

マルチジェット工法の施工実績報告

安井 利彰・手塚 広明^{*1}・竹岡 正二^{*1}・後藤 和彦^{*2}・清水 公了^{*1}・川西 敦士^{*1}

REPORT ON CONSTRUCTION RESULTS OF MULTI-JET METHOD

Toshiaki YASUI, Hiroaki TEZUKA, Shouji TAKEOKA, Kazuhiko GOTOU, Kimiaki SHIMIZU, Atsushi KAWANISHI

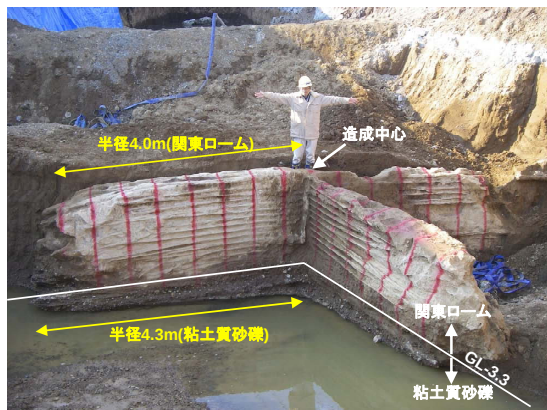


図-1 マルチジェット工法改良体



図-2 マルチジェット工法噴射状況

研究の目的

高圧噴射攪拌工法は、土留め底盤改良、シールド発進・到達防護などの仮設用途に加え、近年、既設構造物の耐震補強、液状化対策等の本設利用としてのニーズも高まってきており、今後需要が見込まれる工法である。このような中、コストダウン・工期短縮が求められており、マルチジェット工法は、自由形状・大口径改良を実現することにより、従来工法と差別化を図っている。これまで、試験施工および本施工を実施し、改良径、改良形状、改良強度等について確認した。また、高精度な品質管理システムを構築し、適用性について確認した。

今後、更なるコストダウンを目指した検討および合理的な設計手法の構築を行っていく予定である。

技術の説明

本工法は、基本的には一般的な高圧噴射攪拌工法と同様であるが、下記に示す特長を有する。

- ・ 造成用ロッドを回転式でなく揺動式にすることで、自由形状の改良体(円形、壁状、扇形、格子状)造成が可能
- ・ 噴射効率を高めることにより、改良半径 $R=4.0\text{m}$ 程度の改良体を構築できる
- ・ 礫混じり土において、転石($\phi 300\text{mm}$ 程度)を巻き込んだ造成が可能である
- ・ 目的に応じた改良域を効率よく造成できるため、低コスト・短工期化が図れる
- ・ 従来工法と比べて、高精度な品質管理が可能である

主な結論

試験施工により、下記の内容が確認できた。

- ・ 改良半径 $R=1.0\text{m}\sim 4.0\text{m}$ の改良体を造成可能。
- ・ 自由形状の改良体を造成できる
- ・ 従来工法と同等の強度特性、変形特性を満足する
- ・ 止水壁としての品質を満足する
- ・ 従来工法に比べて、高精度の品質管理が可能である

*1 本店 土木部 設計G

*2 本店 土木部 営業G

マルチジェット工法の施工実績報告

○安 井 利 彰 手 塚 広 明 ¹
 竹 岡 正 二 ¹ 後 藤 和 彦 ²
 清 水 公 了 ¹ 川 西 敦 士 ¹

要 旨

マルチジェット工法は、高圧噴射攪拌工法に分類される地盤改良工法である。高圧噴射攪拌工法は従来から土留め底盤改良、土留め欠損防護、シールド発進・到達防護など仮設用途で広く用いられてきた。一方、数十年以内に発生の可能性が高い巨大地震に備えて、既設構造物の耐震補強や液状化対策を計画・実施する事例が増加しており、仮設利用だけでなく更に本設利用としてのニーズも高まってきている。マルチジェット工法は、従来の高圧噴射攪拌工法の円形改良だけでなく、扇形、格子状など自由形状の造成が可能であるため、必要な改良範囲を無駄なく造成できる。また、改良直径8.0mと国内最大級の改良が可能な工法である。これらの特徴を活かして、従来工法に比べてコストダウン・工期短縮が可能になった。本設構造物にも採用されてきている。本論文では、マルチジェット工法の施工実績について報告する。

キーワード 高圧噴射攪拌工法 / 大口径 / 自由形状 / 品質管理 / 耐震補強

目 次

- | | |
|---------------|----------|
| 1 . はじめに | 5 . おわりに |
| 2 . 工法の概要 | |
| 3 . 試験施工結果の報告 | |
| 4 . まとめ | |

REPORT ON CONSTRUCTION RESULTS OF MULTI-JET METHOD

Toshiaki YASUI	Hiroaki TEZUKA
Syouji TAKEOKA	Kazuhiko GOTOU
Kimiaki SHIMIZU	Atsushi KAWANISHI

Synopsis:

Multi-jet Method is a kind of high pressure injection mixing methods. High pressure injection mixing methods are extensively used for the temporary structure of open cut, bottom ground improvement of earth retaining, seismic reinforcement, prevention of liquefaction and so on. Moreover this method is recently used for the main structure of the earthquake resist and so on, too.

Each method has the original merits to make system better. But the maximum diameter size of improvement is about 5 meters and almost of these methods can construct only columnar improvement.

At present increase of the size is needed to lower the cost. Furthermore, there are the demands to enable to construct latticed shape and wall. Putting these good points to use, Multi-jet Method can achieve to lower the cost.

In this paper, we report the findings on test construction.

1. はじめに

マルチジェット工法は、高圧噴射攪拌工法に分類される地盤改良工法であり、図-1,2 に示すように小型のボーリングマシンを用いてセメントスラリーを超高圧で地中に吐出してソイルセメント改良体を造成する工法である。従来工法として、C J G , J S G , R J P , Superjet 工法等があり、土留め壁の欠損防護・先行地中梁・底盤改良、シールド工事の発進・到達防護等の主に仮設利用として広く用いられている。

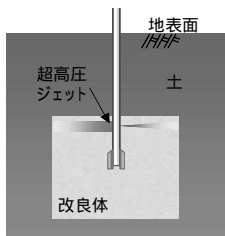


図-1 改良イメージ

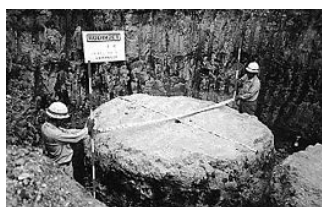


図-2 改良体写真

一方、近い将来、東海・東南海・南海地震をはじめとする巨大地震の発生が予測されており、各種湾岸施設や旧法タンクの液状化対策、発電所をはじめとした既設構造物の耐震補強として、地盤改良の必要性が高まってきている。このような既存施設を対象とした地盤改良では、狭隘な箇所での施工や施設を供用しながらの施工を求められることが多く、小型のボーリングマシンでの施工が可能となる高圧噴射攪拌工法で計画・実施する事例が増加している。高圧噴射攪拌工法は、本設利用としての新たなニーズの拡大と従来の仮設利用としてのニーズとを併せて今後益々需要が見込まれる工法である。

2. マルチジェット工法の概要

2.1 工法の特徴

(1)自由形状改良体

マルチジェット工法は、造成用ロッド(多孔管)を回転式から揺動式にすることにより、従来工法で主に施工されている円形状に加え、扇形、格子状、壁状など自由な形状の造成が可能である(図-3,4,5 参照)。

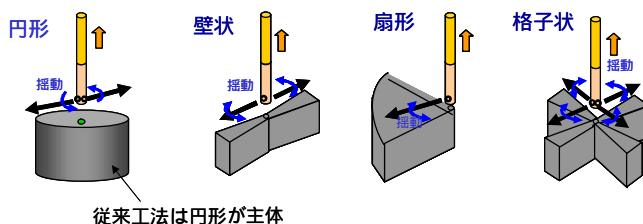


図-3 マルチジェット工法の改良体形状

円形状改良では、設定された改良範囲に対して無駄な改良が発生していたが、自由形状改良体により、効率的な改良が可能となる(図-9 参照)。

(2) 大口径改良

マルチジェット工法は、専用先端モニター(図-6 参照)の採用により、最大改良直径 $\phi 8.0\text{m}$ と国内最大級の大口径改良が可能である。これにより、削孔ピッチの拡大(図-9 参照)による工期短縮、既設構造物直下の地盤改良などのニーズに対応することができる(図-7,8 参照)。



図-4 3方向噴射



図-5 半円状改良体

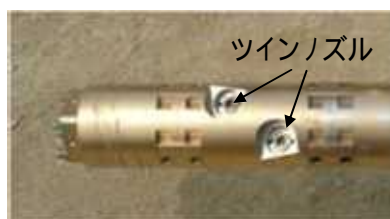


図-6 専用先端モニター



図-7 大口径改良体(改良直径 $\phi 8.0\text{m}$)



図-8 大口径改良体(改良直径 $\phi 8.0\text{m}$)

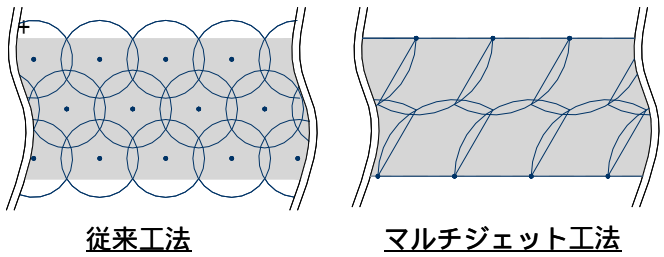


図-9 効率的な地盤改良イメージ

(3) 品質管理システム

高圧噴射攪拌工法は、機械攪拌工法と異なり、高圧ジェットを用いて地盤を切削し、造成体を築造するため、改良径や強度が改良対象地盤の強度に大きく作用される。従来、高圧噴射攪拌工法においては、施工実績に基づいた技術資料から改良径や強度を設定して施工し、必要に応じて1ヶ月後のチェックボーリングで品質確認を行っていた。ただし、以下のような課題がある。

- ・品質が確認できるのは、施工開始から1ヶ月以上経過した後になる。
- ・チェックボーリングで改良径を確認する場合、チェックボーリングや改良体自体が地盤中で曲がっている可能性があるため、改良径を精度良く確認することが困難である。

今後、需要が多くなる本設構造物としての用途では品質管理が今まで以上に重要となる。そこで、従来工法にない付加価値として、施工直後に改良径、改良強度、削孔精度を確認できるシステムを確立した。

これらの品質管理手法を用いることで、本設構造物の要求品質を満足することができる。

施工状況および改良位置

造成用マシンに付属している管理装置により、施工の状況（深度、流量、圧力など）をリアルタイムに把握しながら施工を行う(図-10,11 参照)。



図-10 マルチジェット工法専用管理システム

また、造成モニター直上部の多孔管内に内蔵したデジタルオンライン（傾斜計&磁気方位計）により、削孔精度をリアルタイムで測定することができる(図-12,13,14

参照)。これにより、削孔精度に応じた噴射方向、噴射角度などの修正を迅速に行うことができる。



図-11 マルチジェット工法管理装置画面



図-12 デジタルオンライン

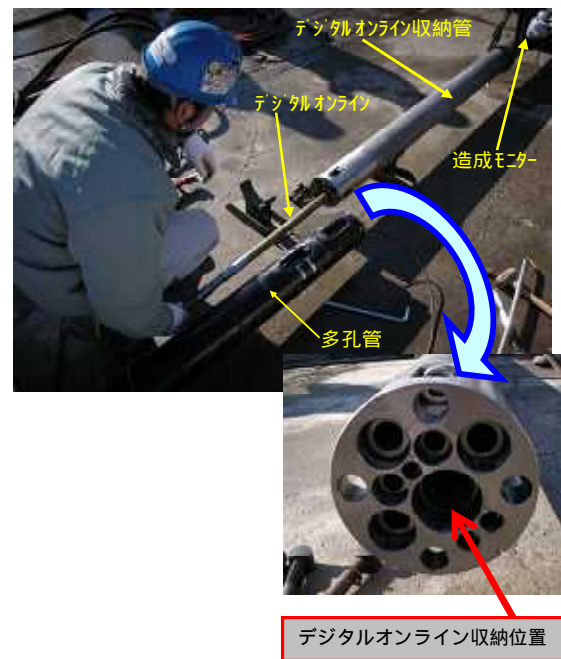


図-13 デジタルオンライン設置時状況

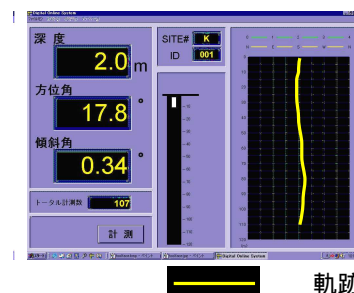
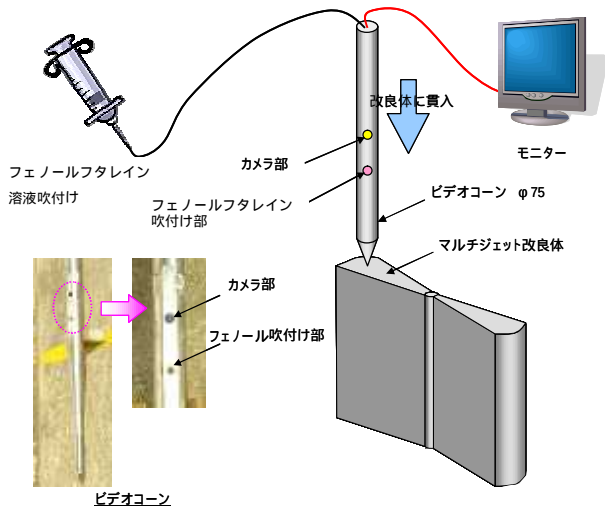


図-14 削孔精度のリアルタイム管理

改良径の測定

施工直後に、ロッド内に小型カメラを内蔵したビデオコーンを改良地盤内に挿入し、未固結改良体映像をモニターで直接視認することにより、改良径を確認することが可能である。また、ビデオコーンにもデジタルオンラインを装着することにより、測定位置が明確になるため、精度の高い改良径の測定が可能となる。この方法は改良径の判断に専門知識を伴わないことから、分かりやすい方法であると思われる(図-15,16 参照)。



ビデオコーン

改良土が着色したところをカメラで視認することが可能。

図-15 ビデオコーンでの測定イメージ

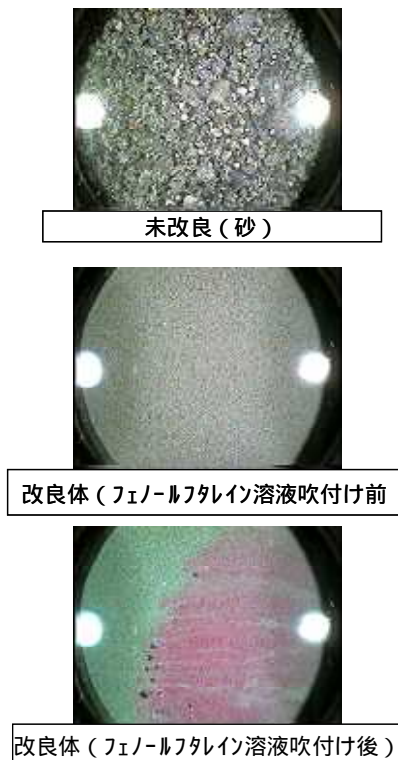


図-16 ビデオコーンのイメージ画像

改良強度・剛性

施工直後に、サンプリングコーン(図-17)を用いて採取した未固結改良体をモールドに詰めて高温で促進養生することにより、施工後3日程度で28日材例の改良体の強度・剛性を予測する(図-17,18 参照)。

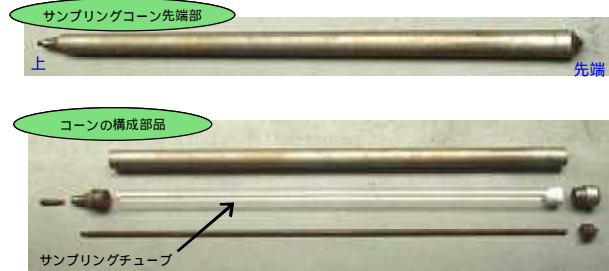


図-17 サンプリングコーン

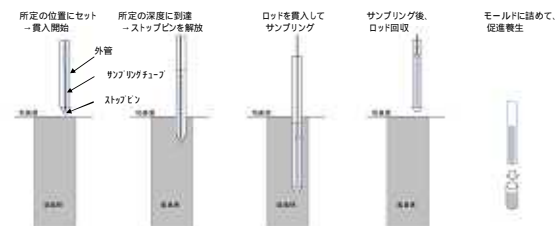


図-18 サンプリングコーン施工手順

(4) 礫混じり土への対応

従来の高圧噴射攪拌工法は、噴射1方向に対してノズルは1個の場合がほとんどであるため、地盤に転石が含まれている場合、背面が影になり改良できないことがあった。マルチジェット工法は、ツインノズルの採用(場合によっては3ノズル、4ノズルも可能)により、噴射エネルギーが増大し、礫混じり土に含まれている転石が動きやすくなる。よって、転石を巻き込んだ改良体の造成が可能である(図-19 参照)。

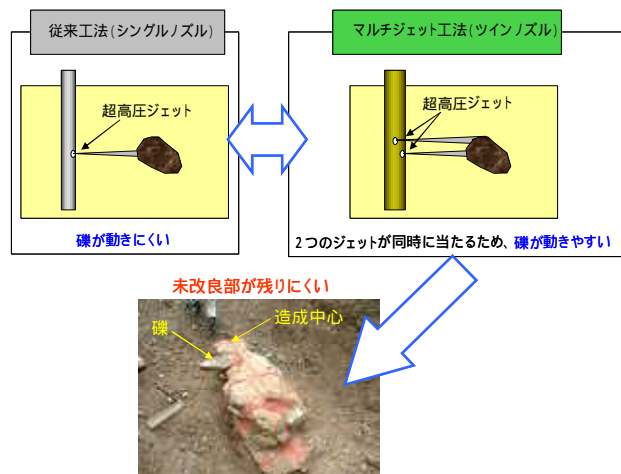


図-19 礫混じり土への対応

2.2 標準施工仕様

マルチジェット工法の標準施工仕様を表-1 に示す。

表-1 マルチジェット工法標準施工仕様

項目	仕様		
噴射方法	超高压硬化材液と圧縮空気		
使用ロッド	多孔管（4～10孔）		
1 噴射方向あたりノズル数	2～4		
最大到達距離	4.0m		
		標準値	単位
圧縮空気	吐出圧力	1.05	Mpa
	吐出量	3～4	Nm ³ /min
硬化材	吐出圧力	40	Mpa
	吐出量	150～600	ℓ/min

2.3 施工手順

マルチジェット工法の施工は、以下の手順で実施する。

クレーンにてボーリングマシン据付（位置合わせ）およびジェット削孔による多孔管（および造成モニター）建て込み

削孔完了（噴射方向セット、深度確認）

造成（多孔管先端に取り付けた造成モニターのノズルより高压セメントミルクをエアートともに地盤に吐出）

造成完了

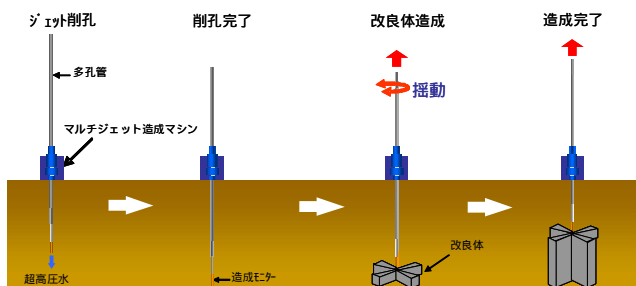


図-20 マルチジェット施工順序

2.4 施工機械

(1) 造成マシン

一般的な高压噴射攪拌工法に用いるボーリングマシンと同じであるが、精度の高い揺動運転などに対応するため、機械的な改造を加えている(図-21 参照)。



図-21 ボーリングマシン

(2) 多孔管・造成モニター

マルチジェット工法では、注入口ロッドとして多孔管（φ142mm）を用いており、この多孔管は、硬化材・削孔水・エアーを送るための孔や改良位置計測用のデジタルオンラインを収納するための孔など、多数の孔を有している。

多孔管先端には高压セメントミルクをエアートともに地盤に水平方向に吐出するためのノズルを有した造成モニターが接続してある。従来工法では片側または両側方向に1つのノズル（シングルノズル）を有しているが、マルチジェット工法では、片側・両側または複数方向に各々2つのノズル（ツインノズル）を有している。図-22 は両側噴射のツインノズルの場合の噴射状況である。また、造成モニターの先端（下端）には、削孔用噴射ノズルが設置されており、施工手順に示すように多孔管建て込み時にジェット削孔（図-23）が可能である。これにより、削孔～造成が一連で施工できるばかりでなく、削孔時間を短くすることが可能である。



図-22 両側噴射状況



図-23 ジェット削孔状況

(3) プラント設備

プラントの構成は、図-24、25 に示すように、従来の高压噴射攪拌工法とほぼ同じである（サイロ、ミキシングプラント、超高压ポンプ（40MPa）、発電機、コンプレッサー、水槽など）。



図-24 プラント概観

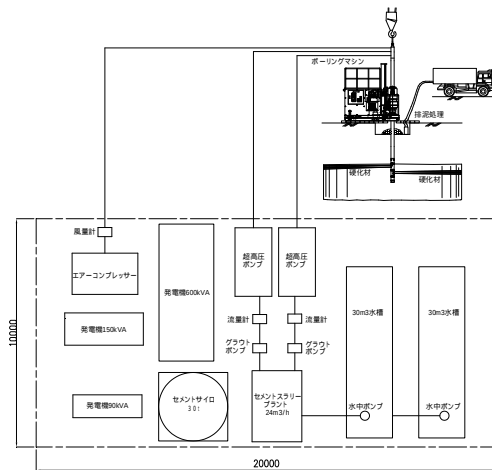


図-25 プラント配置例

2.5 主な用途・ニーズ

高圧噴射攪拌工法の従来からの主用途である仮設利用では、コストダウンが求められている。マルチジェット工法では、改良体積・削孔本数の低減により、従来工法に対してコストダウン・工期短縮が可能となる。

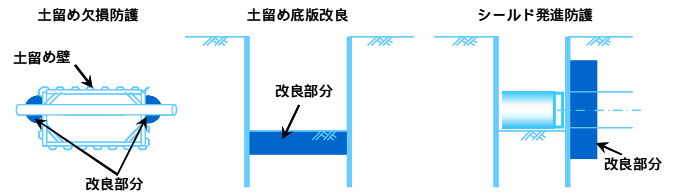


図-26 仮設構造物への適用例

また、高圧噴射攪拌工法の本設構造物へのニーズも増えてきており、マルチジェット工法は高精度な品質管理により、要求品質を確保する。

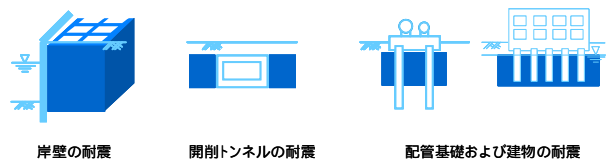


図-27 本設構造物への適用例

2.6 従来工法との比較

改良形状、改良径、礫混じり土(転石)への対応、品質管理について、従来工法と比較した結果を表-2に示す。

表-2 従来工法との比較一覧

マルチジェット工法		従来工法 (JSG,CJG,RJP,Superjet-midi,Superjet等)
自由形状(C,E)	円形、扇形、壁状、格子状の造成が可能	円形のみ(RJP工法は扇形も可)
大口径改良(C,D)	φ 2.0m ~ 8.0mの造成が可能 (国内最大径)	JSG,CJG……………φ 2.0m RJP……………φ 3.2m Superjet-midi……………φ 3.5m Superjet……………φ 5.0m
礫混じり土(転石)への対応(Q)	礫を巻き込んだ造成が可能	礫の背面はジェット噴流の影になるため、造成が出来にくい
高品質管理(Q)	改良位置	デジタルオンラインにより、リアルタイムに位置、方向をモニタリング
	改良径	ビデオコーンにより、改良直後に改良径測定
	改良強度(剛性)	サンプリングコーンにより採取した改良体を促進養生することで、3日程度で改良強度・剛性を予測

2.7 施工実績

の適用実績を表-4 に示す。

マルチジェット工法の試験施工実績を表-3 に本施工へ

表-3 試験施工実績

件名	年月	場所	試験項目	数量(m ³)
試験施工 1	H18.3	茨城県 取手市	・改良径、改良形状の確認(関東ローム、砂層) ・改良強度、変形係数の確認	約50.0
試験施工 2	H19.3	愛知県 東海市	・改良径、改良形状の確認(砂層) ・改良強度、変形係数の確認 ・管理システムによる施工管理方法の確認 ・削孔精度、噴射方向のリアルタイム確認方法 ・改良直後の改良径確認(ビデオコーン)	約50.0
試験施工 3	H19.7	和歌山県 海南市	・改良径、改良形状の確認(砂礫地盤) ・改良強度、変形係数の確認	約50.0
試験施工 4	H19.9	愛知県 東海市	・改良径、改良形状の確認(砂層) ・改良強度、変形係数の確認	約35.0
試験施工 5	H20.1	愛知県 東海市	・改良径、改良形状の確認(砂層) ・改良強度、変形係数の確認 ・削孔精度、噴射方向のリアルタイム確認方法 ・改良直後の改良径確認(ビデオコーン) ・改良後3日程度での改良強度推定(サンプリングコーン)	約30.0
試験施工 6	H20.1	大阪府 守口市	・改良径、改良形状の確認(砂層、粘土層、シルト層) ・改良強度、変形係数の確認	約35.0
試験施工 7	H20.2	埼玉県 比企郡	・改良径、改良形状の確認(関東ローム、砂礫層) ・改良強度、変形係数の確認 ・削孔精度、噴射方向のリアルタイム確認方法 ・改良直後の改良径確認(ビデオコーン) ・改良後3日程度での改良強度推定(サンプリングコーン)	約200.0
試験施工 8	H20.3	愛知県 知多郡 武豊町	・改良径、改良形状の確認(硬質粘土層、砂礫層) ・改良強度、変形係数の確認 ・削孔精度、噴射方向のリアルタイム確認方法	約40.0

表-4 本施工への適用実績

件名	年月	場所	発注者	用途	数量(m ³)	実施会社
物流施設地震(液状化)対策工事	H19.6 ~ H20.1	愛知県東海市	A 社	岸壁耐震補強	3,373	前田建設工業㈱
阪和自動車道海南インターチェンジ工事	H19.7	和歌山県海南市	西日本高速道路(株)	土留壁土圧低減	630	前田建設工業㈱
C工場地震(液状化)対策工事	H19.9 ~ H20.3	愛知県東海市	B 社	岸壁耐震補強	3,116	前田建設工業㈱
D工場地震(液状化)対策工事	H19.11 ~ H20.2	愛知県東海市	B 社	岸壁耐震補強	1,615	前田建設工業㈱
一級河川寝屋川大日南調節池築造工事(取水施設工)	H20.1 ~	大阪府守口市	大阪府寝屋川水系改修工管所	シールド発達立坑地盤改良	1,068	国誉・南野建設 共同企業体

3. 試験施工結果の報告

3.1 試験施工対象土質

表-5 に試験施工を実施した土質を示す。また、紙面の都合上、最近実施した試験施工 6,7,8 について土質柱状図を示す。青枠で囲んだ範囲は造成を実施した深度である。

表-5 試験施工対象土質一覧

試験施工No.	土質	N 値
試験施工1	粘性土	3 ~ 6
	砂質土	5 ~ 34
試験施工2	砂質土	1 ~ 6
試験施工3	砂礫	5 ~ 20
試験施工4	砂質土	6
試験施工5	砂質土	6
試験施工6	砂質土	16 ~ 23
	粘性土	1 ~ 7
試験施工7	粘性土	3
	砂礫	13 ~ 21
試験施工8	粘性土	4 ~ 11
	砂礫	30 ~ 120

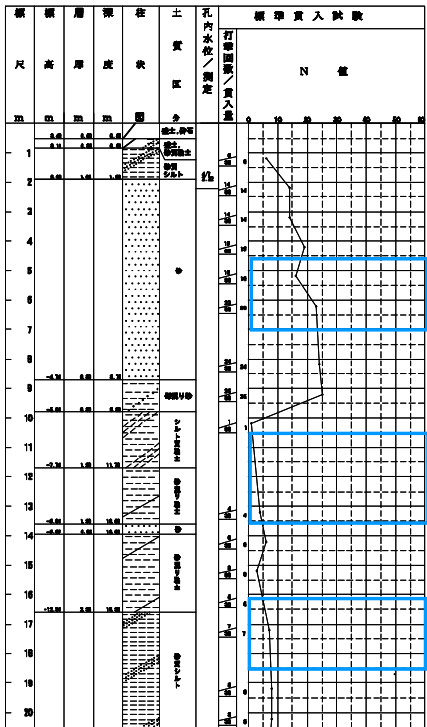


図-28 土質柱状図(試験施工 6)

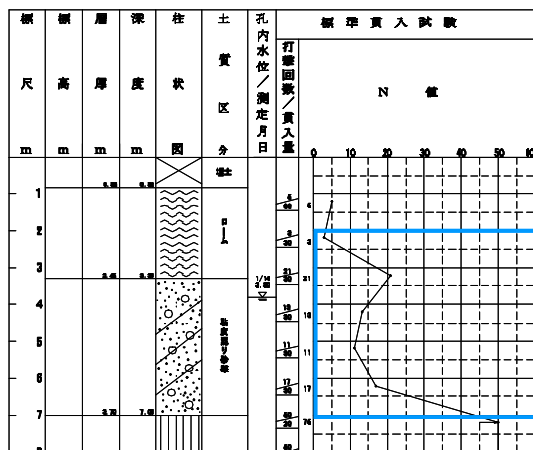


図-29 土質柱状図(試験施工 7)

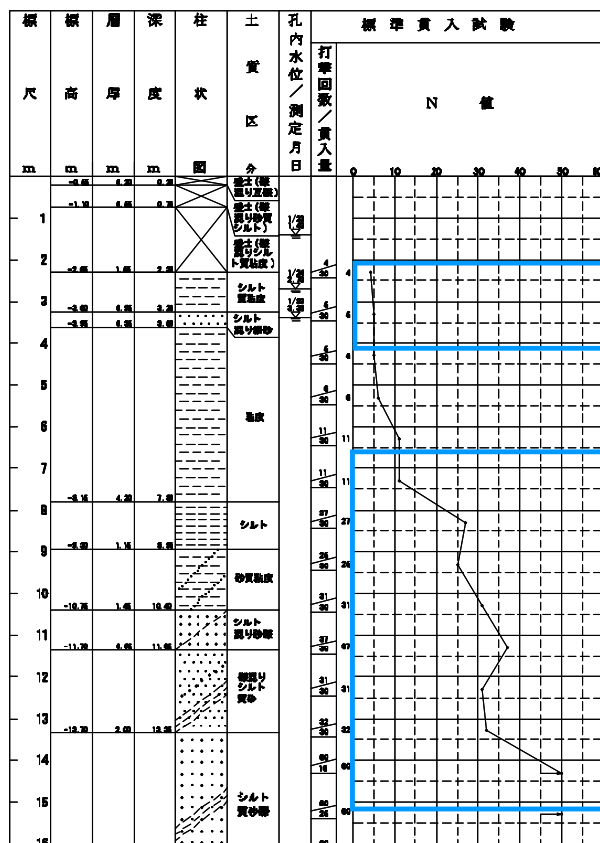


図-30 土質柱状図(試験施工 8)

3.2 改良径

各土質の改良半径測定結果を図-31～33に示す。試験施工は、ケースごとに造成仕様(吐出量: l /分、揺動速度: rpm、切削回数: 回/STEP、引上げ STEP 高さ: cm/STEP など)を変化させて実施した。一部、チェックボーリングや塩塩管からの噴出しによる確認結果もあるが、基本的に造成完了後に掘削して出来形を確認した。目標改良径に応じて、造成仕様を制御することで、概ね、改良半径 $R=1.0\sim4.0m$ の改良体を造成することができた。

図中に赤線で従来工法の有効改良半径を示す。

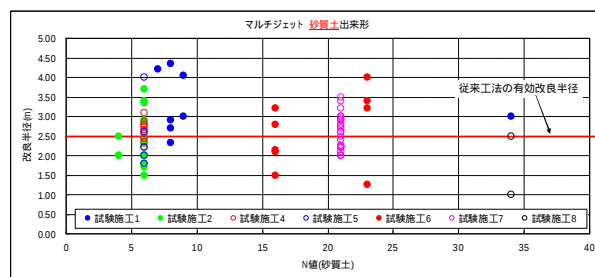


図-31 改良径測定結果(砂質土)

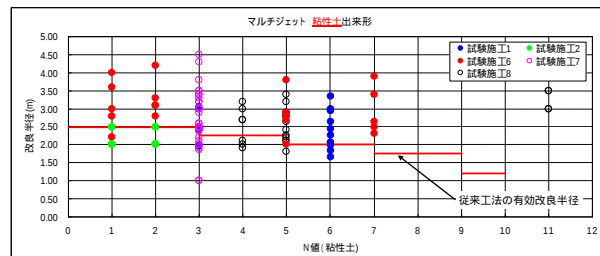


図-32 改良径測定結果(粘性土)

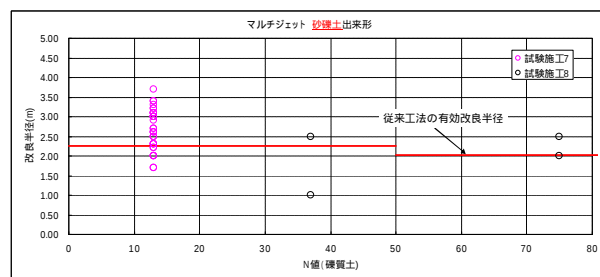


図-33 改良径測定結果(砂礫)



図-34 掘削による出来形確認例(粘性土)

3.3 改良形状

改良形状については、壁状、半円状、3方向噴射、多方向噴射などの出来形を掘削により確認した(図-4,5,35,36 参照)。図-37は、ローム層から砂礫層まで連続的に造成した改良体を掘削により掘り出した結果である。土質層境も良好に改良されている。



図-35 壁状改良体



図-36 多方向改良体

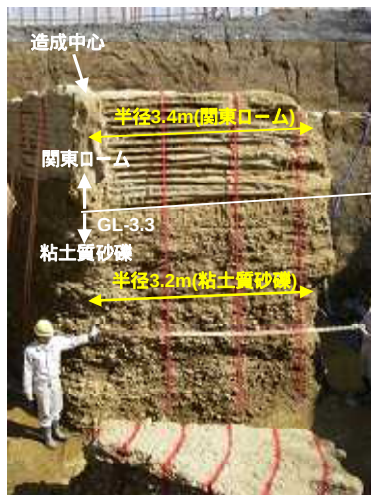


図-37 ロームと砂礫の改良体

3.4 改良強度

土質ごとの改良体の一軸圧縮強度 q_u (kN/m²) を図-38 ~ 42 に示す。基本的に 4 週強度である。粘性土および砂質土ともに、従来工法の技術資料に記載されている設計基準強度(表-6 参照)をほぼ満足することが確認できた。

表-6 従来工法の改良体設計基準強度

硬化材	土質	一軸圧縮強度 q_u (MN/m ²)	粘着力 c (MN/m ²)	付着力 f (MN/m ²)	曲げ引張強度 (MN/m ²)	変形係数 E_{50} (MN/m ²)
標準タイプ	砂質土	3	0.5	(1/3) c	(2/3) c	300
	粘性土	1	0.3			100

(注)砂礫は砂質土に準ずる。

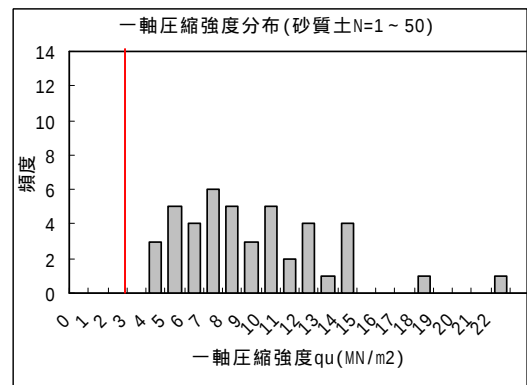


図-38 一軸圧縮強度試験結果(砂質土)

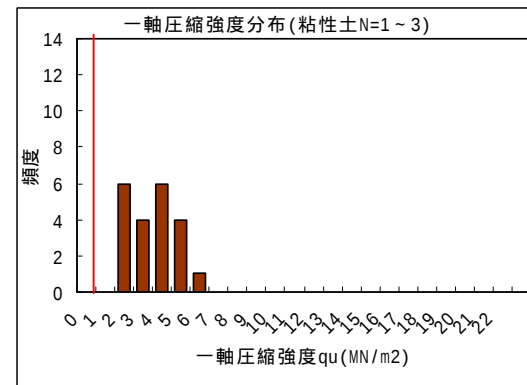


図-39 一軸圧縮強度試験結果(粘性土 1)

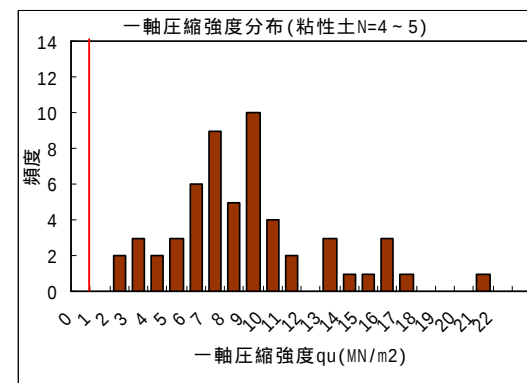


図-40 一軸圧縮強度試験結果(粘性土 2)

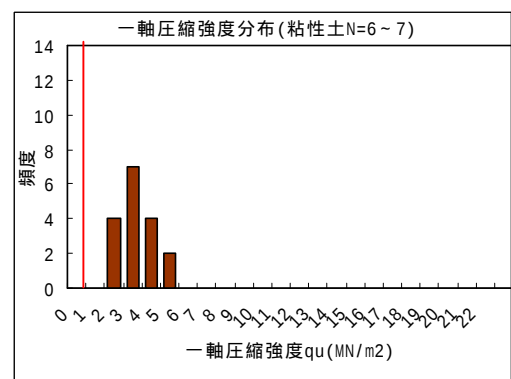


図-41 一軸圧縮強度試験結果(粘性土 3)

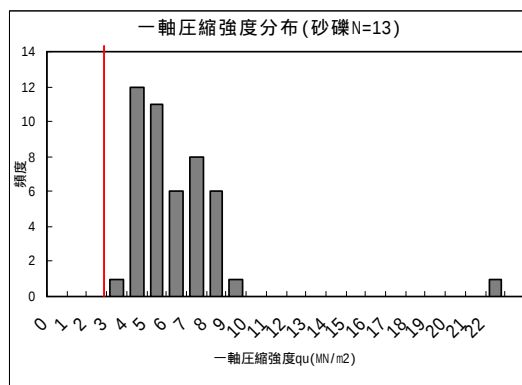


図-42 一軸圧縮強度試験結果(砂礫)

また、図-43 に土質ごとの変形係数 E_{50} (kN/m²) と一軸圧縮強度 q_u (kN/m²) の関係を示す。概ね、 $E_{50}=300 \times q_u$ 以上を満足する結果を得た。また、図-44 に改良体断面を示す。

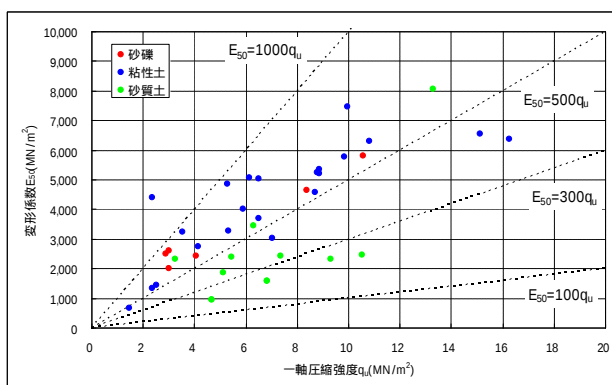


図-43 変形係数 E_{50} 一軸圧縮強度 q_u 関係(砂質土)



図-44 改良体断面状況

3.5 遮水性能

マルチジェット工法は壁状に施工することが可能であるため、遮水壁としての用途にも対応可能である。当社東京支店機材センター内で実施した遮水壁としての品質確認試験結果を示す。土質柱状図は、図-29 に示す。試験施工は、GL-2.0 ~ -7.0m まで造成し、その後、掘削により出来形確認、サンプリング、泥岩との岩着状況確認、礫地盤での改良状況確認を実施する計画であった。地下

水が GL-3.8m 付近であり、止水対策を実施しないと、GL-7.0m まで掘削できない状況であった。

そこで、図-45, 46 に示すように、試験施工改良体の周りにマルチジェット工法で止水壁を構築した。止水壁下端は泥岩に岩着させた(図-48 参照)。図-49 に示すように、止水壁で囲まれている箇所では、地下水位以下で容易に改良体の確認ができた。これより、マルチジェット工法改良体は、止水壁としての用途にも対応可能である。なお、試験施工改良体の現場透水試験、岩着部の付着力試験等の定量的な確認は、これから実施する予定である。

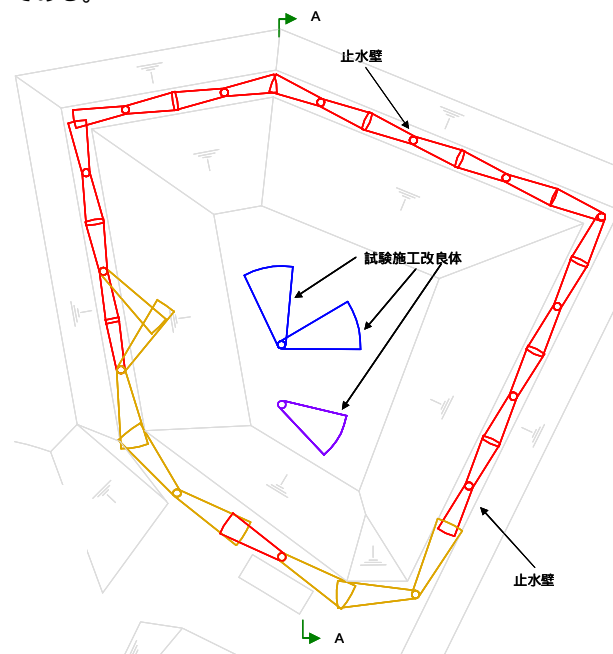


図-45 遮水壁施工平面図

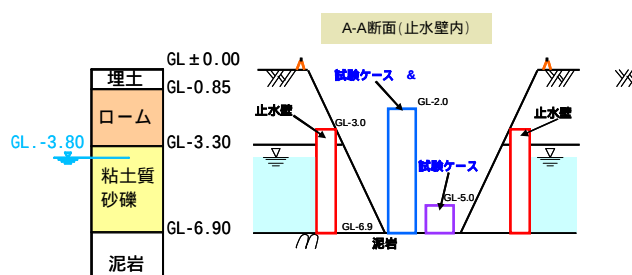


図-46 遮水壁施工断面図(A - A 断面)



図-47 試験施工改良体



図-48 改良体と泥岩との岩着状況



図-49 地下水位以下での改良体見学状況

4. まとめ

これまで実施してきた試験施工で得られた結果を以下にまとめる。

- ・ 改良半径 $r = 1.0 \sim 4.0\text{m}$ の改良体を造成できる
- ・ 従来工法と同等の強度特性、変形特性を有する
- ・ 自由な形状の改良体を造成できる
- ・ 止水壁としての品質を満足する
- ・ 従来工法にはない高精度な品質管理が可能である

5. おわりに

従来工法と比較して低コスト・工期短縮が可能という本工法の特徴を生かし、大型の土木工事であるA社物流施設地盤対策工事をはじめとした工事の受注に貢献することができた。現在、港湾施設や旧法タンクの液状化対策を中心とした民間営業を全国的に展開しており、総合評価入札や現場での設計変更に対しても積極的に提案を行っていく予定である。また、更なるコストダウンを目指した検討を行っていく予定である。今後、高圧噴射攪拌工法のニーズは増えると予想されるため、更なる受注機会の拡大、現場利益への貢献を図りたいと考えている。

謝辞：本報告の執筆において、試験施工に協力していただいた中部支店、関西支店、東京支店機材センター、国営・南野建設共同企業体、有限会社 TACC の皆様に末筆ではありますが、御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 安井，森田，手塚，細川，小川：高圧噴射攪拌工法の試験施工に関する報告，前田技術研究所報 VOL.47，pp7-1～7-11，2006
- 2) ジェットグラウト工法 技術資料 日本ジェットグラウト協会
- 3) Superjet 工法技術資料 Superjet 研究会
著者名：論文表題，誌名，巻号，ページ，発行年。
- 4) 八尋揮夫・吉田宏・西謙治：わかりやすい建築技術ウォータージェットを利用した地下工法、鹿島出版会