

自由形状・大口徑の高圧噴射攪拌工法 —マルチジェット工法—

川西敦士¹・安井利彰²・竹岡正二¹・山内崇寛¹

¹前田建設工業株式会社 土木事業本部（〒179-8903 東京都練馬区高松5-8 J.CITY）

²前田建設工業株式会社 技術研究所（〒179-8914 東京都練馬区旭町1-39-16）

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が、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本設利用としてのニーズも高まってきた。マルチジェット工法は、従来の高圧噴射攪拌工法の主流である円形改良だけでなく、扇形、格子状など自由な形状の造成が可能であるため、必要な範囲を無駄なく改良でき、また改良直径8.0mと国内最大の改良が可能で、これらの効果により従来工法に比してコストダウンが可能となる。本稿では、本工法の現状と今後の展開について紹介する。

キーワード：高圧噴射攪拌工法、耐震補強、液状化対策

1. はじめに

高圧噴射攪拌工法は、小型のボーリングマシンを用いてセメントミルクやエアーを超高圧で地中に吐出し、原地盤と混合攪拌することでソイルセメント改良体を造成する工法である。セメントミルクの吐出量や吐出圧力等によって、改良径の異なる各種の工法が実用化されており、主として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・到達防護等の仮設利用として広く用いられている。

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、各種港湾施設を中心とした液状化対策・耐震補強や、発電所施設、特に原子力発電所施設では、新耐震指針に伴う耐震信頼性向上のために地盤改良の必要性が高まっている。

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、小型の施工機械で施工可能な高圧噴射攪拌工法で計画・実施する事例が増加している。

マルチジェット工法は、このような背景を踏まえて、従来の高圧噴射攪拌工法に対してコストダウン、工期短縮、既設構造物への影響低減、本設構造物と

しての高い品質確保等を目的として開発された自由形状・大口徑改良可能な高圧噴射攪拌工法である。

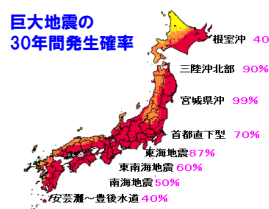


図-1 巨大地震の発生確率⁽¹⁾



写真-1 地震被害状況

2. 工法概要

(1) 特徴

a) 自由形状

注入用のロッドを揺動しながら造成することにより従来工法で主流であった円形改良のみだけでなく、自由な形状（壁状、扇形、格子状など）の改良が可能である。

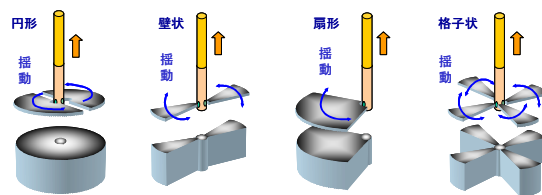


図-2 マルチジェット工法の改良体形状



写真-2 多方向改良体



写真-3 半円状改良体



写真-4 3方向改良体



写真-5 格子状改良体

b) 大口径改良

従来工法の最大改良直径は $\phi 5.0\text{m}$ 程度であったが、本工法はツインノズルを用いたジェット噴流等の工夫により、 $\phi 8.0\text{m}$ （半径 $R=4.0\text{m}$ ：砂質土、関東ローム、粘土質砂礫で確認済み）までの大口径改良が可能である。

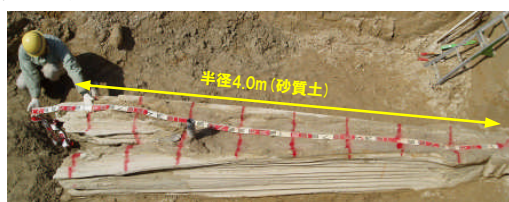


写真-6 大口径改良体

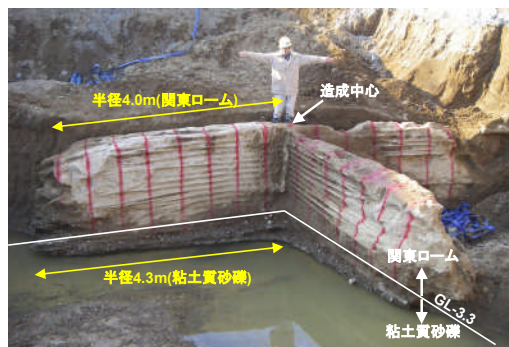
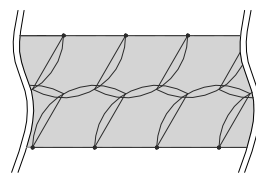
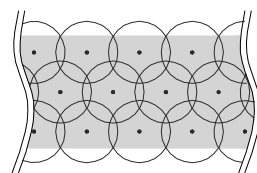


写真-7 大口径改良体（3方向噴射）

自由形状および大口径改良の特徴により、必要な設計改良範囲に対して無駄のない改良や施工本数の低減が可能となるため、コストダウンや工期短縮を図ることができる。また、造成時に発生する排泥量も低減することができるため、コストダウン効果と併せて環境負荷低減も図ることができる。



マルチジェット工法



従来工法

...設計改良範囲

図-3 マルチジェット工法のコストダウン効果例

c) 礫混じり土への対応

シングルノズルである従来工法では、礫径が大きな場合には、礫背面がジェット噴流の影になってしまい未改良部が残りやすい。本工法では、ツインノズルの採用により、礫をジェット噴流により浮かせた状態にできやすいため、礫を巻き込んだ造成が可能である。したがって礫を多く含む盛土や埋め戻し土にも適用ができる。



写真-8 砂礫改良体全景

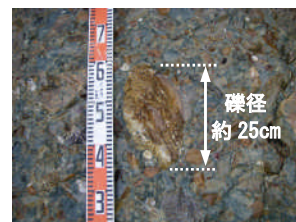


写真-9 砂礫改良体断面

d) 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。

当社敷地内で実施した遮水性能確認試験の改良体配置図を示す(図-4)。対象土質は透水性の大きい粘土質砂礫であり、改良体は泥岩に着底させるように造成した。地下水位はGL-3.8m付近であり、約3mの水頭差を遮水壁内外で生じさせている。写真-11に示すように、遮水壁で囲まれている箇所の漏水はほとんどなく、マルチジェット改良体の遮水性能が確認できた。

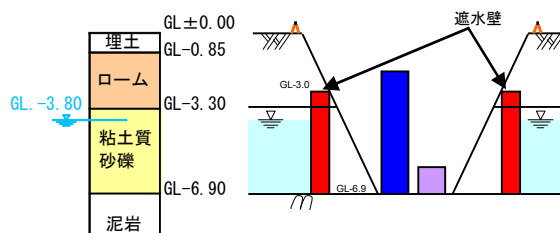


図-4 遮水性能確認試験改良体配置図



写真-10 粘土質砂礫



写真-11 遮水壁内の状況

(2) 施工方法

a) 施工仕様

マルチジェット工法の施工仕様を表-1に示す。マルチジェット工法では適切な噴射仕様を採用することにより、任意の改良径を造成することが可能である。

表-1 施工仕様

項目	仕様
噴射方法	超高圧硬化材液と圧縮空気
使用ロッド	多孔管(9孔)
1方向噴射あたりノズル数	2～4個
硬化材圧力	40MPa
硬化材吐出量	150～600L/min
引き上げ速度	任意(条件毎に設定)

b) 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。

- 1) クレーンによる造成マシンの据付 (位置合わせ)
- 2) ジェット削孔による多孔管・造成モニターの建て込み
- 3) 多孔管・造成モニター建て込み完了 (方向セット、深度確認)
- 4) 造成 (造成モニターのノズルより超高圧セメントミルクをエアートともに地盤に吐出し、多孔管を揺動させながら改良天端まで引き上げ)
- 5) 造成完了

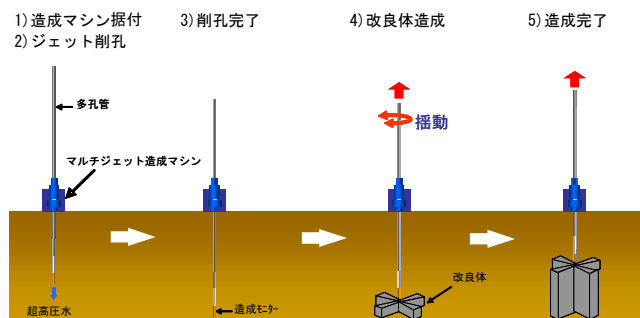


図-5 施工順序図

c) 施工機械

①造成マシン

造成マシンは基本的に、一般的な高圧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。



写真-12 造成マシン

②多孔管・造成モニター

マルチジェット工法では、注入ロッドとして多孔管を用いている。この多孔管は、造成中にジェット噴射する硬化材・削孔水・エアを送るための孔や改良位置計測用の計測器を収納するための孔など、多数の孔を有している。多孔管(写真-14)先端には超高圧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)(図-6)を有している。図-13は両側噴射のツインノズルの場合の気中噴射状況である。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、多孔管建て込み時にジェット削孔(写真-15)が可能である。これにより、削孔から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。



写真-13 気中噴射状況

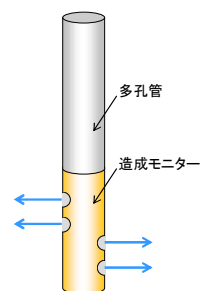


図-6 ツインノズル



写真-14 多孔管



写真-15 ジェット削孔

③プラント設備

プラントの構成は、写真-16に示すように従来の高圧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）。



写真-16 プラント全景

3. 早期品質確認システム

高圧噴射攪拌工法は、機械攪拌工法と異なり、超高压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左右される。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ヶ月程度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。

[課題1] 品質が確認できるのは、施工開始から1ヶ月程度経過した後になる。

[課題2] 改良体硬化後にチェックボーリングによって改良径を確認する場合、ボーリングの孔曲がりが生じやすいため、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改良体の品質が従来以上に重要となる。マルチジェット工法では、通常の品質管理（チェックボーリングと一軸圧縮試験）に加えて、施工直後に改良位置、改良径、改良強度・剛性を確認することにより、改良体の要求品質不足を回避し、改良体の品質を向上させることが可能である。

(1) 施工管理および改良位置

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。



写真-17 管理装置確認状況



写真-18 管理装置

図-7 造成時の画面

また、造成モニター直上部の多孔管内に内蔵した計測器（傾斜計&磁気方位計）により、削孔時の孔曲がりと造成時の噴射方向をリアルタイムで精度良く測定することが可能である。

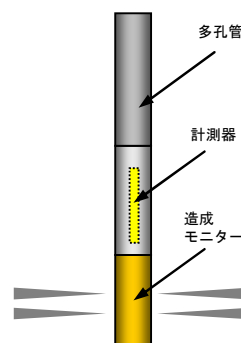


図-8 計測状況

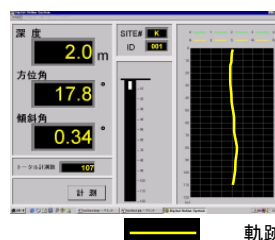


写真-19 孔曲がり測定画面



写真-20 噴射方向画面

(2) 改良径

施工直後（硬化前）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、ビデオコーンにも計測器（傾斜計&磁気方位計）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。

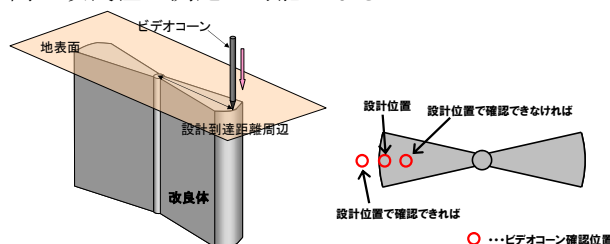


図-9 改良径確認状況



写真-21 未改良(砂)



写真-22 改良体

(3) 改良強度・剛性

施工直後（硬化前）にサンプリングコーンにより採取した改良体をモールドに詰めて養生し、材齢強度曲線を用いて施工後3日程度で28日材齢の改良体の強度・剛性を予測することが可能である。

4. 既設構造物や周辺環境への影響低減

(1) 自由形状や大口径を生かした影響低減

a) 構造物側方の改良

構造物に向けて噴射せずに近接した改良が可能のため、構造物の変状や防水シートの破損が生じない。

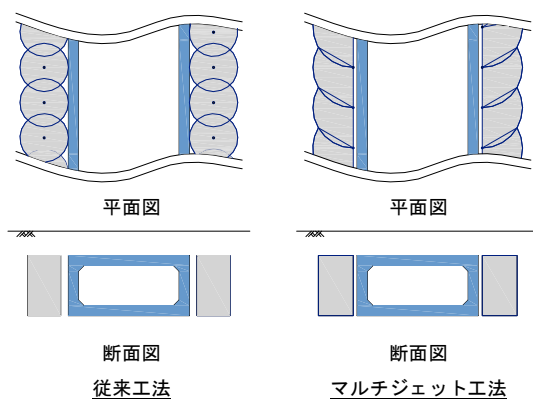


図-10 ボックスカルバート側方の改良

b) 構造物直下の改良

大口径改良が可能であるため、既設構造物をコアリングすることなく直下の改良が可能である。

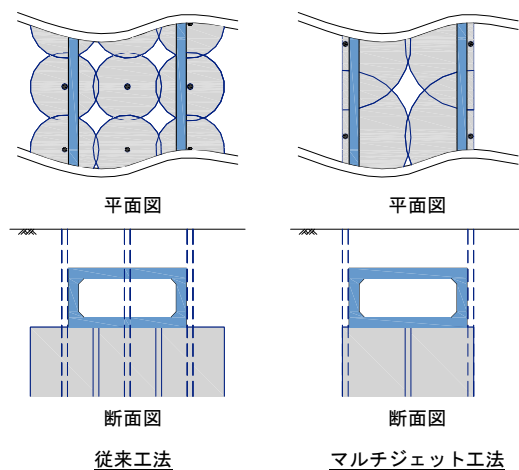


図-11 ボックスカルバート直下の改良

c) 岸壁背面の改良

海側改良体を壁状改良とすることで、従来工法の円形改良と異なり、鋼矢板に向かって噴射する必要がなくなるため、海へのスラリー漏洩リスクが低減できる。

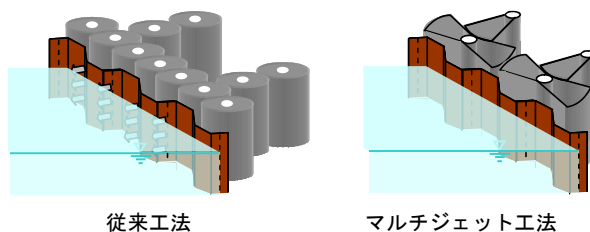


図-12 岸壁背面の改良

(2) 排泥閉塞リスクの低減

高圧噴射攪拌工法は地盤改良工法の中で最も既設構造物への影響が小さい工法であるが、施工中に排泥閉塞が発生すると地盤内の圧力が上昇し、地盤変位が発生する可能性がある。マルチジェット工法では、以下に示す機構により排泥閉塞リスクを小さくすることが可能である。

a) バックエア機構

ロッドに取り付けたバックエア管から上向きにエアを吐出することにより、排泥の排出をスムーズにすることができる。

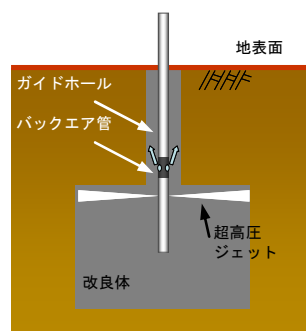


図-13 バックエア機構



写真-23 バックエア管

b) 地内圧測定機構

地内圧測定センサーをロッドに取り付けて、施工中の地内圧を監視することが可能である。

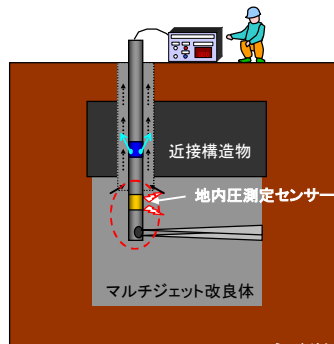


図-14 地内圧測定機構



写真-24 センサー部

5. 主な用途

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、改良体積及び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。

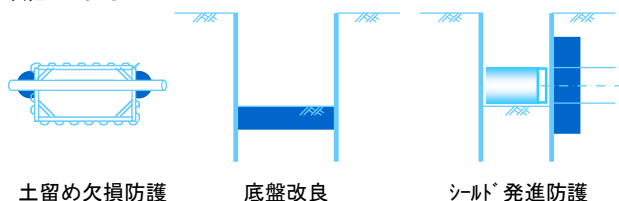


図-15 仮設における適用例

また、早期品質確認システムによって改良体品質を向上させることで、近年増加している本設構造物へのニーズにも対応することができる。

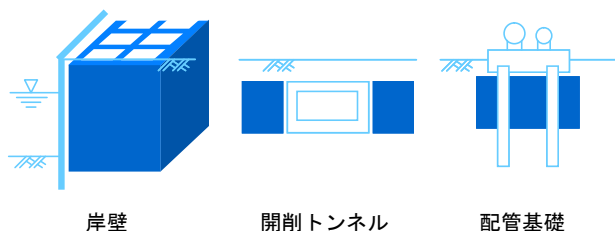


図-16 耐震補強における適用例

6. おわりに

本工法の施工実績は現在10件であるが、今後本格的な普及を目指し、施工仕様・硬化材の合理化や効果的な改良形状の検討、その他各種ニーズに対応するための改良を今後行っていく予定である。

参考文献

- 1) 緊急地震速報のリーディングカンパニー（株）Jコーポレーション
- 2) 手塚広明，安井利彰，竹岡正二：自由形状・大口径の高圧噴射攪拌工法—マルチジェット工法—，電力土木，No. 335，pp. 73-75，2008
- 3) 手塚広明，森田浩二，安井利彰，細川雅則，小川朗二：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. 47，2006
- 4) 安井利彰，手塚広明，竹岡正二，後藤和彦，清水公了，川西敦士：マルチジェット工法の施工実績報告，前田技術研究所報，vol. 49，2008
- 5) 手塚広明，安井利彰，竹岡正二，川西敦士：自由形状・大口径の高圧噴射攪拌工法—マルチジェット工法—，基礎工，vol. 37，No. 5，pp. 85-87，2009