩形となるため、矩形体形状の選択ができ、効率的に連続配置した施工が可能である。一方、改良体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、支持層に対して改良体を貫入して施工する必要がある。その際、施工コスト効率化のためには、支持力を有効に発揮できる先端貫入深さを把握することが重要である。

しかし、改良体の先端形状や地盤特性が支持力に与える影響は十分に検討されていない。そこで本研究では、改良体の先端形状および地盤特性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検討を行った。

2. 解析モデルの概要

本研究では、2次元四辺形8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

解析モデルとしては、図-1に示すように、先端部がフラットな改良体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体を支持層に貫入させた先端円形モデルに加えて、先端円形モデルの先端を支持層に貫入させない先端円形フラットモデルの3種類を用いた。図-2に、先端円形モデルの概略図を示した。

先端貫入深さは、15 cm, 35 cm, 55 cm, 75 cmの4ケースとした。また、改良体幅は、標準型の攪拌翼径を想定し1.5mとし、改良体長は縦型回転式攪拌混合中層処理工法の最低改良厚である1.5mおよび5.0mの2ケースとした。上部層の上載圧（単位体積重量： $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ ）を考慮し、それぞれのケースに24 kN/m², 80 kN/m²の上載圧を支持層の上面に作用させた。

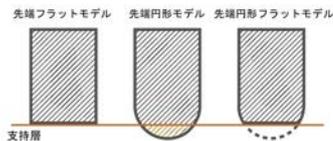


図-1 解析モデル図

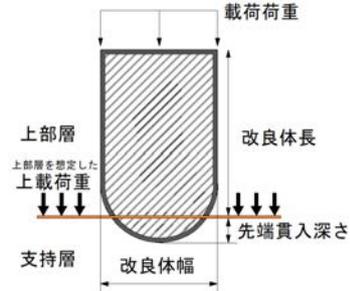


図-2 改良体の概略図

(2) 改良体と地盤の材料定数

改良体、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。改良体の材料定数は本研究を通して同一なものを用いた。支持層は、一般土、粘性土、砂質土を想定した3種類の材料定数を用いた。材料定数による挙動の違いを確認するため、粘性土においては粘着力を、砂質土においては内部摩擦角を変化させた解析を行った。それぞれの材料定数を表-1に示す。

表-1 改良体と地盤の材料定数

	改良体	支持層 (一般土)	支持層 (粘性土)	支持層 (砂質土)
単位体積重量 γ (kN/m ³)	16	20	20	20
弾性係数 E(kN/m ²)	180,000	56,000	56,000	56,000
ポアソン比 ν	0.26	0.33	0.33	0.33
粘着力 c(kN/m ²)	500	40	40,50,60,70	1
内部摩擦角 ϕ (度)	0	0,10,20,30	0	10,15,20,25

3. 解析結果と考察

(1) 先端フラットモデルの精度検証

有限要素解析の精度検証として、Terzaghiの支持力公式

$$q_u = \alpha c N_c + \beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D_f N_q \quad (1)$$

による算定値との比較を行った。支持力公式で想定している載荷形態に相当する先端フラットモデルの解析結果を比較対象とした。一般土で改良体長1.5mにおいて、内部摩擦角を変化させた解析結果と、支持力公式(1)で算定した理論解を図-3に示した。2次元平面ひずみ解析であるため、横軸には単位奥行きあたりの載荷荷重 F (kN/m) を示してある。理論解は改良体の重量を考慮し、差し引いたものを用いている。 $\phi = 30^\circ$ の解析では極限支持力を得られなかったため、式(1)による算定値との比較はできないが、 $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ では解析結果との間に大きな誤差は見られず、本研究の有限要素解析が妥当であると判断した。

(2) 一般土の先端支持力の解析結果

一般土で改良体長 1.5 m, 先端貫入深さ 35 cm とし, 上載圧を考慮しない場合について, 内部摩擦角を変化させて解析を行った結果を図-4 に示した。

極限支持力の大きさは, 内部摩擦角の値によらず, 先端フラットモデルの支持力が最も大きかった。先端円形モデルと先端円形フラットモデルはおおよそ同じ支持力を示しており, 先端フラットモデルよりも 2 割程度小さかった。この結果からは, 極限支持力に関する先端貫入の有効性は見られなかった。ただし, 許容支持力(長期許容支持力: 極限支持力/3)の载荷範囲では, 先端フラットモデルと先端円形モデルは, ほぼ同程度の沈下変位を示し, 先端形状による差がないことが確認された。

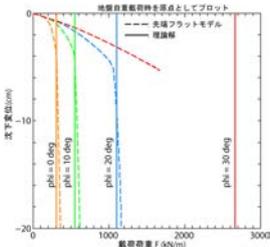


図-3 理論解との比較

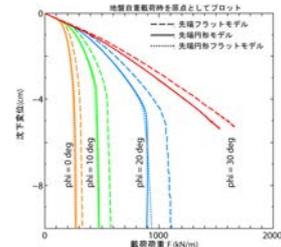


図-4 先端支持力の解析結果

(3) 先端貫入深さを変えた解析結果

先端フラットモデルと同程度の支持力を確保するために必要な先端貫入深さを見出すことを目的として, 粘性土および砂質土の支持層で, 改良体長 1.5 m 及び 5.0 m について, 先端貫入深さの異なる 4 ケースの解析を行った。先端形状が異なる 3 種類のモデルの解析結果を比較したものを, 図-5, 図-6, 図-7, 図-8 に示した。

図より, 先端貫入深さが大きいほど先端円形モデルおよび先端円形フラットモデルの極限支持力は大きくなっており, 先端貫入深さが 55 cm の場合は, それらの極限支持力が先端フラットモデルの極限支持力と同程度の値となっている。さらに, 4 ケース全てにおいて, 先端貫入深さが 75 cm の先端円形モデルの極限支持力は, 先端フラットモデルの極限支持力を上回っており, 先端貫入の有効性が見られた。

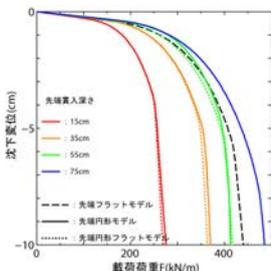


図-5 改良体長 1.5 m(粘性土)

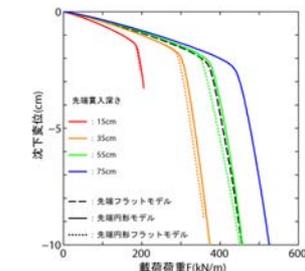


図-6 改良体長 1.5 m(砂質土)

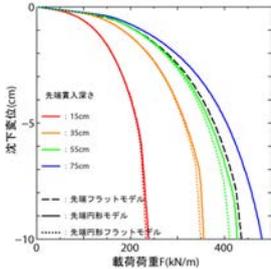


図-7 改良体長 5.0 m(粘性土)

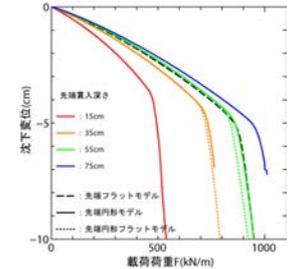


図-8 改良体長 5.0 m(砂質土)

(4) 地盤材料定数を変えた解析結果

前項(3)に示した結果に対して地盤特性が及ぼす影響を調べるため, 先端貫入深さを 55 cm とし, 表-1 に示したように粘性土, 砂質土において材料定数を変化させて解析を行った。粘着力および砂質土の解析結果をそれぞれ, 図-9, 図-10, 図-11, 図-12 に示した。

図より, 4 ケース全てにおいて, 先端貫入深さが 55 cm の先端円形モデルの極限支持力は, 先端フラットモデルの極限支持力と同程度となっており, 地盤材料定数の値による傾向の違いは見られなかった。

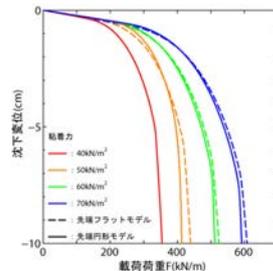


図-9 改良体長 1.5 m(粘性土)

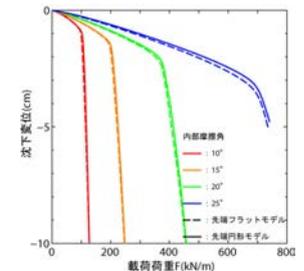


図-10 改良体長 1.5 m(砂質土)

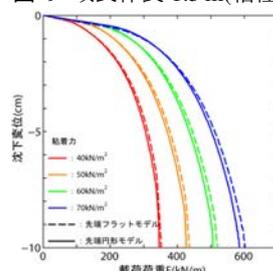


図-11 改良体長 5.0 m(粘性土)

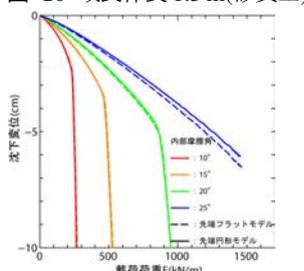


図-12 改良体長 5.0 m(砂質土)

4. まとめ

本研究では, 先端円形モデルと先端円形フラットモデルによる極限支持力の差はあまり見られなかった。

しかし, 先端円形モデルの極限支持力は先端フラットモデルの極限支持力と比較して, 先端貫入深さ 55 cm において同程度, 先端貫入深さ 75 cm において上回り, 先端貫入の有効性が確認された。今回検討した条件においては, 先端フラットモデルと同等の支持力を得るために, 先端部の半円形をすべて支持層へ貫入させる必要はないと考えられる。

また, 地盤材料定数を変えた解析においても上述の傾向は変わらなかった。すなわち, 今回検討した条件においては, 地盤特性によらず, 先端貫入深さ 55 cm の先端円形モデルにおいて, 先端フラットモデルと同程度の極限支持力を得ることができていることが確認された。このことから, 今回想定した粘性土および砂質土と比べて, 大幅な地盤特性の違いがない限り, 同様の傾向を示すと考えられる。

今回の解析では, 上部層の影響は支持層の上面に上載圧を作用させることで再現している。また, 2次元解析であることから, 今後は上部層も含めた解析モデルで3次元解析とし, 実条件に近い解析を行う必要がある。さらに, 改良体の先端周辺地盤の応力と変形の状況を調べることで, 先端形状が支持力挙動へ及ぼす影響とそのメカニズムを明らかにしたい。

参考文献

- 1) 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。