

斜め・水平施工を可能とする 機械攪拌系地盤改良工法について

佐藤 潤¹

¹日特建設株式会社 技術本部 設計部 (〒103-0004 東京都中央区東日本橋3-10-6)

著者らは、新たな機械攪拌方式の原位置攪拌改良工法として、地中拡翼型の攪拌装置を用いた工法“WinBLADE工法”（以下本工法と言う）の開発にあたっている。本工法では、閉じた状態の攪拌翼を地中に挿入し改良範囲端部で直径1.2mに拡翼した後、固化材を供給しながら原位置攪拌を行い、円柱状の固結改良体を造成する。斜め・水平の改良も容易に行えることが特徴で、既存施設周辺、直下を対象とした液状化対策、耐震補強への適用を想定している。

本報では、本工法の概要と特徴を説明する。

キーワード 地盤改良，液状化対策，セメント，機械攪拌

1. 工法概要

本工法は、開閉可能な攪拌翼を用いた機械攪拌工法である。挿入したビットを地中に直径1.2mもしくは0.8mに拡径し、セメント等の固化材をスラリーとして吐出し、地盤と攪拌混合することにより、ソイルセメント改良体を造成する。

小型の機械を使用することにより機動性に優れ、角度を調整することにより、鉛直だけでなく従来工法では対応出来なかった斜めや水平方向の改良体を造成することを可能としている。また、併せて開発した監視・自動制御システム（FRP制御システム）を使用し、効率的かつ安定的に改良体を造成することができる。

本工法は以下の手順で行う。施工手順の概要を図-1に示す。

- ①マシンセット（角度調整）
- ②直径165mmのケーシングで所定の深度まで削孔
- ③先端に拡径ビットを取り付け、直径96mmのロッドを継ぎ足しながら挿入後、ケーシングを改良上端深度まで引抜く
- ④造成下端にて拡径（直径1,200mm、直径800mm）
- ⑤改良上端まで造成
- ⑥造成完了
- ⑦攪拌翼を縮径後、ビットおよびロッド引抜き
- ⑧ケーシング引抜き、次孔へ移動

2. 工法の特徴

本工法の主な特徴は、“開閉可能な攪拌翼”，“特殊小型機械による機械攪拌” および “自動制御システムによる施工管理” である。以下にそれぞれの特徴についての詳細を述べる。

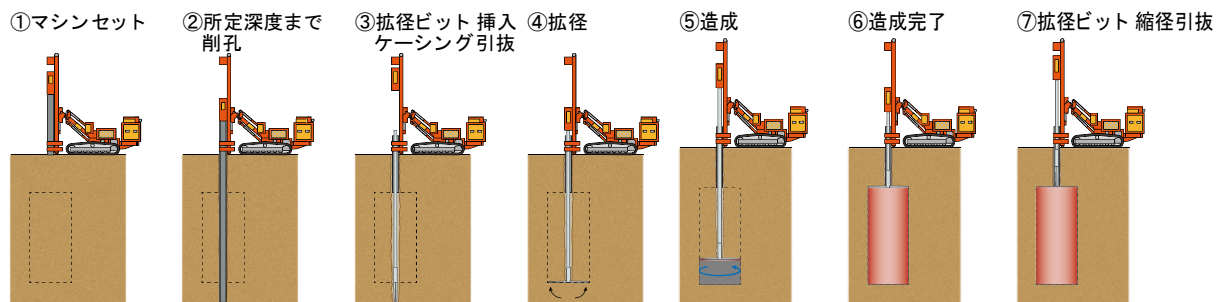


図-1 WinBLADE 工法施工手順

(1) 開閉可能な攪拌翼

写真-1に攪拌翼の開閉状況を示す。この攪拌翼に開閉機構を設けたことが、本工法の最大の特徴である。従来の攪拌翼を使用した機械攪拌工法は、改良径＝攪拌翼長さであり、直径1,200mmの改良体を造成する場合の攪拌翼長さは1,200mmとなる。そのため土被り部（未改良部）は貫入・引抜時に改良径と同等の地盤が乱され、場合によっては貧配合の固化材にて土被り部を改良しなければならない場合がある。それに比べ、本工法は攪拌翼が開閉可能であり、直径1,200mmの改良体を造成する場合でも、土被り部の乱される範囲は、削孔用ケーシングの直径である165mmのみとなる。また、従来工法では地中埋設物が改良範囲上部や改良範囲内に存在する場合、施工不可能であった。本工法は攪拌翼の開閉を行うことにより、地中埋設物をかわした改良が可能である（図-2）。

(2) 特殊小型改良機による機械攪拌

本工法で使用する改良機は、改良型のロータリーパーカッションドリル（RPD-150CLF）を標準としている（写真-2）。自走することが可能であり、ガイドセルを鉛直から水平まで傾けることが可能である。により、狭隘な現場でも対応可能であり、従来工法が鉛直施工のみを標準としているのに対して、本工法は鉛直、斜め（写真-3）および水平の改良体を造成することが可能である。これを利用して、今まで困難であった既設構造物直下の改良を行うことができるのも、本工法の特徴である。



写真-1 攪拌翼開閉状況

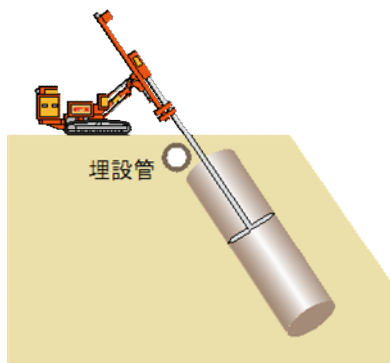


図-2 地中埋設物をかわした施工状況

(3) 自動制御システムによる施工管理

本工法は均質な改良体を造成するべく、自動制御システム（FRP制御システム）を搭載している。

従来工法では、セメントスラリーの単位時間あたりの吐出量は一定であり、硬質地盤により貫入・引抜の速度が一定に保てず延びた場合、改良対象土への固化材添加量は過大となる。また、改良対象土と固化材の攪拌混合回数（羽根切り回数）は機械式攪拌工法の改良品質に大きな影響を及ぼし、この制御が改良体の均質性を左右すると言える。

図-3に自動制御システム概要を、図-4に操作パネル画面を示す。回転駆動装置に設置した回転計にて回転速度を計測し、その情報を制御装置に伝達する。次に、回転



写真-2 ロータリーパーカッションドリル(RPD-150CLF)



写真-3 斜め施工状況

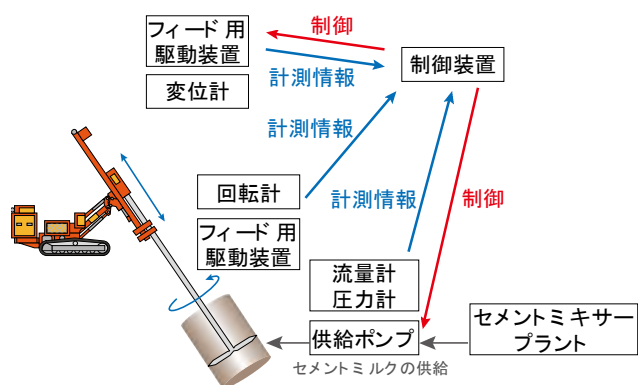


図-3 自動制御システム概要

速度をもとに、単位改良長あたりの攪拌混合回数が一定値を保つフィード速度に制御される。さらに、そのフィード速度から単位体積あたりの固化材添加量が一定に保たれるように、供給ポンプの吐出量が自動制御される。

これらの一連の流れにより、地盤の変化によって回転速度が変動しても、それに連動するようにフィード速度およびセメントスラリーの供給量が自動制御され、攪拌混合回数および固化材添加量の最適化を図ることが可能となる。また、施工時の管理が自動化されることにより、省力化や安全性の向上にもつながっている。

3. 造成実験

本工法にて浚渫土層、沖積砂層を対象として造成実験を行った内容を報告する。¹⁾

(1) 対象地盤概要

造成実験で改良対象となる地盤の基本物性、地層構成および造成位置を図-5に示す。造成体は2.0m/リフト×4リフトで合計8.0mとなる。対象地盤は下層から順に、1リフト目が位置するG.L.-7m以深には自然堆積の沖積砂層(A_s)が存在し、2リフト目以下は、砂層、粘土層が互層に存在する浚渫土層(Fs1, Fc1, Fs2, Fc2)である。東日本大震災の際の噴砂跡が実施箇所周

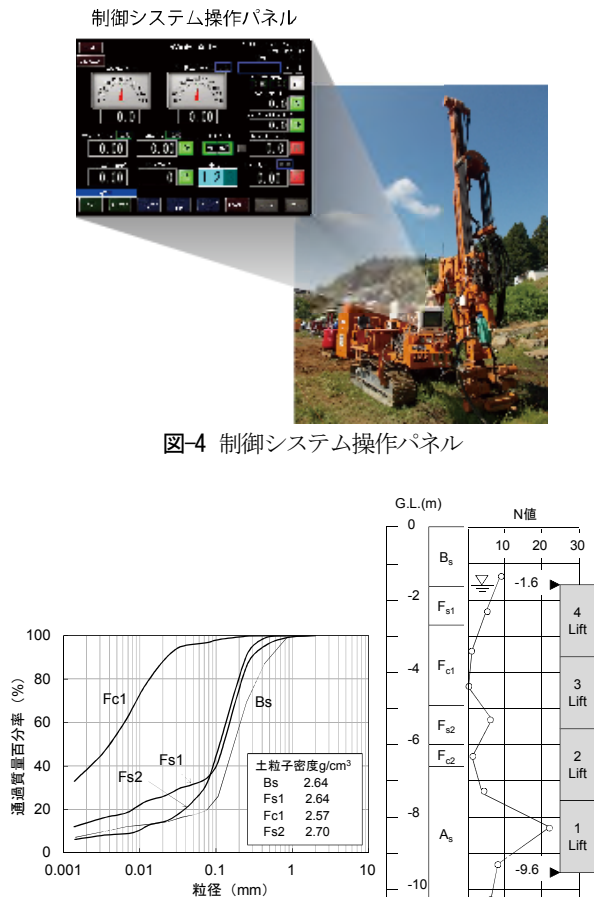


図-5 粒度分布・土粒子密度、地層構成造成位置

辺に残っており、Fs1, Fs2層が液状化したことが確認されている。

(2) 施工状況

図-6に1リフト目、図-7に3リフト目のモニタリング・制御結果を示す。ここで、左軸の移動距離は各リフト下端位置を0として、2mの引き上げ、押し下げの動きを示し、回転速度とセメントミルクの吐出量を併記している。沖積砂層を対象とした1リフト目では、終始計画通りの回転速度、セメントミルク吐出量が確保できた。これに対して、浚渫砂・粘土層を対象とした3リフト目では、一回目の引き上げ時にフィード速度、回転速度が低下し、それに連動してセメント吐出量も抑えられ、その後の押し下げ、引き上げ時は、1リフト目と同様に安定した動作が確保された。

(3) 事後調査

7日程度の養生後、Fs1層からFc1層にかかる深度まで掘り起こし、造成体上部1mほどを目視観察し直径1.2mの造成体を確認した(写真-4)。その際、周辺の掘削箇所から木片、植生跡が認められ、上記で示した不規則な施

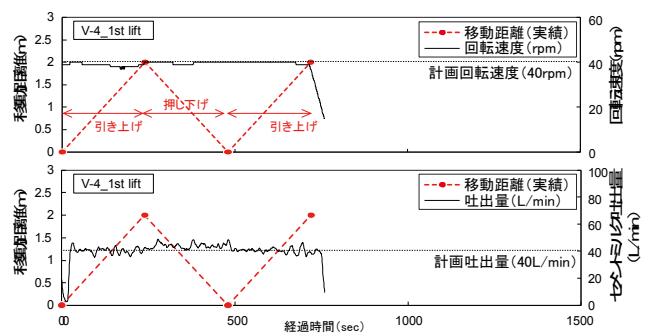


図-6 1リフト目 回転速度とセメント吐出量の推移

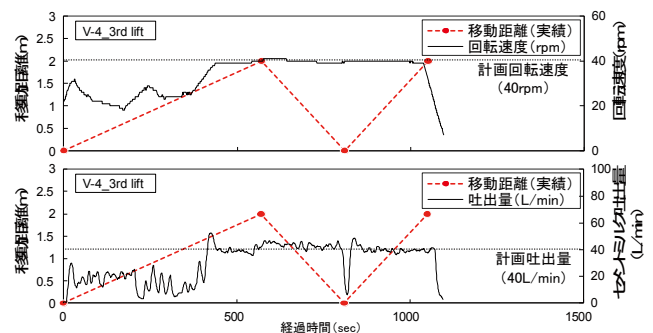


図-7 3リフト目 回転速度とセメント吐出量の推移



写真-4 改良体上部の状況

工動作の要因であると推測した。

その後、造成部分全長にわたりロータリー式スリーブ内蔵サンプラーにてコアを採取し、コア採取率（コアの断面の50%以上が固結したと認められる長さの割合）を確認したところ、全体では89%となり品質の良否の目安となる90%²⁾をほぼ満たすことができた。ただし、各地層で評価すると、沖積砂層では全体が100%であったのに対して、浚渫土層では80%を切る箇所がFcl層に生じ、粘性の高い層では品質改善の必要性が認められた。また、本コアより試料を採取し、一軸圧縮強さを求めた結果を、図-8に示す。本結果では特に層区分による著しい強度差は認められず、Fs1層、Fc1層について行った室内配合強度との比較により、現場室内強度比は1/3程度であることを確認した。

(4)造成実験結果および課題

施工実験を通して、浚渫土層、沖積砂層での施工動作の違い、改良品質の傾向をまとめた。沖積砂層については既存の攪拌改良工法と同等の改良が達成される一方、不均一性、不純物の混入が見られる浚渫土層については、攪拌回数の割り増し等による品質向上の必要性が認められた。

4. 施工事例

本工法を用いた施工事例を以下に示す。

改良の目的は、既設盛土のり面の安定化である。本現場の問題点は、地震時に既設盛土のり面内部に円弧すべりが発生するというものであり、のり面の背面直近を改良する必要がある。改良断面図を図-9に示す。

対策工法としての条件は①盛土上部から斜めに改良で

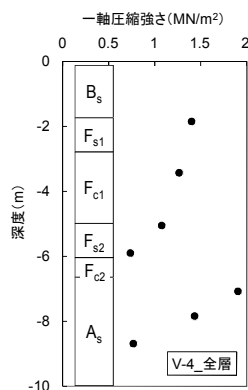


図-8 一軸圧縮強さの分布

表-1 工法比較表

条件 工法名	①斜施工	②小型施工機械	③のり面への影響
WinBLADE工法	○	○	○
薬液注入工法	○	○	△
高圧噴射攪拌工法	×	○	×
中層混合処理工法	×	○	○
深層混合処理工法	×	×	△

きる、②小型の施工機械での施工が可能である、③施工時に既設のり面への影響が抑制できる、というものであった。地盤改良工法の固結材等を添加することによる固結工法には大きく分けると“薬液注入工法”、“高圧噴射攪拌工法”および“機械攪拌工法”の3種類がある。従来の固結工法（機械攪拌工法は中層混合処理工法と深層混合処理工法に分類される）および本工法の現場条件への適応性を比較したものを表-1に示す。比較表からも分かるように、本現場条件に適応可能な工法は本工法以外にはなく、こういった特殊な現場にて本工法の長所が活用されることになった。

施工の結果としては、盛土内に混在していた一部の硬質土により、攪拌翼が損傷する事象はあったものの、改良体を無事に造成することができ、目的を達成することができた。

5. まとめ

造成実験から、本工法による地中内での攪拌翼の開閉を用いた改良体造成の確実性と、自動制御システムによる施工管理の有効性を確認できた。また、実施工では、既存の地盤改良工法では対応の難しかった斜めの改良体を造成するという本工法の特徴を最大限に活かした工事を行い、工事目的を達成できたことを確認した。新たに開発した工法として、今後施工実績を重ねていくうえで、様々な課題が生じていくことが考えられる。それらに対応しつつ、よりよい工法となるよう改善を進めていきたい。なお、造成実験の一部は、国土交通省の助成事業である「平成23年度震災対応型液状化対策技術の開発」，“浦安市が管理する施設を利用した液状化対策工法の実証実験”から得られた成果である。関係各位のご協力に感謝申し上げます。

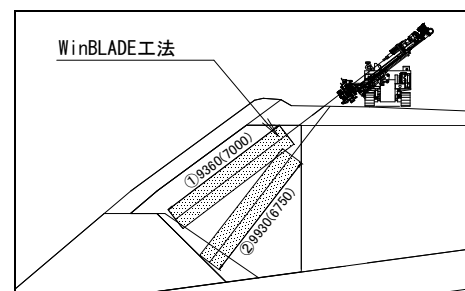


図-9 標準断面図

参考文献

- 石井裕泰，藤原斉郁，小林真貴子，青木智幸，立石洋二，菅浩一，三上登，佐藤潤：地中拡翼型の地盤攪拌改良工法の開発～浚渫土層、沖積砂層での造成～，土木学会第 68 回年次学術講演会 pp. 591-592、2013。
- 建築のための改良地盤の設計及び品質管理指針，日本建築センター，2002