１１．自由形状・大口径高圧噴射撹拌工法

ーマルチジェット工法ー

前田建設工業㈱　　○ 安井　利彰
手塚　広明
竹岡　正二

１．はじめに

マルチジェット工法は、高圧噴射撹拌工法の一種である。

高圧噴射撹拌工法は，小型のボーリングマシンを用いて硬化材と圧縮空気を超高圧(30～40Mpa)で吐出し、地盤と混合撹拌する地盤改良工法である。硬化材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いる。

従来の高圧噴射撹拌工法は、回転方式での改良体造成が主流であった。マルチジェット工法は、揺動方式による改良体造成により、扇形、壁状および格子状などの自由形状の改良体造成が可能である。また、専用モニターにツインノズルおよび高性能整流装置を装備し、ノズル吐出量(ℓ/分)や引上時間(分/m)を調節することで、改良半径 1.0～4.0m程度までの改良体造成を実現した。

自由形状および大口径改良により、従来工法に比べて必要改良範囲を無駄なく施工することができ、それに伴う排泥量も30%程度減少するため、低コストで環境にやさしい工法である。

一方、地盤改良の必要性は、各種港湾施設を中心とした液状化対策、耐震補強および発電所施設の耐震信頼性向上という観点で高まっている。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撹拌工法で計画・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，従来の高圧噴射撹拌工法に比してコストダウン，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・大口径改良が可能な高圧噴射撹拌工法である。

２．適用範囲

従来の土留め欠損防護、土留め底盤改良およびシールド発進・到達防護の仮設利用に加え、前述の既存施設の耐震補強、液状化対策などにも適用ニーズが高まってきている（図-1 参照）。

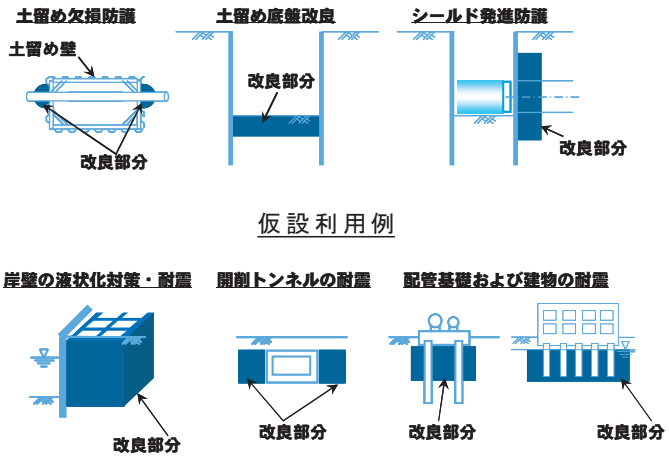


図-1　マルチジェット工法の適用例

３．工法の概要

3.1　特徴

(1)自由形状改良(扇形・格子状・壁状)

注入用のロッド(専用多孔管)を揺動させながら改良体を造成することにより、従来工法で主流であった円形改良体のみだけでなく，扇形，格子状，壁状の改良が可能である。これにより、必要な改良範囲を無駄なく最適な配置で改良することが可能となる(写真-1, 2, 3, 4)。

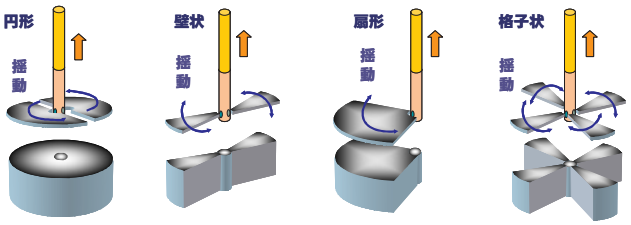


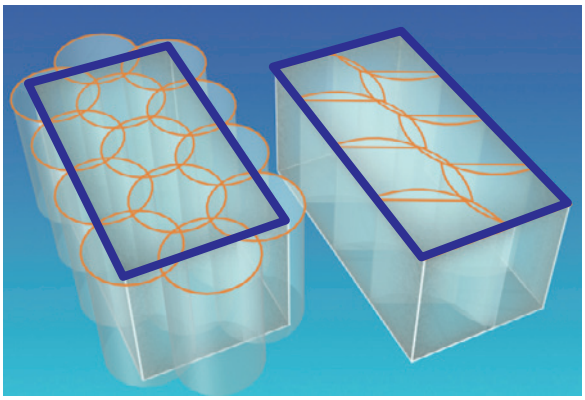
図-2　マルチジェット工法の改良体形状

写真-1　格子状改良体（粘性土地盤）

写真-2　半円状改良体（粘性土地盤）

写真-3　扇形改良体（砂礫地盤）

写真-4　壁状改良体（砂地盤）



従来工法　　マルチジェット工法

図-3　改良体の最適配置例

(2)大口径改良

従来工法の最大改良直径はφ5.0m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，φ8.0m（半径R＝4.0m：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-5、6）。

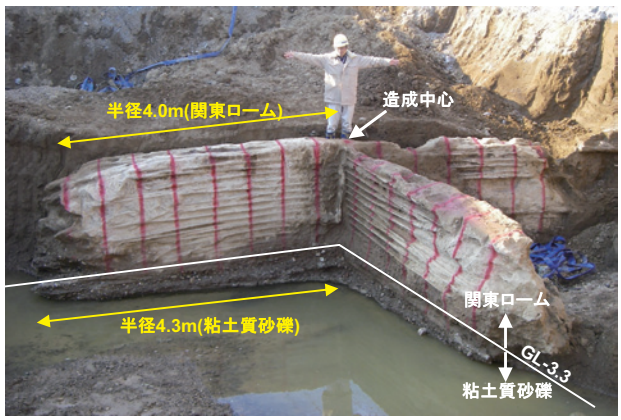


写真-5　大口径改良体（関東ローム、砂礫地盤）

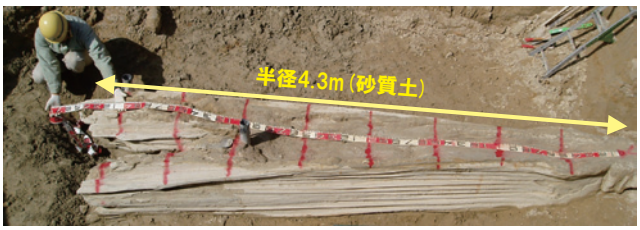


写真-6　大口径改良体（砂質土地盤）

自由形状・大口径改良により，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（図-3）。

3.2 施工方法

(1) 施工仕様

マルチジェット工法の施工仕様を表-1に示す。また、表-2に示すように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　施工仕様一覧

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		専用ロッド（多孔管４～１０孔）	
1噴射方向あたりノズル数		2～4	
最大改良半径		4.0m	
		標準値	単位
圧縮空気	吐出圧力	1.05	Mpa
	吐出量	3～15	Nm^3/min
硬化材	吐出圧力	40	Mpa
	吐出量	100～600	ℓ/min

表-2　標準設計有効半径－施工仕様 [1)]

N値			標準設計有効半径(m)							
砂質土	粘性土	砂礫土								
N≦50	N≦3	(注2)	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.75	1.50	1.00
50＜N≦100	3＜N≦5		3.60	3.15	2.70	2.25	1.80	1.55	1.35	0.90
100＜N≦150	5＜N≦7		3.20	2.80	2.40	2.00	1.60	1.40	1.20	0.80
150＜N	7＜N		2.80	2.45	2.10	1.75	1.40	1.25	1.05	0.70
噴射方向(方向)			1	1	1	1(注3)	1(注3)	2or1	2or1	2or1
噴射1方向あたりノズル数(個)			2	2	2	2	2	2	2	2
1ノズル吐出量(ℓ/分)			(注1)	(注1)	(注1)	190	190	95	95	50
揺動角度(度)			20～360度							
造成時間(360度換算)(分/m)			(注1)	(注1)	(注1)	23.5	14.8	23.5	17.4	13.8

注1）原則として、事前確認試験実施。マルチジェット工法協会に相談のこと

注2）礫質土のN≦50については砂質土の90%程度とする。N＞50については原則として事前確認試験実施。

注3）両側噴射を適用する場合は、マルチジェット工法協会に相談のこと

(2) 施工手順

マルチジェット工法の施工は，図-4の手順で実施する。

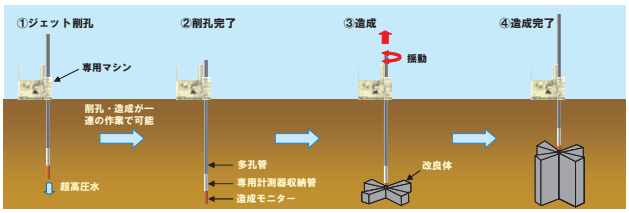
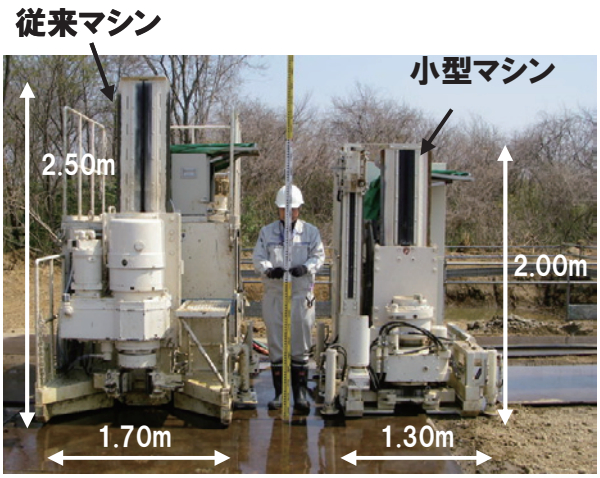


図-4　施工順序図

3.3 施工設備

(1) 削孔・造成マシン

基本的に，一般的な高圧噴射撹拌工法に用いるボーリングマシンと同じであるが，ロッドの回転に携わる油圧制御部分を改良することにより、高精度の揺動運転（0.1度単位での揺動角度設定可能）に対応できる。また、専用小型ボーリングマシンにより、狭隘部でクレーンを使用せずに施工することが可能である（写真-7）。



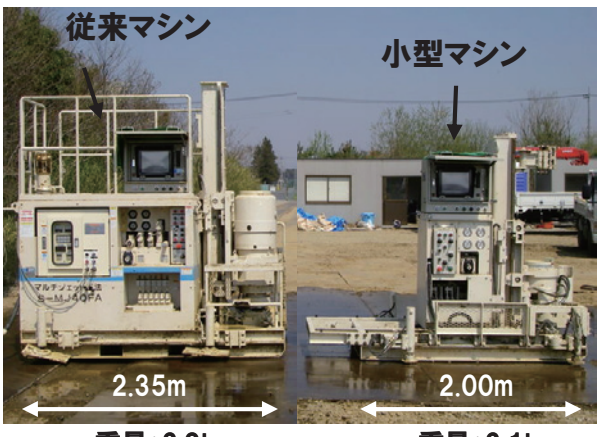


写真-7　削孔・造成マシン

(2)多孔管・先端モニター

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。多孔管は，削孔水、硬化材および圧縮空気を圧送するための孔や孔曲がり計測用の専用計測器を収納するための孔など，多数の孔を有している。

多孔管の先端には硬化材を圧縮空気とともに超高圧で地盤に吐出するためのノズルを有した先端モニターを接続している。従来工法では 1 噴射方向に 1 つずつのノズル（シングルノズル）を有しているが(両側噴射の場合は 2 つのノズル)，マルチジェット工法では，1 噴射方向に 2 つずつのノズル（ツインノズル）（図-5)を有している。写真-8 は両側噴射時の気中噴射状況である。また，先端モニターの下端には，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が可能である(写真-9)。

これにより，削孔から造成が一連で施工できることに加え，削孔時間の短縮が可能である。

写真-8 気中噴射状況

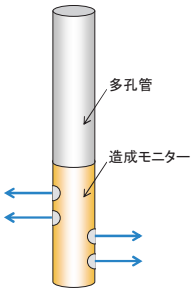


図-5 ツインノズル

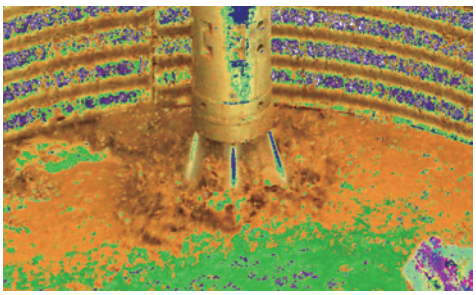


写真-9 ジェット削孔状況

4．施工管理および品質管理

従来の高圧噴射攪拌工法では，仮設が主体であったが，本設として利用する場合には，より高度な品質確認がもとめられる。

そこで，本工法では，改良位置、施工状況、改良体出来形および改良体強度について、以下のような品質管理を行うことが可能である。

4.1 施工管理および改良位置

削孔・造成マシンの動作(揺動、STEP 高さ等)を制御している専用管理装置により、施工中の状況（深度，流量，圧力など）についてもリアルタイムに管理しながら施工を行うことができる(写真-10)。

写真-10 専用管理装置

また，先端モニター直上部の多孔管内に内蔵した専用計測器（傾斜計＆磁気方位計）により，孔曲がり（施工位置）をリアルタイムで計測することが可能である(図-6)。

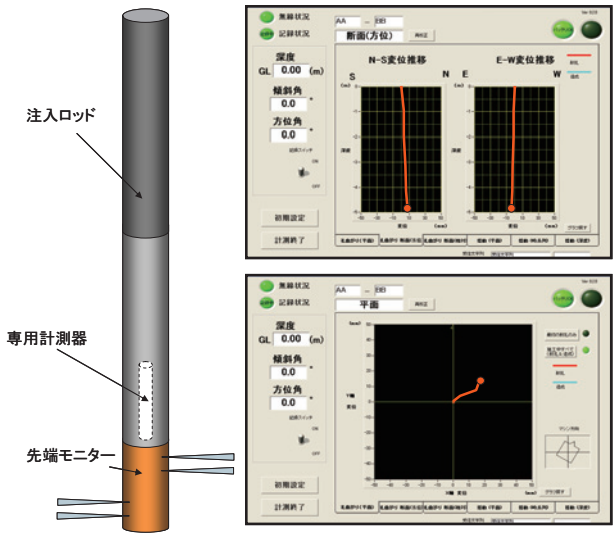


図-6 専用計測器による孔曲がり計測

4.2 改良体出来形

施工直後（硬化前）に，多孔管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する。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，ビデオコーンにも専用計測器（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確認が可能となる（図-7)。

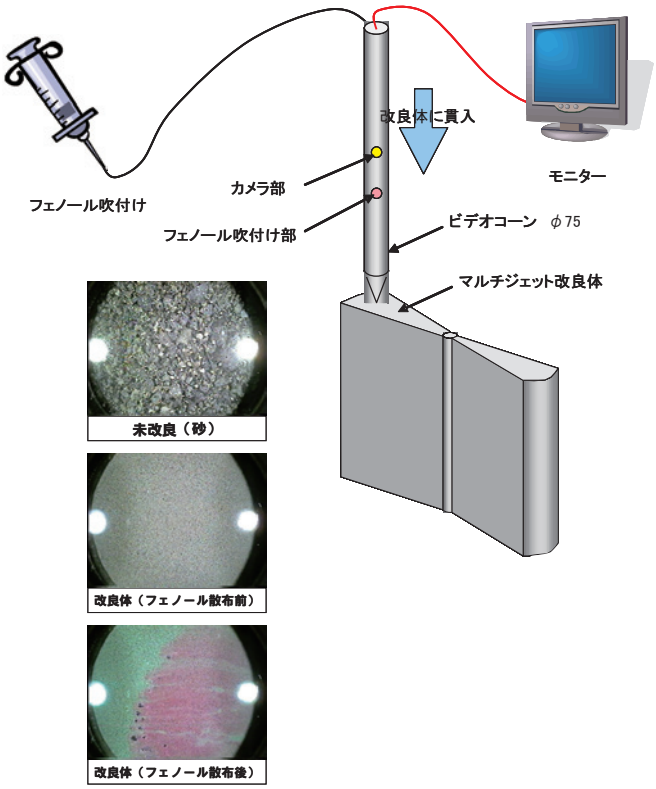


図-7 ビデオコーンによる改良径確認

4.3 改良強度・剛性

施工直後（硬化前）にコーン貫入機を用いて，サンプリング機能を有したコーンを挿入する。採取した改良体をモールドに詰めて養生し，施工後 3 日程度以内に 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（図-8）。

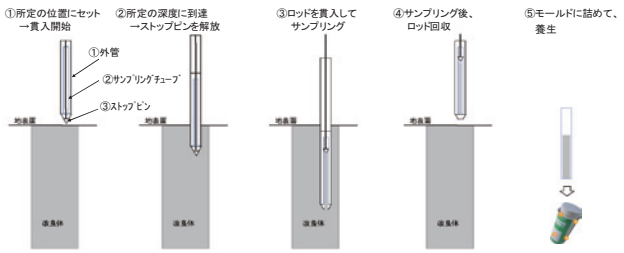


図-8 改良強度の早期確認

5．周辺環境への影響

(1)構造物側方の改良

図-9 に示すように、構造物に向けて噴射せずに近接した改良が可能なため，構造物の変状や防水シートの破損に対してのリスクは回避できる。

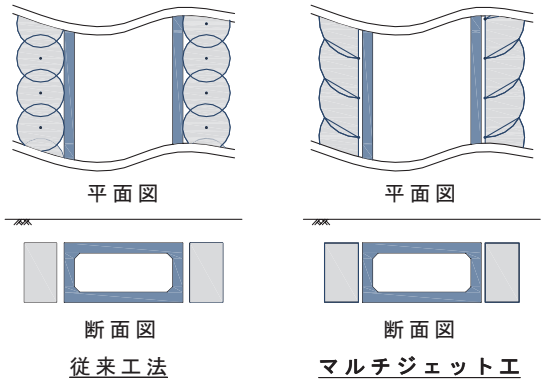


図-9 ボックスカルバート側方の改良

(2)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-10）。

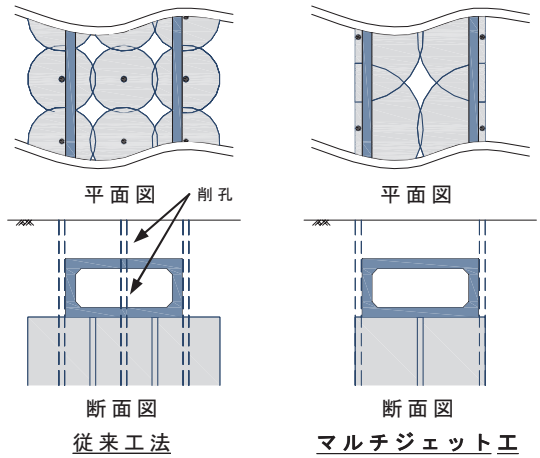


図-10 ボックスカルバート直下の改良

(3)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-11）。

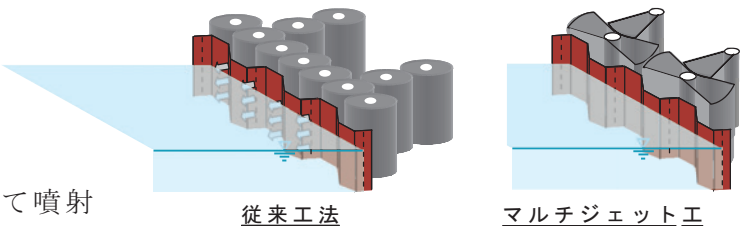


図-11 岸壁背面の改良

5．施工実績

マルチジェット工法は、現在施工中を含めて、14 現場での施工実績がある（表-3）。

表-3　マルチジェット工法施工実績一覧

(H22.3 現在)

工事件名	発注者	着工	竣工	施工数量(m^3)	改良目的
耐震液状化対策路盤改良工事 ((本工事):Aセンター)岸壁対策工事(Ⅰ－5，6)	A社	H19.6	H20.1	3,373	岸壁耐震補強
阪和自動車道路 海南インターチェンジ工事	西日本高速道路株式会社	H19.7	H19.7	630	土留め壁補強
F工場地震(液状化)対策工事	B社	H19.9	H20.1	1,447	岸壁耐震補強
G工場地震(液状化)対策工事	C社	H19.10	H20.3	3,543	岸壁耐震補強
一般河川　寝屋川大日南調整池構築工事 (取水施設工)	大阪府	H20.1	H20.10	1,868	シールド発進・ 到達立坑地盤改良
盛土耐震補強工事	D社	H20.9	H20.11	1,258	盛土耐震補強
放水路旧護岸除却工事・除却関連改修工事	E社	H20.12	H21.1	1,220	放水路護岸補強
都市計画道路工事柏尾戸塚線道路本体築造工事	横浜市	H21.1	H21.1	248	土留め壁止水
共同溝工事のうち分岐洞道工事	東京電力株式会社	H21.7	H21.8	178	土留め壁底盤改良および歯抜け防護
阪和自動車道路 海南インターチェンジ工事	西日本高速道路株式会社	H21.9	H21.10	135	構造物沈下防止
県道高速名古屋新宝線きらく橋工区下部工事	名古屋高速道路公社	H21.10	H21.10	371	土留め壁底盤改良および歯抜け防護
第二海水取り入れ設備横護岸補強工事	昭和電工株式会社	H21.7	H21.11	2,000	岸壁耐震補強
新宿歩行者専用道第2号線Ⅱ期出入口設置工事	東京都	H22.3	H22.3	291	土留め壁歯抜け防護

６．まとめ

マルチジェット工法の開発により、従来工法に比べて、低コストで周辺環境にやさしい高圧噴射撹拌工法の施工が可能となった。今後、より環境に配慮した工法を目指し、開発を続けていく。

参考文献

1) マルチジェット工法　－技術/積算資料
マルチジェット工法協会　平成 22 年 7 月