

小型機械による大口径機械攪拌工法

MITS 工法 CMS システム

牧 菌 博 文・角 和 樹・三 浦 哲 彦

小型ベースマシンを基本とする中深層のスラリー中圧噴射と特殊攪拌翼を併用した新しい原位置地盤改良システムを紹介する。中圧噴射との組合せで攪拌トルクが低減でき、小型機で最大φ1600mmの改良体を深さ23mまで施工できる。攪拌翼先端にスラリー逸走防止板を装着することで近接構造物の変位を抑制できる。施工事例として、構造物の近接施工、高盛土の沈下対策、大型三連ボックスカルバート基礎、盛土による側方変位防止対策について述べる。

キーワード：地盤改良，深層混合処理，軟弱地盤，小型軽量機械，スラリー中圧噴射，変位抑制

1. はじめに

軟弱地盤での地盤改良は大型の施工機械での施工が難しい箇所も多く、小型・軽量機械による施工が望まれている。MITS 工法では25t程度の地盤改良機でφ1600mmの柱状改良が施工可能である。軟弱で狭小な現場に対応したCMSシステム（セメントスラリーの中圧噴射と機械攪拌翼による併用地盤改良工法）（以下「本システム」という）（NETIS登録QS-00013-V）について、特徴と施工事例を紹介する。

2. 本システムの原理と概要

(1) 本システムの原理

図-1に示すように、セメントスラリーを中圧（5MPa以上20MPa未満）で噴射し、攪拌翼により軟弱地盤と混合することで改良体を造成する。セメントスラリーのジェット噴射により、攪拌翼の回転トルクの低減を図ることができるので、従来よりも小型の機械でより大きな径の改良体を造成することが可能と

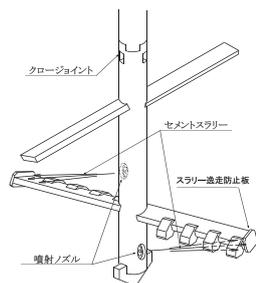


図-1 本システムの原理



写真-1

なった。また、ロッドの中心部に集ってくる未改良の粘性土の土構造を噴射エネルギーによって崩すことにより共回りを防止する。図-2に示すように、リーダー（攪拌部）をバックホウに取り付けることで、機動性が向上し狭小な現場にも対応することが可能となった。

(2) 本システムの概要

グラウトポンプは最大吐出量200ℓ/min、最大吐出圧力20MPaを使用する。大規模施工ではスラリーブ

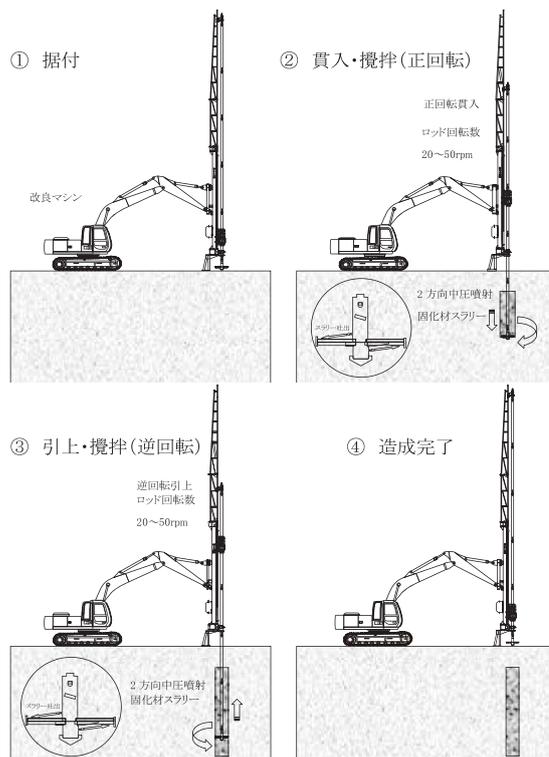


図-2 標準施工フロー図

ラント1基に対して複数の改良機をセットすることが可能である。施工フローは図-2を標準とする。本工法は混合方式にスラリー噴射を併用しているため、改良下端での練返し等の先端処理は不要である。

(3) 改良機の性能および諸元

改良機の性能および諸元を表-1に示す。

表-1 改良機の性能及び諸元

機種名	SF-200LSH
ベースマシン	バケット容量 0.8 m ³ 級
ロッド径	115 ~ 140 mm
回転数	最大 55 rpm
回転トルク	14,700 N・m
最大打設可能深度	23.0 m (ロッド継ぎ足し時)
規格寸法	重量 251 kN 全幅 3.0 m 全長 9.5 m
リーダー部全長	18.1 m
攪拌径	φ 600 mm ~ 1,600 mm

3. 本システムの特徴

(1) 小型軽量改良機

表-2に既存技術(標準的工法であるスラリー攪拌工法)と本技術との対比を示す。

表-2 技術比較表

	本システム	既存技術
施工機械	90 ~ 251 kN バックホウタイプ	130 ~ 1200 kN クローラータイプ
攪拌方式	攪拌翼 + スラリー中圧噴射	攪拌翼 共回り防止翼
改良径	600 ~ 1,600 mm	800 ~ 2,000 mm
打設深度	最大 23 m	最大 48 m
段差施工	可能	不可
接地圧	38 ~ 54 kN/m ²	66 ~ 140 kN/m ²
メンテナンス	リーダー倒伏により メンテナンス容易	大型機は高所作業車又は 解体作業でメンテナンス

①攪拌トルク低減と品質改良

本システムの有効性を確認するためφ1,000 mmで「特殊攪拌翼+スラリー中圧噴射併用」と「通常攪拌翼+スラリー低圧」を用いて改良体の造成を行い、攪拌トルクの出力を比較した。表-3に実験内容を示す。実験結果から以下のことを確認した。

図-3は施工中の回転トルクを示したものである。低圧・低貫入速度の方法 No.1 に対して、噴射併用の方法 No.2 ~ 4 では、貫入速度を早くしても、攪拌ト

表-3 実験内容

実験 No.	貫入速度 (min/m)	引上速度 (min/m)	回転数 (rpm)	吐出量 (ℓ/min)	吐出圧力 (MPa)
1	2.7	2.6	90	33	0.01
2	1.0	1.0	20	70	10
3	2.0	1.0	20	100	9.5
4	1.0	1.0	20	73	9.5

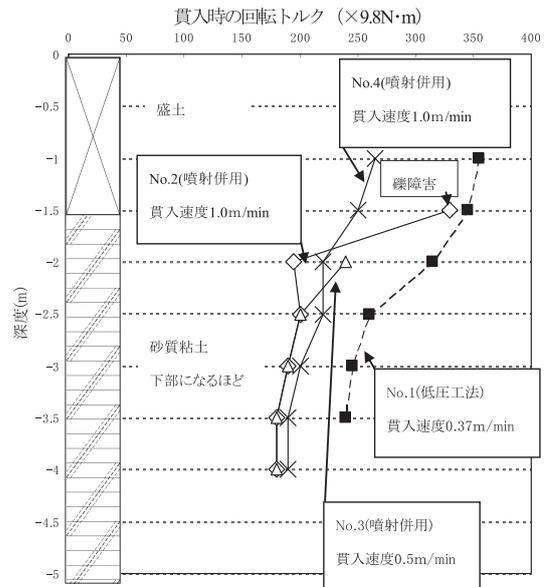


図-3 貫入時回転トルク測定結果²⁾

ルクを低減できることが確認できた。

②作業性の向上

汎用バックホウをベースマシンとして攪拌部を容易に装着出来るので、機械組立時間は短くてすむ。攪拌部を図-4に示すようにアーム部先端に装着しているため、腕部の稼動および施工機械の旋回により、据付位置は1ヶ所につき多数本の改良体の施工が可能である。さらに、2 m 以内であれば段差施工も可能である。

③施工時の騒音・振動

全て排出ガス対策型・低騒音を採用しており、騒音基準値 85 dB 以下、振動基準値 75 dB 以下を満足することが確認された。図-5に振動に関する現場測定結果を示している。

(2) 中圧噴射による改良径拡大と品質改良

改良径φ1,600 mmにおいても改良体の平面的な品質が確保されていることを次の実験で確認した。

①実験内容

フェノールフタレイン液による品質のムラおよび針貫入試験による強度発現を確認した¹⁾。スラリー添加

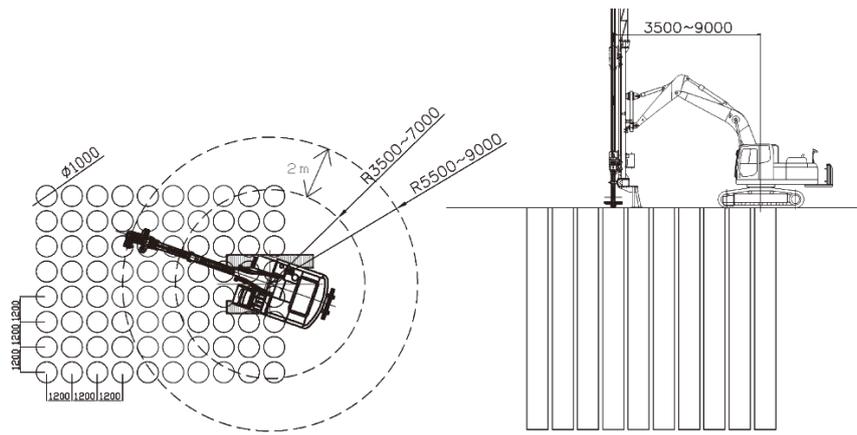


図-4 作業半径図

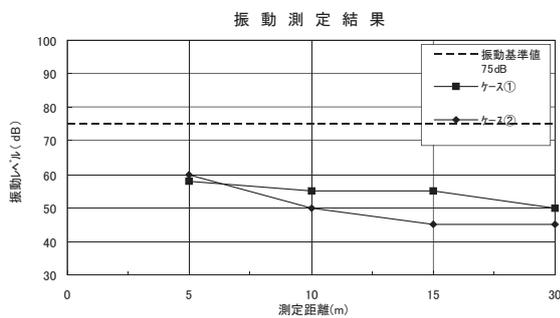


図-5 施工中の振動測定結果 (機種 SF-200LSH) ¹⁾

量 70 kg/m^3 、設計強度 100 kN/m^2 で作った改良体頭部の 50 cm をカットしその表面にて行った。針貫入試験は、 10 cm 間隔で行った。

②実験結果

フェノールフタレイン試験においては全体的に色ムラは認められず、固化材がおおむね均質に攪拌混合されているものと判断できた ¹⁾。

図-6 に針貫入試験による面的な強度分布を示す。

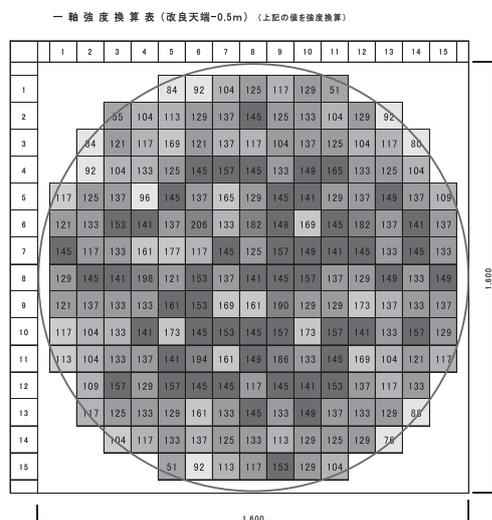


図-6 針貫入試験による換算一軸圧縮強度分布図 (GL-0.5 m) ¹⁾

当現場で求められた設計強度は 28 日養生で 100 kN/m^2 であった。実験材齢は 7 日であるため、強度伸び率 1.37 で割り込んで 7 日強度を推定すると $100/1.37 = 73 \text{ kN/m}^2$ となる。この強度を基準として試験結果を調べた結果、改良体の外周付近では基準値を下回るものがいくつか見られたが、大半は基準値を上回った。平均強度は設計強度を上回っており、標準偏差は 24.2、変動係数は 18.1% であった。

図-7 に示すように改良体の円周付近では比較的強度は小さいが、全体的には強度のバラツキは大きく

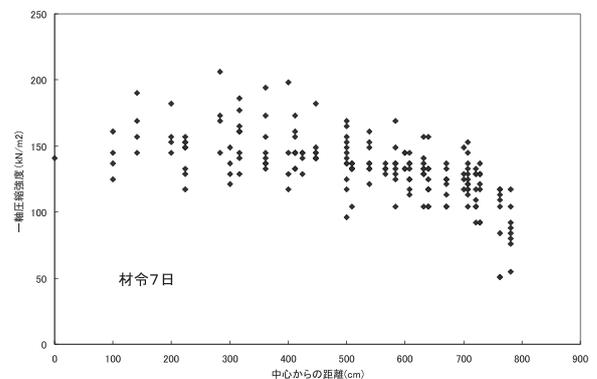


図-7 換算一軸圧縮強度の半径方向分布 ¹⁾

ないと判断できる。

以上の実験より、本システムによる改良径 $\phi 1,600 \text{ mm}$ において平面的な品質が確保されていることを確認できた。

(3) 打設長 23 m、上空制限下での施工

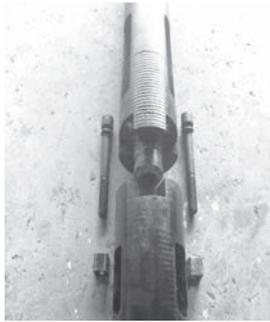
①ロッド継足し

小型機械でありながらロッドを継足すことにより 23 m の施工が可能となった。接続部はクロージョイント式ロッドにより正逆回転可能な施工が可能となる。改良機はリーダー部と補助マスト部から構成され、

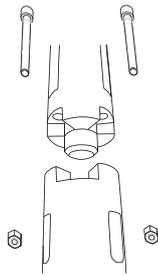
補助マスト部を切り離すことによりリーダー部のみのロッド長で対応できる深度は施工可能である。

写真一2、図一8に示すように改良に使用するロッドには、機械的強度、回転トルクの確実な伝達、シール性、作業性を確保できるクロージョイント式を採用しており、施工中でも接続、切り離しが容易にできる。

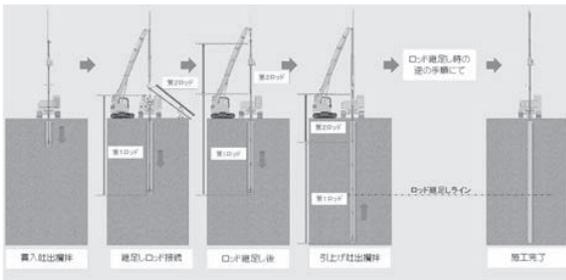
ロッド継足し作業のフローを図一9に示す。



写真一2

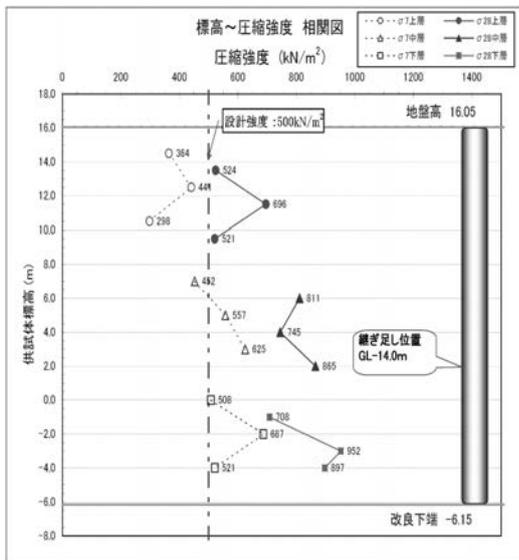


図一8



図一9 ロッド継足し時の施工フロー

区分	孔番	項目	7目材帯			28目材帯			強度比 28目材 /7目材		
			供試体 No.1	供試体 No.2	供試体 No.3	平均値	供試体 No.1	供試体 No.2		供試体 No.3	平均値
上層	1	圧縮強度 q_u (kN/m ²)	364	441	298	368	524	696	521	580	1.58
中層		圧縮強度 q_u (kN/m ²)	452	857	625	545	811	745	865	807	1.48
下層		圧縮強度 q_u (kN/m ²)	508	687	521	572	708	952	897	852	1.49



図一10 改良体の一軸圧縮試験結果 (有機質土を対象)¹⁾

②長尺改良体の強度試験

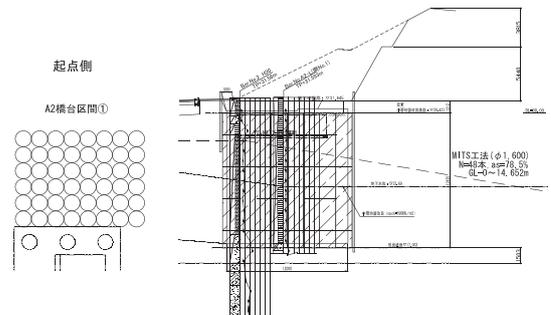
23mまで打設した改良体の強度を確認するために、コア採取して一軸圧縮試験を行った。試験結果は図一10に示すように設計値を満足していることを確認できた。

4. 施工事例

本システムの特徴を活かした現場を紹介する。

(1) 成田国際空港 A 滑走路南側航空保安施設用地造成工事 (平成 24 年, 図一 11)

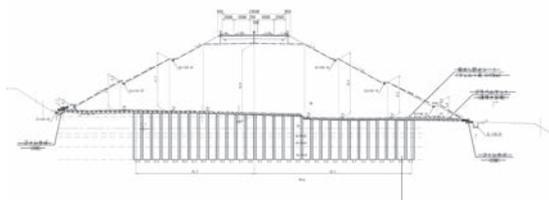
- ①目的：成田空港の空港施設管理用道路の跨道橋橋台の側方流動および盛土の滑り破壊防止
- ②施工概要：改良径 1600 mm，本数 48 本，改良率 78.5%，打設長 = 14.6 m，改良長 = 13.4 m
改良体の圧縮強度 $q_u = 460 \text{ kN/m}^2$
- ③地盤条件：粘性土で平均 N 値 = 4 程度，その下部は N 値 17 の砂質土
- ④施工条件：橋台が先行して施工されており基礎に接する改良体を計画されていた。橋台に変状を与えないことが条件で変位を抑制する必要がある。
- ⑤対策と結果：作業時は動態観測を行いながら施工を行い，変状無く施工が完了した。



図一 11 作業状況

(2) 帯広広尾自動車道幕別町忠類北改良工事 (図一12)

- ①目的：高盛土（盛土高さ17m）道路土基礎地盤の安定性確保と沈下対策
- ②施工概要：改良径1600mm, 本数1971本, 改良率50% 平均改良長 = 11.12m
改良体の圧縮強度 $q_u = 500 \text{ kN/m}^2$
- ③地盤条件：粘性土で平均N値 = 2～5程度, その下部はN値17の砂質土
- ④施工条件：施工基面は最大10%程度の傾斜地で造成を行わない施工となった。
- ⑤対策と結果：施工本数が多く4台施工となった。問題無く施工が完了した。



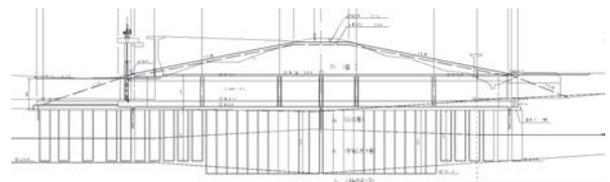
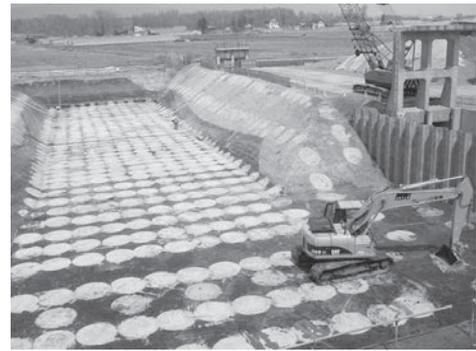
図一12 作業状況

(3) 石狩川改修工事厚軽臼内2号樋門改築工事

- ①目的：柔構造樋門の基礎地盤改良
- ②施工概要：改良径1600mm, 本数571本, 改良率78.5% 打設長8.1～15.5m
改良体の圧縮強度 $q_u = 500 \text{ kN/m}^2$
- ③地盤条件：粘性土で平均N値 = 2～7程度, その下部はN値17の砂質土
- ④施工条件：旧樋門の横に幅14m×高さ4.6mの比較的大型の3連ボックスを新設する工事
- ⑤対策と結果：作業時は動態観測を行いながら施工を行い, 問題なく完了した (図一13)。

(4) 佐賀新県立病院好生館造成工事

- ①目的：盛土による側方変位防止対策
- ②施工概要：改良径1600mm, 本数615本, 2列接円



図一13 改良体確認

配置 改良長 = 10.2m～13.4m

改良体の圧縮強度 $q_u = 500 \text{ kN/m}^2$

- ③地盤条件：粘性土で平均N値 = 0～2程度, その下部はN値10の砂質土
- ④施工条件：近接した家屋や護岸に影響を及ぼさない施工が必要であった。
- ⑤対策と結果：作業時は動態観測を行いながら施工を行い, 変状無く施工が完了した (写真一3)。



写真一3 改良体確認

5. おわりに

本システムCMSシステムは小型軽量機でφ1600mmの改良体を最大深さ23mまで施工可能であることを示した。施工中の騒音振動も基準値を超えることはなく, また近接構造物の変位を抑制できることを確認した。

謝辞

最後に, 施工にあたって御指導を賜った成田国際空港株式会社, 北海道開発局帯広開発建設部, 北海道開

発局札幌開発建設部、佐賀県の関係各位に感謝の意を表します。



《参考文献》

- 1) 助先端建設技術センター：先端建設技術・技術審査証明報告書
MITS工法（CMSシステム）
- 2) 末次孝之・角和樹・三浦哲彦：「中圧噴射を併用した機械攪拌工法の開発と適用事例」, 基礎工 P94-96, 2009 Vol.37, No.5
- 3) 末次孝之・角和樹・三浦哲彦：「MITS工法 スラリー中圧噴射（CMS）システムによる深層混合処理工法」, 建設の施工企画 P31-36, 2007 JULY No.689

【筆者紹介】

牧園 博文（まきぞの ひろふみ）
MITS工法協会 会長
㈱富士建
代表取締役 社長



角 和樹（すみ かずき）
MITS工法協会 技術委員長
㈱富士建
専務取締役



三浦 哲彦（みうら のりひこ）
MITS工法協会 技術顧問
軟弱地盤研究所 所長



橋梁架設工事の積算 ——平成 25 年度版——

■改訂内容

1. 鋼橋編
 - ・大型クレーンによる橋体大ブロック架設歩掛の追加
 - ・橋梁補修（落橋防止システム工，桁補強材取付工，座屈拘束ブレース設置）歩掛の追加
 - ・少数 I 桁橋（全断面現場継手溶接工）歩掛の改訂
 - ・積算例題の見直し
2. PC橋編
 - ・PCケーブル工にポリエチレンシース使用時の諸雑費率を追加
 - ・PC橋片持架設工に側径間部吊支保工積算要領の追加
 - ・地覆高欄作業車設備の供用日数算出式を追加
 - ・外ケーブルPCケーブル工のケーブル組立用架台を諸雑費率化 ほか

■B5判／本編約1,100頁（カラー写真入り）
別冊約120頁 セット

■定価

非会員：8,400円（本体8,000円）
会 員：7,140円（本体6,800円）

※別冊のみの販売はいたしません。

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも

沖縄県以外600円

沖縄県 590円（但し県内に限る）

■発刊 平成25年5月

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>