

高圧噴射攪拌工法による大口径改良体の品質管理手法

清水建設株式会社 正会員 ○松本 健志
三信建設工業株式会社 正会員 島野 嵐

清水建設株式会社 正会員 清水 譲
三信建設工業株式会社 正会員 山口 洋

1. はじめに

高圧噴射攪拌工法は、従来から土留めの補助工法やシールド発進・到達防護などの仮設工事で幅広く用いられてきた。しかしながら、高圧噴射攪拌工法による地盤改良体の改良強度や改良径は改良対象地盤の条件に大きく左右されるという特徴を持っており、改良体は土中の不可視部分に造成されるため、品質管理手法については未だに多くの課題がある。本稿では、都市部の立坑工事における大口径改良体の施工事例及び適用した品質管理手法について報告する。

2. 現場概要

本工事は市街地再開発事業の一環として矩形の推進工法により地下連絡通路を構築する工事である。高圧噴射攪拌工法は図-1 に示す立坑開削工事に伴う補助工法（底盤改良・土留め欠損部防護・地盤反力増強・発進坑口防護・埋設防護）として採用された。改良対象地盤は、GL-2.6m～-13.7m が砂混じりシルト・粘土（ $N=0\sim1$ ）、GL-13.7m～19.6m がシルト混じり細砂（ $N\leq 20$ ）で、地下水位は GL-2.0m 程度であった。

本工事では大口径改良に対応する V-JET 工法を採用し、改良体の平面配置は図-2 に示すように立坑形状に合わせて改良径 $\phi 4.5\text{m}$ 、 5.0m 、 6.0m の 3 種で計画した。また、既設下水道幹線 $\phi 2.550\text{m}$ の側部は揺動施工によ

る中心角 180 度とすることで既設幹線へ噴射圧による影響を及ぼさないように配慮した。

3. 試験施工

改良対象地盤上部の沖積粘性土層は、非圧密非排水条件の三軸圧縮試験による平均粘着力が $c=41\text{kN/m}^2$ と大きい結果を示しており、標準仕様の施工では設計改良径を確保できない懸念があった。そこで、施工時に改良径の出来形確認が可能な「地盤切削状態モニタリングシステム：Jet Wave Monitoring System（以下、JWM System）」を用いて試験施工を実施した。システムの概要を図-3 に示す。このシステムは、改良に先立って改良体造成位置の 1 箇所または複数個所に計測管を設置し、改良時に計測管内に挿入した集音器をモニターの上昇に合わせて引き上げ、集音器に当たるジェット流を音の大きさとしてモニタリングする。この経時的に得られたデータを分析することで地盤切削状態を評価するものである。なお、ジェット流音量の振れ幅（最大値－最小値）が 200（無次元）¹⁾ を超えた場合に改良体の出来形が計測管の外側まで達していることが確認されている。試験施工は、沖積粘性土層が改良範囲の大部分となる土留め欠損部防護 $\phi 4.5\text{m}$ と最大径である底盤改良 $\phi 6.0\text{m}$ のそれぞれ 1 本目の改良体を対象とし、それぞれの改良体端部（設計改良径位置）でジェット流音量の

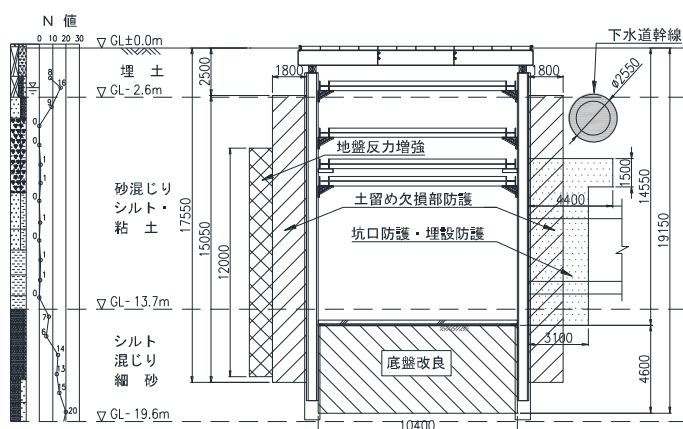


図-1 計画断面図

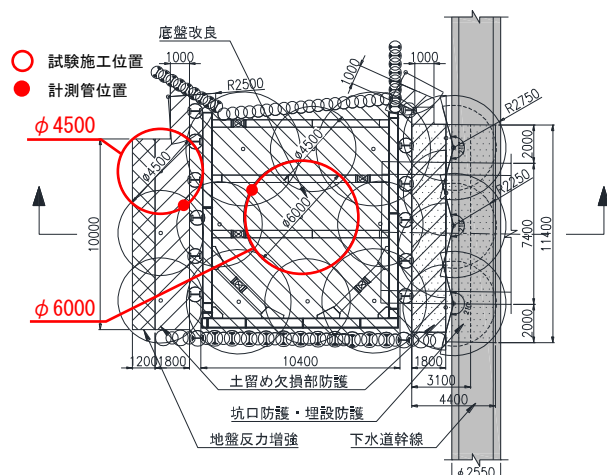


図-2 改良体配置図

キーワード：地盤改良，高圧噴射攪拌工法，大口径改良，改良体可視化システム

連絡先：〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社土木技術本部 TEL:03-3561-3907

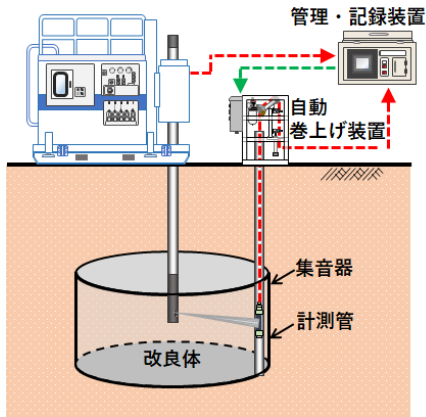


図-3 JWM System の概要

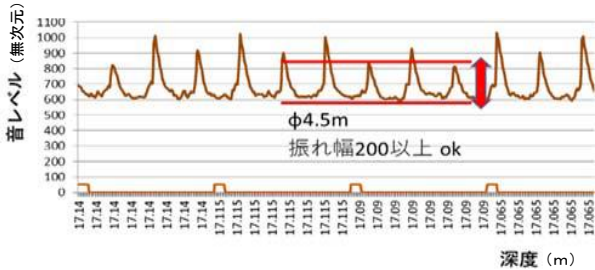


図-4 計測例（φ4.5m）

計測をした。計測結果の一例を図-4 に示す。試験施工では、改良下端の定置噴射時にエア噴射量（Nm³/min）を調整するとともに、改良対象地盤の土質とリアルタイムで表示される音量の振れ幅に応じて、回転数（rpm）や造成時間（分/m）を変化させ、最適と考えられる本施工仕様を定めた。例として、φ6.0m の試験施工結果（図-5）と施工仕様（表-1）を示す。φ6.0m の試験施工はロッド回転数を 3rpm で固定し、造成時間は 18 分/m を基本として実施した。ほぼ全ての深度において振れ幅 200 を超えていたが、GL-18.5m 付近では振れ幅 200 を若干下回ったため、造成時間を 18→21→24 分/m と変化させて振れ幅を観察し、21 分/m が最適であると判断した。適切な出来形を確保するため、シルト質細砂の層全体で造成時間を 21 分/m として本施工に臨んだ。また、エア噴射量は φ4.5m、φ6.0m とともに 15Nm³/min とした。

4. 施工結果

施工は、既設の下水道幹線へ影響を及ぼすことなく完了し、施工後のコアボーリングと一軸圧縮強度試験により改良体品質の確認を行った。ボーリング位置は試験改良体の JWM 計測位置に近い設計改良径位置とし、全てのコアでコア採取率の判定値「改良体全長に対して粘性土で 90%以上、砂質土で 95%以上（1m 当たりの採取率は 5%減）²⁾」を満足する連続性の高い改良体が造成されたことを確認した。表-2 に一軸圧縮強度試

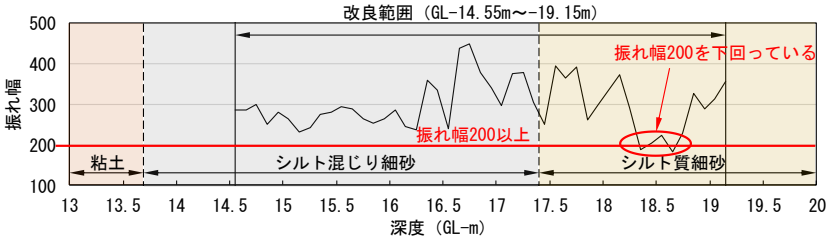


図-5 試験施工結果（φ6.0m）

表-1 試験施工仕様及び本施工仕様（φ6.0m）

深 度	土 質	試験施工仕様	振れ幅 (平均値)	本施工仕様
		① 造成時間 ② ロッド回転数		① 造成時間 ② ロッド回転数
GL-19.15m～ GL-17.35m	シルト質 細 砂	① 18, 21, 24 分/m ② 3 rpm	182～394 (293)	① 21 分/m ② 3 rpm
GL-17.35m～ GL-14.55m	シルト混じり 細 砂	① 18 分/m ② 3 rpm	231～450 (301)	① 18 分/m ② 3 rpm

表-2 一軸圧縮強度試験結果

改良径 (m)		φ 4.5		φ 6.0
土質区分		粘性土	砂質土	砂質土
検体数 (検体)		12	9	8
設計強度 (MN/m ²)		1.000	3.000	3.000
現場 強度 (MN/m ²)	最大	2.875	5.402	7.322
	最小	1.058	3.140	2.937
	平均	1.818	4.182	4.592
				4.399
標準偏差 (砂質土 17 検体)				1.063
変動係数 (砂質土 17 検体)				24.2%

験の結果を示す。比較的検体数の多い砂質土層で算出した一軸圧縮強さの変動係数は 24.2%であり、一般的なスラリー攪拌工法の変動係数 CV25～35%の範囲³⁾と同等の品質を有していることを確認した。

5. おわりに

本工事では、JWM System を用いて施工時に地盤の切削状態を把握することで大口径改良体の出来形を確保するとともに、施工後の確認試験により所要の品質を満足することを確認した。地盤改良体の大径化は工期の短縮に寄与し、優れた経済性を発揮するがその品質管理には一層の注意を払う必要がある。本工事の施工実績ならびに品質管理手法が今後の同種工事の一助となれば幸いである。

参考文献

1) 島野・山崎・新坂：高圧噴射攪拌工法における改良体出来形の管理手法とその検証，第 12 回地盤改良シンポジウム論文集，pp.455-458，2016。
2) （一財）日本建築センター，（一財）ベターリビング：2018 年度版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針，p.299，2018。
3) 地盤工学会：地盤改良効果の予測と実際，pp.215-216，2000。