

第56回地盤工学研究発表会

開催日 2021年7月12日(月) - 15日(木)

会場 オンライン



はながれべこちゃん



おいしい山形

ペロリン

山形日和



せでけろくん

置換式締固め固化改良工法（SST工法）の開発と適用事例

地盤改良 置換 締固め固化

芝浦工業大学大学院 ○(学)中尾晃揮・(国)稲積真哉
 エスエスティー協会 (一)飯田哲夫・(一)菊地 稔
 (一)石隈大夢・(一)小松久也

1. はじめに

固化材を地中で攪拌して柱状改良体を構築する従来の地盤改良工法（以降、従来工法と称す）では、セメント等の固化材を地中で攪拌して固結させることで強度が発現されるため、その固結力以上の強度や支持力を期待することが難しい。また、地中の現地土を原位置でそのまま攪拌することから、改良対象地盤の土質（物理的および化学的性質）によって強度の低下も懸念されるため、求められる地盤支持力に応じて改良率を上げて対応せざるを得ず、コストが高くなる課題があった。さらに、現場で固化材を供給するためのプラント設置が必要であり、特殊な攪拌機構を有する大型の施工機械を使用しなければならないため、現場での適用性やコストにおいても課題があった。

上記の課題を解決するため、土粒子間の空隙と水を排除すれば土は固くなる土質力学の基本原理に培い、それを効果的に実現するためには、異なる径の粒子を混合させること、および強い力で粒子同士を圧縮することが重要と考え、締固めながら柱状改良体を築造できる独自の機構である置換式締固め固化改良工法を開発している。そこで、本稿では置換式締固め固化改良工法（以降、SST工法と称す）¹⁾の概要、特長および現場適用性について述べる。

2. SST工法の概要

写真-1はSST工法による施工の様子である。SST工法は土粒子間の空隙と水を排除して密度と強度を高めることを基本原理としたものであり、地盤内に柱状改良体を構築する地盤改良において、従来から一般的に行われてきた地中攪拌方式ではなく、掘削して地上に排出した現地土に固化材とさらに砂も加えることによって異なる径の粒子を混合し、その改良土を新たに開発したSSTオーガーにより強い力で圧縮して締め固めながら掘削孔に充填し、さらに固化材の針状結晶体で土粒子を結合させて強固な柱状改良体を構築する。

(1) 適用範囲、施工仕様および材料

表-1は、SST工法に関する一般的な適用範囲、施工仕様および材料を示している。

(2) 締固め機構

図-1はSST工法における締固め機構を示している。締固め機構は、正回転により地盤を掘削するSSTオーガー（口径：300～600mm）で先端の円錐形の外周面に特殊な形状をした2枚の鉛直ブレードを回転断面の対称位置で取り付けたものであり、逆回転させることによりそのブレードが、地上から投入した改良土と周辺の地盤を鉛直方向と水平方向に大きな力で圧縮し、擦り固めができるものである。

(3) 施工方法

施工方法は、まずSSTオーガーを穴掘建柱車で正回転させて地盤を所要の深度まで掘削して（図-2参照）、掘削した現地土を地上に排出する。次に、その掘削した現地土の土質に応じた割合で追加砂と固化材を加えて油圧ショベルで混合し（図-3参照）、製造した改良土を少しずつ掘削孔に投入しながらSSTオーガーを逆回転させて柱状改良体を築造していく。柱状改良体と周辺地盤の締固めが限界に達するとその反力でSSTオーガーが徐々に上昇し（図-4参照）、所要の高さまで上昇したらSSTオーガーを掘削孔から外して、柱状改良体の頭部を調整器具で突き固めて築造の完了となる。

3. SST工法の特長

(1) 地盤内の直接確認

掘削した現地土を地上に排出することから、土質、土層および地下水位等の地盤内諸状況を直接、視覚的に確認しながら施工できる。また、掘削した現地土の状況によっては、柱状改良体の品質を確保するため、地中内障害物や強度発現が低いと判断した不適現地土を地上で除去することができる。

(2) 均一で高品質な柱状改良体の築造

写真-2はSST工法により築造された柱状改良体を示して



写真-1 SST工法による施工の様子

表-1 SST工法の適用範囲、施工仕様および材料

適用地盤	砂質土、粘性土、ローム、有機質土（高有機質土、腐植土含む）
設計径	400mm、500mm、600mm、700mm
改良長	1.5m～8.5m
設計基準強度	700～2400kN/m ²
変動係数	30%（配合設計・品質検査）
使用材料	①追加砂 （標準配合は4:1・3:1・2:1・1:1） ※掘削土に対する配合比 砂の粒径は20mm以下、 細粒物含有率は20%以下 ②セメント系固化材 （配合量は150、175、200kg/m ³ ） ※掘削土と追加砂の合計体積に対する 配合量
施工機械	①自走式の穴掘建柱車（3～6tクラス） ②油圧ショベル（0.06m ³ ）

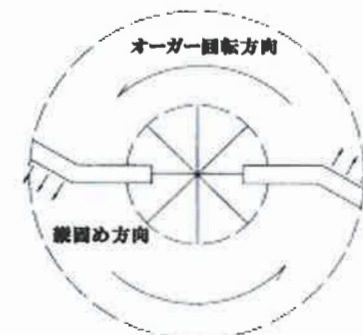


図-1 締固め機構

いる。地上において油圧ショベルにより十分に混合して改良土を製造するため、柱状改良体の全域（鉛直・水平方向）にわたって均一で連続した高い品質が確保できる。

(3) 高強度な柱状改良体の築造

SST オーガーの逆回転により、掘削孔に投入した改良土と周辺地盤を鉛直方向と同時に水平方向にも強く圧縮できるため、砂を加えることによる粒度分布の改善とも相まって土粒子間の空隙や水が十分に排除され、柱状改良体自体だけでなく周辺地盤も強力に締固めることができる。それによって、様々な土質に対して柱状改良体の設計基準強度を最大で2400kN/m²と従来工法に比べて高く設定可能である。

(4) 現場での適用性および施工性

SST工法は、プラント等が不要であり、且つ比較的小型の施工機械である自走式の穴掘建柱車と油圧ショベルを用いることから、搬入路や施工現場が狭い現場において適用がしやすく、具体的には2.5m程度の搬入路と4.0m×10.0m程度の現場スペースが確保されていれば、施工が可能である。また、締固めによる土量の縮減で、残土を従来工法よりも大幅に減らすことができ、さらに水も電気も使用しないため、現場での適用性および施工性は非常に高い。

4. 腐植土地盤における SST 工法の現場適用事例

RC 造 2 階建て（べた基礎，地耐力 65kN/m²，基礎面積 829.54m²）の建築工事に伴う下部地盤の地盤改良として SST 工法を適用した。当該地の地形は沖積低地であり，地層区分は，上位より表土層，沖積粘性土層，沖積砂質土層および洪積粘性土層で構成されている。改良対象層には層厚 2.4m の腐植土層が含まれ，従来工法ではこの腐植土層における柱状改良体の品質を確保しにくいと考えられるため，腐植土にも適用できる SST 工法を採用した。

(1) 地盤改良仕様

図-5 は当該地のボーリング柱状図および地盤改良断面図を示しており，表-2 は地盤改良の仕様を示している。上述した腐植土は，自然含水比が $w_n=481.9\%$ であり，有機物が非常に多く混じっており，固化が困難な土質であると考えられた。そこで，柱状改良体の品質を確保するため，追加砂の配合比を 1:1，セメント系固化材の配合量を 200kg/m³ という仕様を設定した²⁾。

(2) 柱状改良体の品質

SST 工法は柱状改良体頭部から底部まで同じ材料（改良土）であることと，乾式工法であることから，品質管理はモールド供試体の一軸圧縮強さを検査指標として用いる。また，本工法の品質検査方法は変動係数を 30%と設定した検査手法 A が採用できる。本地盤改良のモールド供試体の採取仕様は，頭部 5 箇所，深部 1 箇所（1 箇所あたり 3 個の供試体を採取）とした。表-3 に品質検査結果を示す。一軸圧縮強さ（材齢 28 日）の平均値は合格判定値 X_L を満足しており，十分な品質の柱状改良体が築造できたと評価した。

4. おわりに

SST工法は，砂質土および粘性土主体の地盤に加えて，従来工法では柱状改良体の品質を確保しにくい土質であるローム，有機質土（黒ボク含む）および腐植土が堆積している地盤や地中内障害物が混入している地盤において，高品質で高強度な柱状改良体を築造することができる。

現在取り組んでいる課題としては，穴掘建柱車に SST オーガーを装着して柱状改良体を築造する，すなわち，通常の施工方法では掘削が困難な地中内障害物を大量に含んだ造成地盤の対策である。

参考文献

- (1) 日本建築総合試験所：SST 工法－置換式柱状地盤改良工法－（改定 3），建築技術性能証明評価概要書，2019.
- (2) 日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針，2018 年版，pp.315~318，2018.11

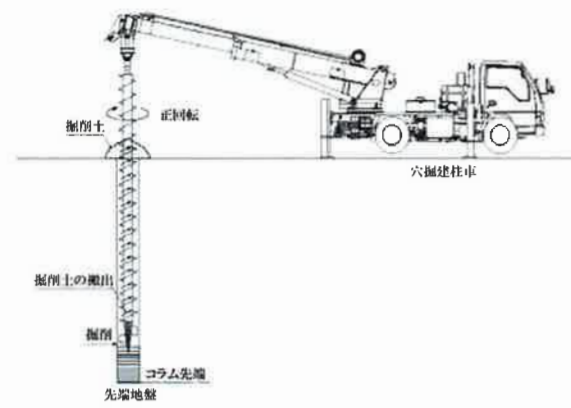


図-2 地盤の掘削

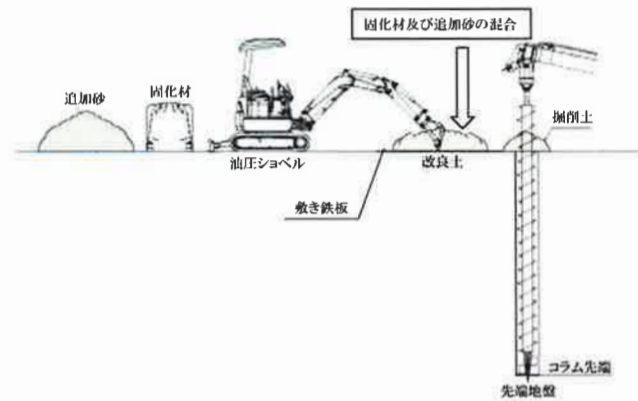


図-3 改良土の混合

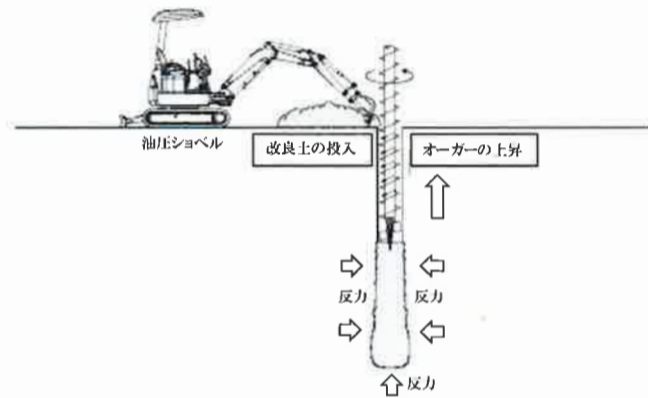


図-4 柱状改良体の築造



写真-2 SST 工法により築造された柱状改良体

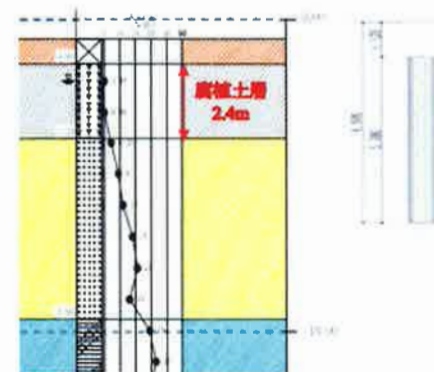


図-5 ボーリング柱状図・地盤改良断面図

表-2 地盤改良仕様

改良径 φ(mm)	改良深度 Df(m)	改良長 L(m)	設計基準強度 Fc(kN/m ²)	本数 N(本)
600	6.5	5.38	2400	279

表-3 品質検査結果

判定値 X_L (kN/m ²)	一軸圧縮強さ (kN/m ²)		
	頭部 (5 箇所)	深部 (1 箇所)	平均値
4,176	5620~13156	8475	9347