特集≫≫　新しい建設材料，最先端の高度な建設技術の開発と実用化

拡翼型機械式撹拌工法

WinBLADE 工法

髙　橋　　学

新たな機械撹拌方式の原位置撹拌改良工法として，地中拡翼型の撹拌装置を用いた工法“WinBLADE工法”（以下，「本工法」）の開発を行った。本工法では，閉じた状態の撹拌翼を地中に挿入し，改良範囲端部で直径 1.2 m に拡翼した後，固化材スラリーを供給しながら原位置撹拌を行い，円柱状の固結改良体を造成する工法である。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，耐震補強を想定している。

キーワード：土木，混合処理工法，機械撹拌，液状化対策，耐震補強，小型機

1. はじめに

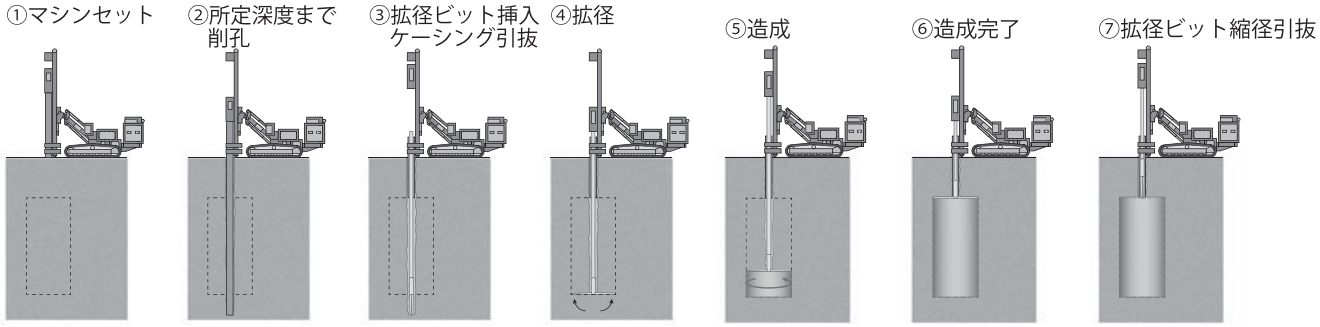
平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震以降，既存の構造物やインフラ設備の周辺，直下を対象とした液状化対策，耐震補強が求められている。地盤改良工法においても，従来の大型機械を使用した大規模・急速施工型の工法に加え，小型機械を使用した既存構造物直下や周辺部での施工が求められている。本工法は，開閉可能な撹拌翼を用い，既存構造物直下や狭隘部での施工および地中障害物を回避した斜め施工を可能とする工法である。

2. 工法概要

本工法は，削孔改良機により直径 165 mm のケーシングで所定深度まで削孔をし，拡翼ビットを取り付けた直径 96 mm のロッドを挿入し，ケーシングを改良上端まで引上げ，地中で撹拌翼を直径 1.2 m または，0.8 m に拡径し，セメント等の固化材をスラリーとして吐出し，地盤と混合撹拌することにより，円柱状のソイルセメント改良体を造成する工法である。

造成時には，2.0 m を 1 回の改良長とし 2.0 m 造成完了ごとにロッドを切断し改良体を造成する。未改良部の地盤は 1 回の撹拌混合では均一な撹拌混合が難しいことから1回の改良に対し3サイクルの撹拌を行う。

施工手順を**図―1** に示す。



図―1　施工手順

①マシンセット（角度調整）
②直径 165 mm のケーシングを使用し，所定深度まで削孔を行う。
③先端に拡径ビットを取り付けた直径 96 mm 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まで引抜く。
④改良下端で撹拌翼を拡径する。
⑤固化材スラリーを吐出しながら撹拌・引上げを行い改良体の造成を行う。
⑥改良上端まで撹拌を行い完了する。
⑦拡径ビットを縮径し，ビット引上げ・ケーシング引抜きを行う。

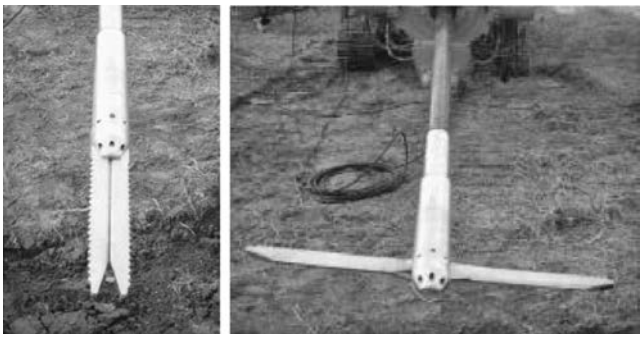
3. 工法の特徴

本工法の特徴を以下に示す。

(1) 開閉可能な撹拌翼

本工法で使用する撹拌翼は開閉機構を設けたことが，最大の特徴である（**写真―1**）。従来の撹拌翼を使用した機械撹拌工法は，改良径と撹拌翼径が同一であるため，直径 1.2 m の改良体を造成する場合，撹拌翼長も 1.2 m となる。そのため，土被り部（未改良部）は貫入・引上げ時に撹拌翼と同等の地盤が乱され，固化材スラリーを貧配合により改良を行う必要がある。本工法の場合は，撹拌翼を縮径し回収することで，削孔用ケーシング径の 165 mm のみとなる。

また，地中で撹拌翼を 1.2 m まで拡翼し改良を行うことで，地表部分の舗装や既存構造物の取り壊し範囲が削孔径の 165 mm と少なく済む特徴も有する。



写真―1　撹拌翼開閉状況

(2) 特殊小型改良機による機械撹拌

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任意の方向に傾けることができ，地中埋設物をかわしたり，斜め施工が可能である（**図―2**，**写真―3**）。

写真―2　ロータリーパーカッションドリル

図―2　地中埋設物をかわした施工状況

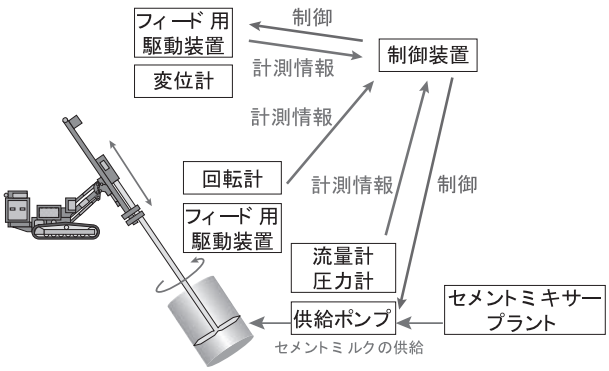
写真―3　斜め施工状況

(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，固化材スラリーの単位時間当たり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伸びた場合，改良対象土への固化材添加量が過大となる。また，改良対象土と固化材の撹拌混合回数（羽切り回数）は，機械撹拌工法の改良体の均一性を左右すると言える。**図―3** に自動制御システム概要を，**写真―4** に自動制御システムの操作パネル画面を示す。

自動制御システムは，回転制御装置に設置した回転



図―3　自動制御システム概要

写真―４　自動制御システム操作パネル

計により回転速度を測定し，その情報を制御装置に伝達する。次に回転速度をもとに，単位改良長当たりの撹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当たりの固化材スラリー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。

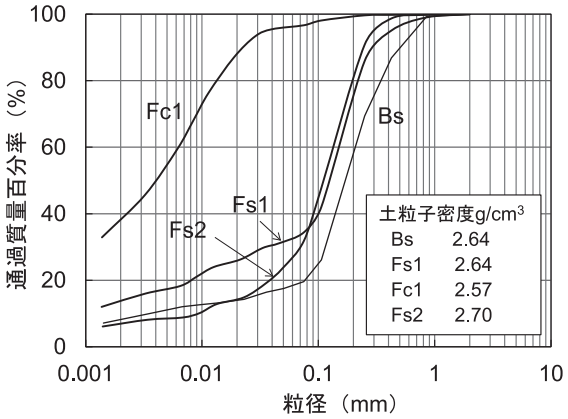
これらの一連の流れにより，地盤の変化により回転速度が変動しても，それに連動しフィード速度および固化材スラリーの供給が自動制御され，撹拌混合回数および固化材スラリーの添加量の最適化を図ることが可能となった。

4. 造成実験

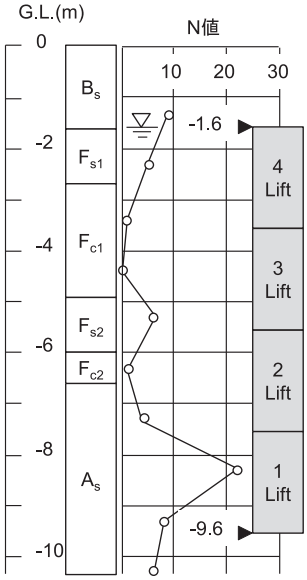
本工法にて浚渫土層，沖積砂層を対象として造成実験を行った内容を報告する[1)]。

(1) 対象地盤概要

造成実験で対象とした地盤の基本物性，地層構成を**図―４**，造成位置を**図―５**に示す。造成長は 2.0 m/リフト×４リフトで合計 8.0 m である。対象地盤は下層から順に，１リフト目が位置する GL-7 m 以深には



図―４　粒度分布・土粒子密度



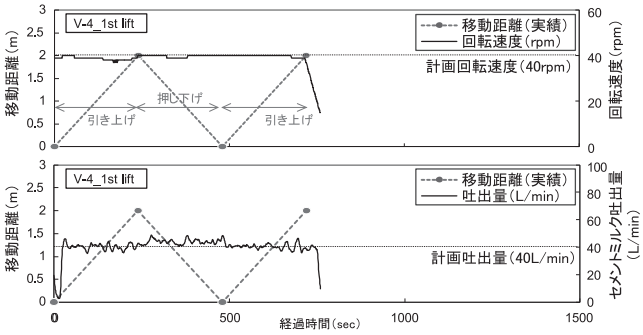
図―５　地層構成と造成位置

自然堆積の沖積層（As）が存在し，２リフト目以浅となる上層は，砂層，粘土層が互層に存在する浚渫土層（Fs1，Fc1，Fs2，Fc2）である。

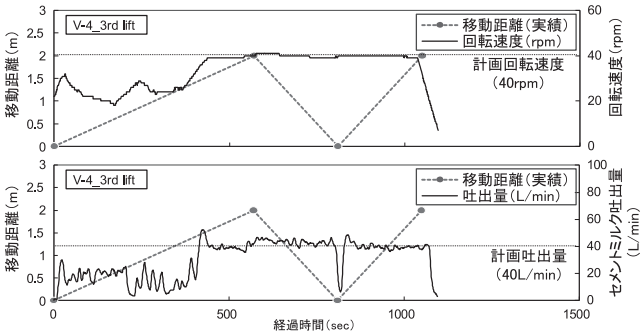
(2) 施工状況

自動制御システムによるモニタリング・制御結果の１リフト目を**図―６**に，３リフト目を**図―７**に示す。

左軸の移動距離は，各リフト下端の位置を 0.0 m とし 2.0 m の引上げ，押し下げ，引上げを行った深度を示し，横軸に経過時間を示す。



図―６　１リフト目自動制御推移



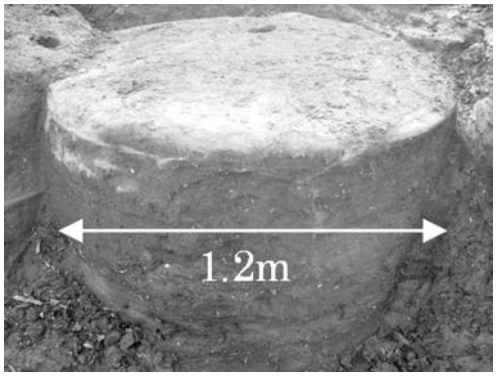
図―７　３リフト目自動制御推移

1リフト目では，終始計画通りの回転速度が確保され，計画通り固化材スラリーの吐出，引上げ・押し下げ・引上げ速度が確保されている。

3リフト目では，1回目の引上げ時に回転速度が低下したため，それに連動し，引上げ速度が低下し，固化材スラリーの吐出量も抑えられていることが見て取れる。そのあとの押し下げ・引上げ時には，計画通りの回転速度が確保され，1リフト目と同様に安定した動作が確認された。

(3) 事後調査

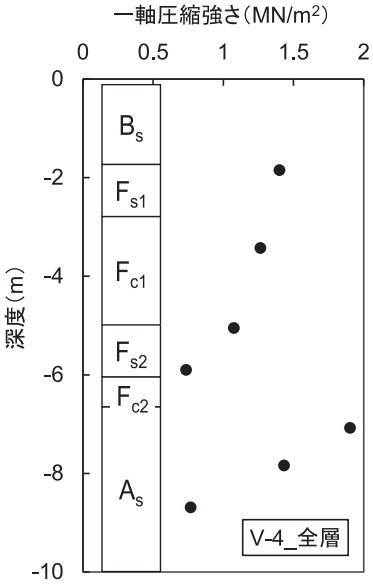
7日程度養生後，Fs1層からFc1層に係る深度まで掘り起こし，改良体上部1.0 mほどを目視確認した（**写真―5**）。その際，周辺の掘削箇所から木片，植生跡が認められ，3リフト目の不規則な施工動作の要因であると推測した。



写真―5　改良体上部の状況

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を使用しコア採取を行い，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]程度であることが確認された。ただし，各地層で評価すると，沖積砂層では，全体の100％であったのに対し，浚渫土層では80％を切る箇所がFc1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試験との比較により，現場室内強度比は1/3程度であることが確認された。



図―8　一軸圧縮強さの分布

5. おわりに

造成実験から，本工法による地盤中での撹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の有効性が確認できた。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，さまざま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に改善を進めていきたい。なお，造成実験は「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技術の開発」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。

JCMA

《参考文献》
1）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 pp591-2013
2）建築工事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

［筆者紹介］
髙橋　学（たかはし　まなぶ）
日特建設㈱
技術本部設計部