

# 大径化・高速化対応型の深層混合処理工法の開発

## —進化した CI-CMC 工法—

大塚 誠・原田 健二・渡辺 英次

CI-CMC 工法は、従来のスラリー系機械攪拌式深層混合処理工法に5つの新しい要素技術（強制昇降装置、オープン翼、デュアルウェイミキシング、2経路吐出、エジェクタ吐出）を組入れることによって、大径の改良体を造成し、大量施工を行う工法である。本報文では、新たに開発したエジェクタ吐出方式（圧縮空気を用いて固化材液を霧状に噴出する）を取入れることにより、進化した CI-CMC 工法の技術概要と改良体の品質について報告する。

キーワード：地盤改良、スラリー系機械攪拌式深層混合処理、大径化・高速化による大量施工、コスト縮減、工期短縮

### 1. はじめに

CI-CMC（本工法の名称として用いる CI-CMC とは“Contrivance（工夫）Innovation（革新）Clay Mixing Consolidation”の略である。以下、CI-CMC と略記）工法は、セメント系の固化材と軟弱土を地盤中の原位置で攪拌混合し地盤を固化改良する、スラリー系機械攪拌式深層混合処理工法である。

深層混合処理工法は、低騒音、低振動であること、あらゆる地盤に適用できる、など長所が多く、幅広く採用されている地盤改良工法であるが、条件によっては他の工法に比べコストが高くなる場合もあり、「コスト縮減」が課題となってきた。

CI-CMC 工法は、従来工法の品質から低下させることなく、大径化・高速化施工を行うため、5つの要素技術（強制昇降装置、オープン翼、デュアルウェイミキシング、2経路吐出、エジェクタ吐出）を開発し、組入れた工法である。それによって「大量施工」が可能になり、「コスト縮減」と「工期短縮」を実現した。様々な設計・施工条件に対して、最適な技術要素の組合せを選択して施工が行えるため、目的に応じた高品質な攪拌効果が得られ、かつ経済的にも優れた信頼性の高い地盤改良が可能である。

通常、深層混合処理工法では改良体の直径は  $\phi 1.0$  m であるが、より改良体の直径を大きくすること、つまり「大径化」を図ることで大量施工が可能となる。従来の CI-CMC 工法では、機械能力と品質の問題から  $\phi 1.3$  m までの大径化<sup>1)</sup>が限界であった。

しかし、今回新たに、エジェクタ吐出（写真—1）を開発したことで、改良体の直径を単軸は  $\phi 2.0$  m、2軸は  $\phi 1.6$  m までの大径化を実現した。エジェクタ吐出は、固化材液を地盤中に吐出する際、圧縮空気を用いて霧状に噴射することによって、均質な攪拌と回転負荷低減を可能にする技術である。本報文では、この

エジェクタ吐出方式によって進化した CI-CMC 工法の概要と圧縮空気による改良体の品質への影響について、現場試験結果をもとに報告する。



写真—1 新しく開発されたエジェクタ吐出

### 2. 工法の概要

#### (1) 5つの要素技術

CI-CMC 工法の5つの要素技術とは、大径化・高速化施工に伴って生じる品質の低下と機械負荷（貫入抵抗と回転負荷）の増加に対する問題を、解決する技術である。

以下に5つの要素技術の概要を説明する。

##### (a) 強制昇降装置（図—1）

強制昇降装置とは、貫入・引抜きシステムであり、貫入力向上と安定した速度のコントロールが可能である。

従来工法の攪拌処理機昇降操作は、ワイヤを介して行い、アタッチメント自重のみの貫入力であった。本工法では、この昇降操作を油圧を用いて強制的に行う機構を装備することにより、貫入力を向上している。

この装置を用いることにより、硬質地盤であっても処理機を一定速度でコントロールしながら貫入することができる。また造成時には、強制的に規則正しい上

下動を繰返しながら攪拌混合することが可能となる。

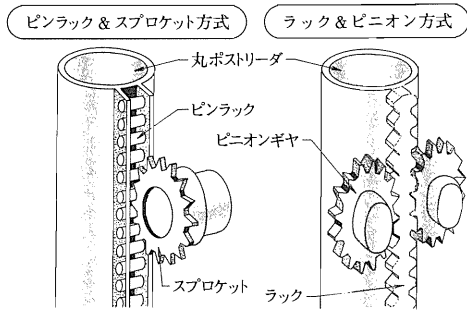


図-1 強制昇降装置 (2方式)

(b) オープン翼 (図-2)

窓開き型の攪拌翼であり、粘性土などに高い練りだし効果が得られることにより、攪拌効率が向上する。

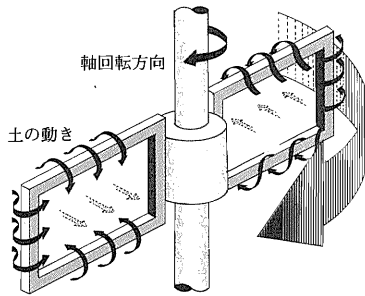


図-2 オープン翼

(c) デュアルウェイミキシング (図-3)

強制昇降装置によって、上下動を繰返しながら引抜く攪拌方法である。縦横2方向複合攪拌となり、攪拌効率が向上する。

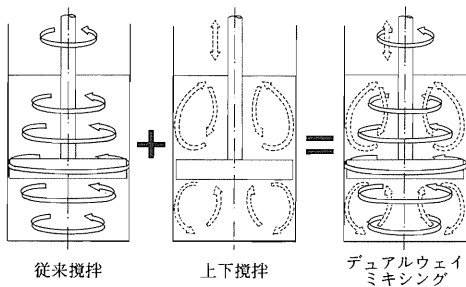


図-3 デュアルウェイミキシング

(d) 2経路吐出 (図-4)

攪拌翼に2つの固化材液吐出口を持ち、それぞれ別経路で圧送する吐出方法である。よりきめ細やかな固化材液の散布が可能であるため、攪拌効率が向上する。また、大量の固化材液の注入が可能となる。

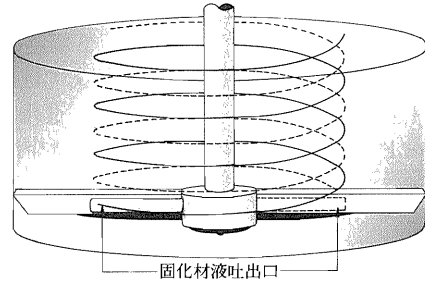


図-4 2経路吐出

(e) エジェクタ吐出 (図-5)

攪拌翼の吐出口直前の特殊混合室で圧縮空気と固化材液を瞬時に混合し、霧(スプレー)状の固化材液をスリット形状吐出口から広範囲に勢いよく噴射する吐出方法である。吐出時点で広範囲な固化材液の散布が可能であるため、攪拌効率が大幅に向上する。また、ジェットの仕事により原地盤土を切削破壊することにより、攪拌翼の回転負荷が低減し、大径の改良体造成が可能となる。

噴射後に固化材液と分離した圧縮空気は、回転軸に設置した回収機構により、地上に排出する。

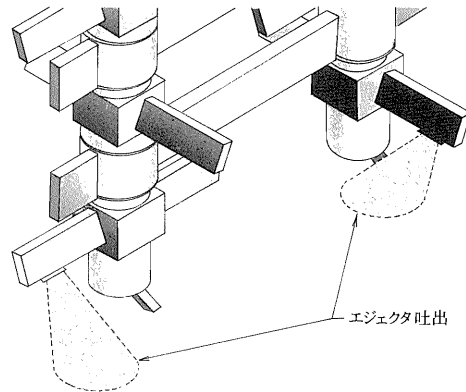


図-5 エジェクタ吐出

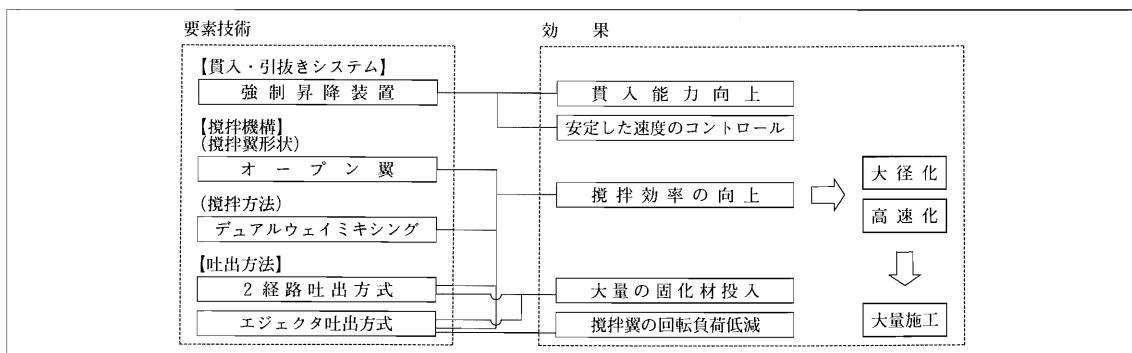


図-6 各要素技術の組合せ

これらの各要素技術とそれによる効果の関係について図-6に示す。同図に示すように、特にエジェクタ吐出は、攪拌翼の回転負荷低減効果があるので、大径化施工には不可欠な要素技術となっている。

(2) 攪拌方法・吐出方法の分類

これらの要素技術は、各現場の設計・施工条件によって、最適な組合せを選択して施工を行う。主な組合せは表-1に示す3タイプがあり、現場の地盤条件、施工条件を考慮して、最適タイプを決定する。

表-1 要素技術の組合せ

タイプ	Type-A	Type-B	Type-C
貫入・引抜きシステム	強制昇降装置		
攪拌翼形状	オープン翼	水平翼	
攪拌方法	デュアルウェイミキシング		連続引抜き
吐出方法	2経路吐出	エジェクタ方式	

3. 施工機械と施工方法

(1) 施工機械

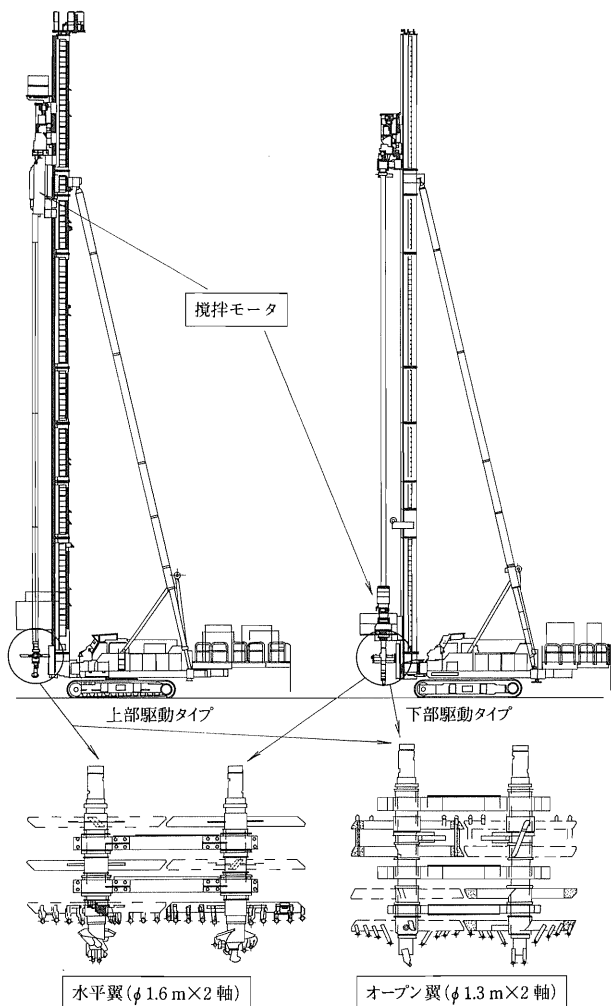


図-7 施工機械と攪拌翼

CI-CMC工法の標準施工機械と攪拌翼（水平翼、オープン翼）を図-7に示す。ベースマシンは、汎用パイルドライバに特殊改造（強制昇降装置を駆動させる油圧回路と丸ポストリーダにラックギヤの取付けなど）を行ったものであり、CI-CMC工法専用機である。全装備重量100~130tクラスを標準とするが、狭隘地用の12tクラスから大規模施工用の200tクラスまで数種類を用意している。工事規模、敷地条件、工事工程、貫入深度および地盤条件に応じて最も適した機械を選定する。

(2) 施工方法

CI-CMC工法の施工方法を以下に示す（図-8）。

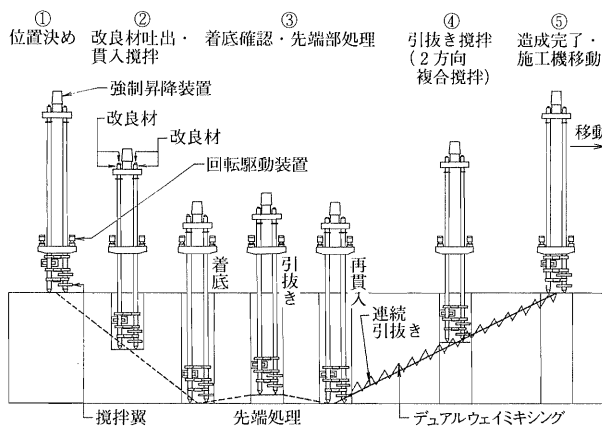


図-8 施工方法

- ① 位置決め  
施工機を所定位置にセットする。
- ② 固化材吐出・貫入攪拌  
回転駆動装置によって攪拌翼を回転させ、固化材を吐出しながら連続貫入する。
- ③ 着底確認、先端処理  
先端部が支持層に到達したことを確認した後、改良材の吐出を停止し、先端処理を行う。
- ④ 引抜き攪拌  
攪拌翼を逆回転させながら、強制昇降装置を動作させ、引抜く。
- ⑤ 造成完了  
地表面まで改良体を造成し、次の位置に移動する。

(3) 改良体径、対象地盤、施工可能深度の関係

CI-CMC工法では、地盤改良が必要とされるおよそ全ての軟弱地盤に適用可能である。ただし、現状において不動建設株式会社が保有する施工機械のうち、全装備重量100~130tクラスを標準として考えた場合には、貫入のための押込み力、搭載可能な攪拌モー

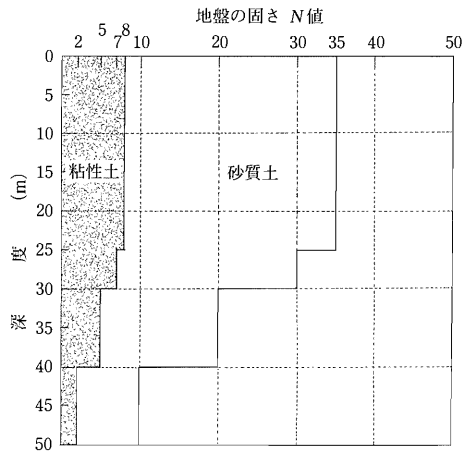


図-9 適用可能深度  
\*注) 最大粒径 100 mm かつ混入率が 30% 程度以上の玉石混じり層を除く

タ能力などの制約から、改良体径、対象地盤、施工可能深度などは、以下のような適用範囲となる(図-9)。

- ・改良体径：単軸の場合，最大φ2.0 m  
2軸の場合，最大φ1.6 m
- ・適用地盤：N値=35程度以下の砂質土地盤  
N値=8程度以下の粘性土地盤
- ・適用深度：50 m 以下

(4) 出力トルク結果

エジェクタ吐出方式では、ジェットの仕事により攪拌翼の回転負荷が低減する。このことを確認するため、試験工事において、エジェクタ吐出方式と従来吐出方式、それぞれの施工を行った。貫入時の回転駆動装置の出力トルクと深度との関係を図-10に示す。

エジェクタ吐出方式では、従来方式よりも回転負荷(モータトルク)が3割程度低減していることがわか

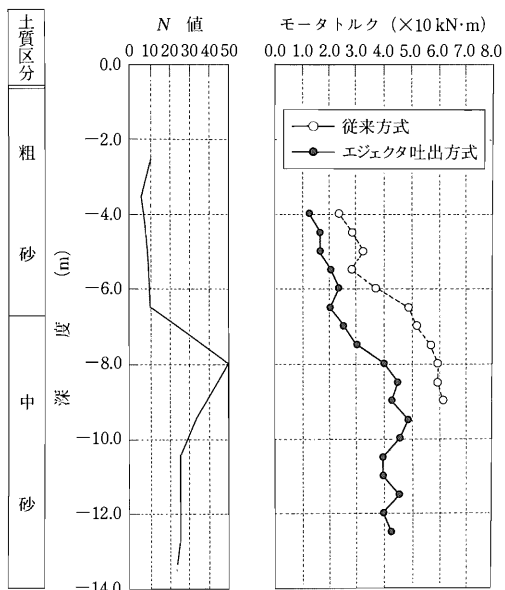


図-10 従来方式とエジェクタ吐出方式の出力トルク結果

る。また、従来方式の場合には、GL-8.9 mで回転駆動装置の出力限界を超えて停止したため、それ以深は施工不能であった。これらのことから、エジェクタ吐出を使用すると、硬質地盤での貫入能力が向上することを確認した。

また、エジェクタ吐出に使用する圧縮空気の使用量・圧力は、常時最適な噴射状態を保持するため、深度や土質によって制御している。

4. 改良体の品質

(1) エジェクタ吐出方式による品質への影響

エジェクタ吐出方式の場合、固化材液と分離して残った圧縮空気を地上に排出する機構を設けているものの、微細な空気が改良体へ混入することによる影響が考えられた。

そこで、同一現場(土質:砂質土)でエジェクタ吐出方式と従来工法の施工を行い、それぞれの改良体コアサンプルで、一軸圧縮強度および湿潤密度に関して比較調査を行い、圧縮空気の噴射による影響<sup>2)</sup>を調べた。

図-11に一軸圧縮強度のヒストグラムを示す。その結果、強度のばらつきを示す変動係数  $V_{qu}$  (=標準偏差/平均)は、エジェクタ吐出方式では16.6%であり、従来方式の20.3%と比較し良好な品質となっている。また、平均現場強度は、同セメント量において従来方式による施工のものを上回っており、エジェクタ吐出方式で施工した改良体品質の優位性がうかがえる。

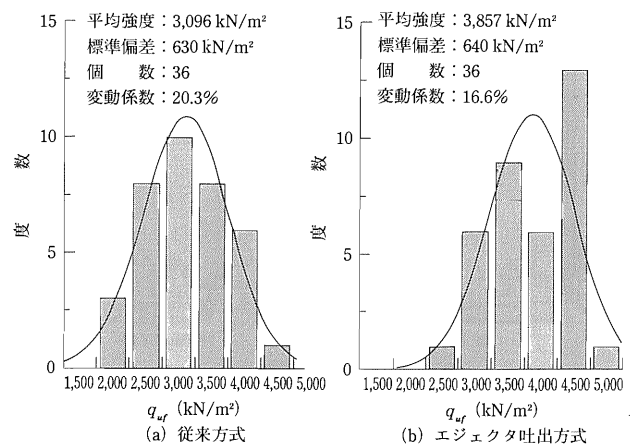
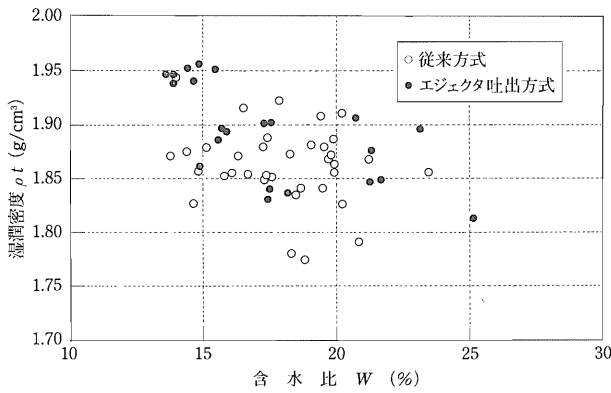


図-11 強度のばらつき

図-12に湿潤密度と含水比の関係を示す。

湿潤密度と含水比に関しては、エジェクタ吐出方式で施工した改良体と従来方式のものとで有意な差異が見られないことから、エジェクタ吐出方式による圧縮

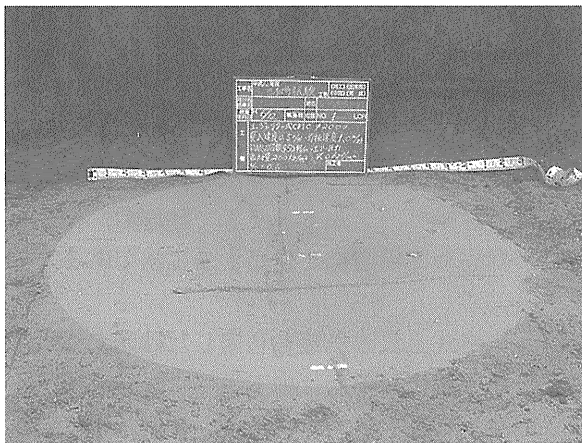


図—12 湿潤密度と含水比の関係

空気は、改良体に残留していないことを確認した。

(2) 出来形写真

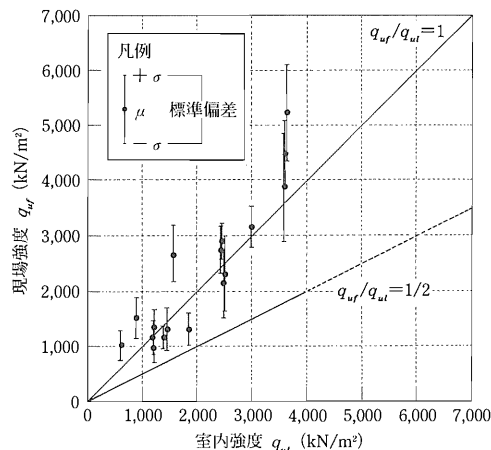
試験工事において、ローム地盤で施工したφ2.0mの改良体出来形を写真—2に示す。



写真—2 改良体の出来形 (φ2.0m, ローム地盤)

(3) 現場強度と室内強度の関係

現在までの施工実績から得た、現場強度  $q_{uf}$  と室内



図—13 現場強度と室内強度の関係

強度  $q_{ui}$  の関係を、図—13に示す。強度のばらつきを考慮しても、 $q_{uf}/q_{ui} \geq 1/2$ となる良好な強度発現を得ている。この結果を設計に反映し、従来工法より固化材費を低減した実例もある。

5. おわりに

今回新たに開発したエジェクタ吐出方式により、進化したCI-CMC工法の概要と改良体の品質について報告した。

本工法は、平成14年1月に財団法人先端建設技術センターの技術審査証明(第1302号)を取得している。今後も実績を積重ね、設計、施工の確実性を増すとともに、地盤毎の品質の基準化を図っていきたいと考えている。

最後に、本報文の執筆にあたりご協力をいただいた関係者の方々に、感謝の意を表すとともに、本報文が今後の深層改良の設計、施工の一助になれば幸いである。

JCMIA

《参考文献》

- 1) 日下部史明, 前田忠良, 福住 宏: CI-CMC工法による軟弱地盤の改良一現場における施工性と品質の確認一, 建設の機械化, 3月号, pp. 22-27, 1997.
- 2) 山本 実, 原田健二, 竹内秀克, 大塚 誠, 渡辺英次: エジェクタ吐出方式による深層混合処理工法の改良体の品質について, 土木学会関東支部講演予稿集, pp. 444-445, 2002.

[筆者紹介]



大塚 誠 (おおつか まこと)  
 不動建設株式会社  
 ジオ・エンジニアリング本部  
 技術開発部  
 部長



原田 健二 (はらだ けんじ)  
 不動建設株式会社  
 ジオ・エンジニアリング本部  
 技術統轄部  
 技術管理室室長



渡辺 英次 (わたなべ えいじ)  
 不動建設株式会社  
 ジオ・エンジニアリング本部  
 技術開発部  
 技術課  
 主任