

DJM 工法（粉体噴射攪拌工法— Dry Jet Mixing）の最新技術

新川直利・安岡伸茂

DJM 工法（粉体噴射攪拌工法— Dry Jet Mixing）は、軟弱地盤中に改良材を粉体のまま供給し、強制的に原位置土と攪拌混合することによって、土と改良材を化学的に反応させて、土質性状を安定なものにするとともに強度を高める工法である。本工法は昭和 55 年に実用化されて以来、施工実績も年々増加し、平成 20 年度までの累計施工件数は 4,800 件を超え、実改良土量も 3,000 万 m³ を超えている。

本稿では、DJM 工法の基本原理を概説し、これまでの適用実績の特徴を紹介したうえで、「環境への配慮」、「コスト縮減」といった建設市場のニーズに対応すべく開発が進められている、DJM 工法の新しい技術について紹介する。

キーワード：地盤改良、深層混合処理工法、粉体噴射攪拌、環境対応、コスト縮減

1. はじめに

DJM 工法（粉体噴射攪拌工法— Dry Jet Mixing method）は、軟弱地盤中に改良材を粉体のまま供給し、強制的に原位置土と攪拌混合することによって、土と改良材を化学的に反応させて、土質性状を安定なものにするとともに強度を高める工法である。

本工法は、建設省総合技術開発プロジェクトの「新地盤改良技術の開発」の一環として、建設省土木研究所（現 独立行政法人土木研究所）と（社）日本建設機械化協会機械化研究所（現 施工技術総合研究所）が中心となって、昭和 52 年から 54 年にかけて開発された技術を基礎として、実用化が進められてきたものである。また、最近では「環境への配慮」、「コスト縮減」といった建設市場のニーズに対応すべく、新たな技術開発も進められている。

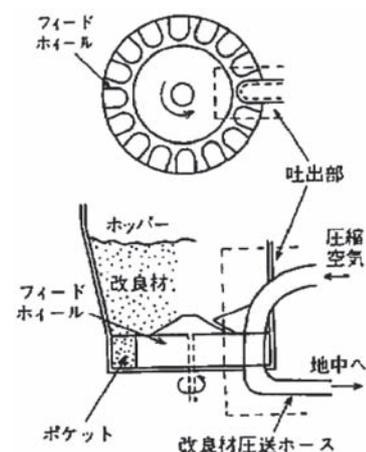
本稿では、DJM 工法の基本原理を概説し、これまでの適用実績の特徴を紹介したうえで、「環境対応型」、「コスト縮減型」の新しい DJM 工法の技術を紹介する。

2. DJM 工法の概要

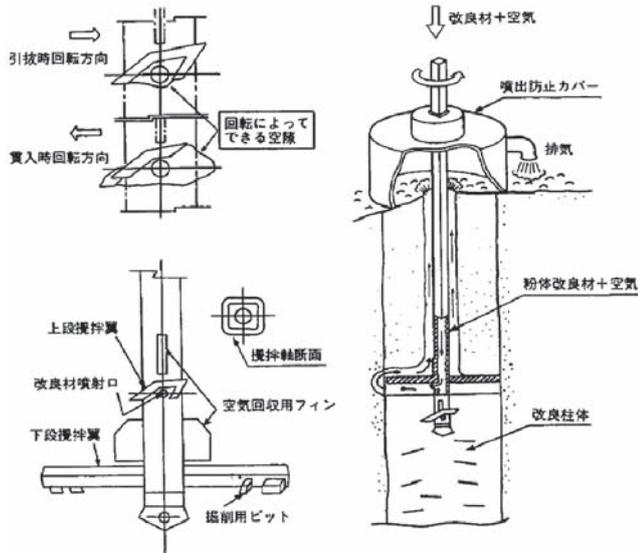
(1) 施工機構の原理

DJM 工法は、圧縮空気搬送による改良材の連続供給技術、土中での改良材と空気の分離と空気の回収技術等の開発によって実用化されたものである。本工法の施工機構の流れとしては、まず、図—1 に示す機

構の改良材供給機により、フィードホイールの円周部にあるポケットに落ち込んだ改良材をフィードホイールの回転によって、吐出部の圧縮空気の流れの中に入れる。次に、改良材供給機において圧縮空気の流れにのせられた粉粒体の改良材を圧送用のホースと攪拌軸中空部を経由して、攪拌軸の付け根部の噴射口から土中に噴射する。攪拌翼の基本的な形状は図—2 に示す構造になっている。翼の回転によって翼背面に空隙が生じ、噴射口からこの空隙部に向かって改良材と空気を噴射し、攪拌翼でミキシングする。改良材を分離して残った空気は、攪拌軸まわりを伝わって上昇し、地上に放出される。なお、空気の地上放出効果を高めることを目的として、攪拌軸の形状は外形を角形にしたものを用いている。



図—1 改良材供給機の機構¹⁾



図一2 攪拌翼形状と施工機構¹⁾

(2) DJM 工法の特長

DJM 工法は、改良材を粉粒体で地盤に供給することから、以下に示す特長を有している。

- ①改良材の種類は、その最大径が5mm程度以下で乾燥状態の粉粒体であれば、セメント、石灰、消石灰、排煙脱硫石膏、鉍砕スラグ、フライアッシュ、あるいは乾燥状態の砂や碎石ダストなど、地盤の性質と改良の目的に応じて、様々な材料が使用できる。また、事前に混合しておけば2種類以上の材料を同時に噴射することもできる。
- ②土質性状と必要強度に応じて、改良材の混合量を自由に選ぶことができる。そのため、有機質土などに対しても、混合量を多くすることにより改良が可能である。
- ③改良材が粉粒体のままであることから、スラリーなどに比べて地盤内に注入する絶対量が少なくすむため、他の深層混合処理工法に比べ、比較的地盤の

盛り上がりや周辺地盤への影響が少ない。

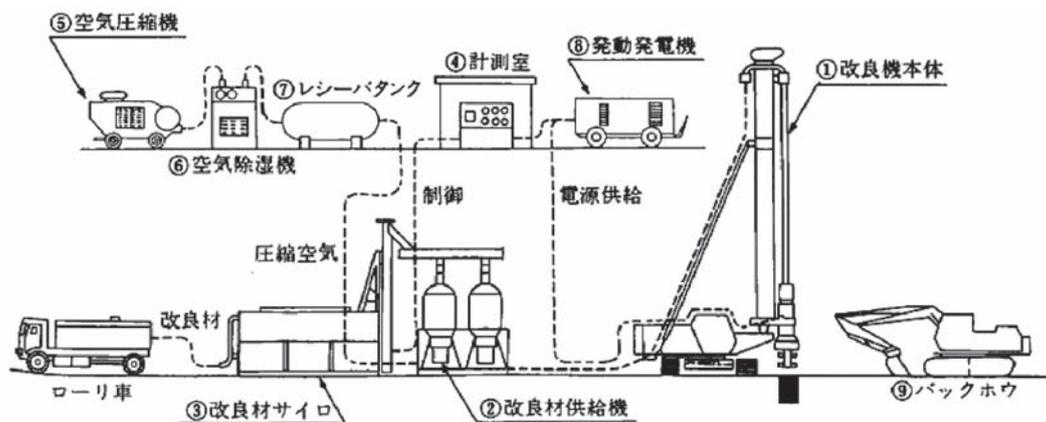
- ④水をまったく使用しないため施工現場をきれいに保つことができる。さらに粉体の搬送に密閉型のシステムを使っているため、粉塵などがなく雨天下でも施工できる。

(3) 施工機械と施工方法

図一3にDJM工法の施工機械の基本構成を示す。同図に示すとおり、施工機械設備は改良機本体と改良材プラント部分に分けられる。改良機本体は地盤中に改良材の供給・攪拌・混合を行うもので、単軸型と二軸型がある。単軸型は簡単なほふく装置を持ったスキッド型、二軸型はクローラー型のベースマシンに搭載されている。DJM工法では、改良径は1,000mm、二軸同時施工(軸間距離:800mm, 1,000mm, 1,200mm, 1,500mm)を標準とし、最大貫入深度は33mまで施工可能である。

図一4にDJM工法の施工手順を示す。まず、改良機本体の位置決めと攪拌軸の鉛直性の確認の後、攪拌軸を回転させながら所定の深度まで貫入する。この際、改良材は噴射させないが、噴射口を詰まらせないために圧縮空気は噴出させておく。これは、貫入に際して貫入速度を早くし、負荷トルクを低減させる効果もある。次に引抜きと改良材の噴射攪拌が併行して行われる。改良材の量の制御は、改良材供給機から送出される改良材の吐出量と攪拌翼の引抜き速度の関係によって決まる。なお、鋭敏比が大きい海成粘土等では、貫入時の攪拌により地盤が泥濘化し、攪拌軸の周辺に空気回収のための空隙が保てない場合がある。このような地盤に対しては貫入時に改良材の全部または一部を噴射する施工方法がとられる場合もある。

図一5にはDJM工法の施工管理項目を示す。本工法では他の深層混合処理工法と同様に、一般に出来上



図一3 DJM 施工機の基本構成¹⁾

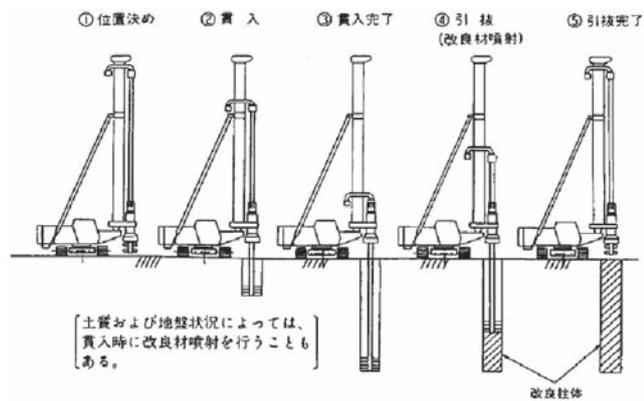


図-4 施工手順¹⁾

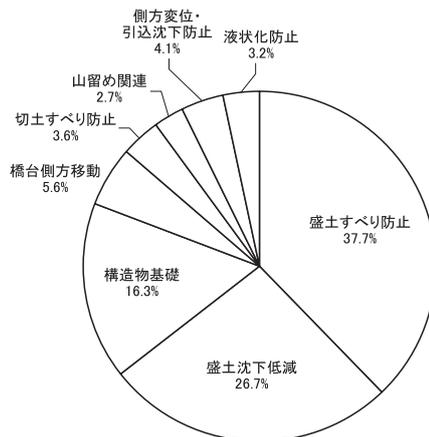


図-6 改良目的別施工件数率

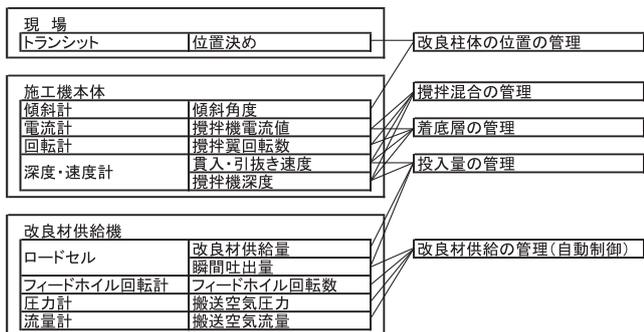


図-5 施工管理項目

がりを直接肉眼で確認しながら施工することができないため、施工管理は計器による確認が主体となる。計測する項目としては、空気の圧力、流量、攪拌翼の回転数、電流値、貫入・引抜き速度および深度、改良材の吐出量等多岐にわたる。

3. DJM 工法のこれまでの施工実績

DJM 工法はこれまで様々な軟弱地盤上の課題に対して適用されてきた。図-6には改良目的別の施工件数率を示す。同図に示すとおり、DJM 工法の改良目的としては、盛土のすべり対策および沈下低減対策が60%以上を占めていることがわかる。また、改良目的の時代変遷をみるために、各施工年代別に改良目的を整理したものを図-7に示す。同図より、主要な改良目的である盛土のすべり、沈下対策が全施工件数に占める割合は60~70%程度と変化はないが、液状化防止目的の件数は、1995年以降増加していることがわかる。これは、1995年兵庫県南部地震において液状化による被害がクローズアップされたことに起因すると考えられる。また、図-8には対象地盤別の施工件数比率を示す。DJM 工法における改良対象土の60%は粘土およびシルトが占めていることがわかる。図-9には改良対象土質別の設計基準強度の実績を

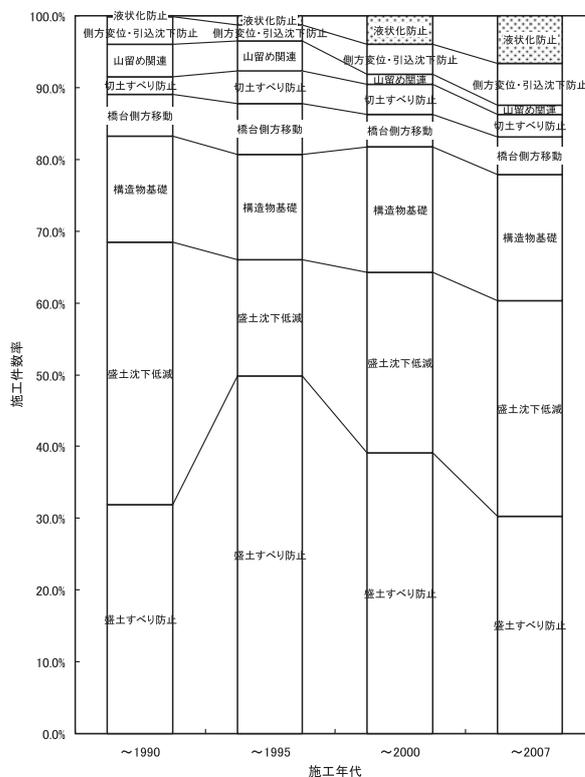


図-7 改良目的別施工件数の時代変遷

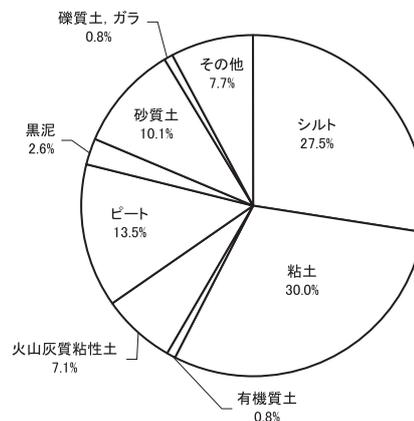


図-8 対象地盤別件数比率

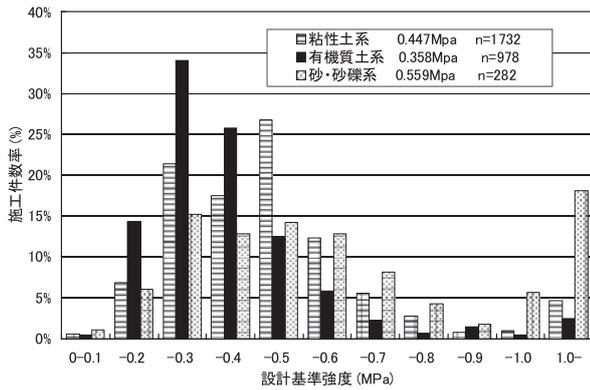


図-9 対象土質別の設計基準強度実績

示す。設計基準強度の平均値は、有機質土系、粘性土系、砂・砂礫系の順に高くなっており有機質土系では0.1～0.4 MN/m²とする例が80%以上を占めている。したがって、改良対象に有機質土系の地盤を含む場合には、設計基準強度の設定には留意する必要がある。

4. 最近の新しい DJM 施工技術

本節では、「環境への配慮」、「コスト縮減」といった建設市場のニーズに対応すべく進められている、DJM 工法の最新の施工技術開発について紹介する。

(1) 拡大径粉体噴射攪拌工法 (EX-DJM 工法)

EX-DJM 工法 (Expanded - DJM) は、従来改良径が1,000 mmであった標準施工機をベースとして、攪拌翼径を1,200 mm および1,300 mm に拡大して大口径の改良体を造成する工法である。改良径の拡大により改良面積が大きくなることから、施工能率の向上、工期の短縮、コストの低減を図ることができる。

表-1には標準の改良パターンを、写真-1には杭頭部の確認状況を示す。なお、本工法は攪拌翼径の拡大により、処理機の負担が増大するため、その適用に当っては、土質条件や改良仕様等を慎重に考慮する必要がある。

表-1 EX-DJM の標準改良パターンの例

改良パターン	杭式		接円ラップ式
φ1200×2軸	2.26 m ³ /2軸 (1200)	2.17 m ³ /2軸	
φ1300×2軸	2.66 m ³ /2軸 (1300)	2.56 m ³ /2軸	



写真-1 杭頭確認状況 (φ 1,300 mm)

(2) 高強度・低改良率 (HL-DJM) 施工法

最近の建設市場における「コスト縮減」の流れを受けて、盛土材のアーチ効果を考慮し (図-10 参照)、従来よりも低い改良率 (10～30%) で盛土直下全面に改良体を配置することにより軟弱地盤の圧密沈下低減を図る、低改良率セメントコラム工法 (ALiCC 工法)²⁾ が独立行政法人土木研究所により実用化されている。同工法は低改良率化によりコスト縮減、工期短縮を図ることが可能となる。

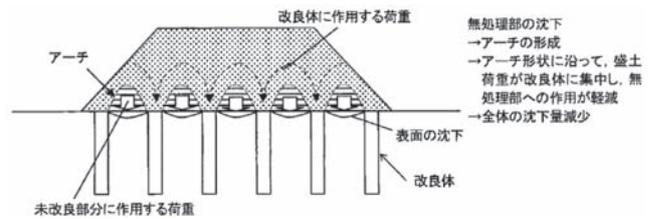


図-10 盛土材のアーチ効果²⁾

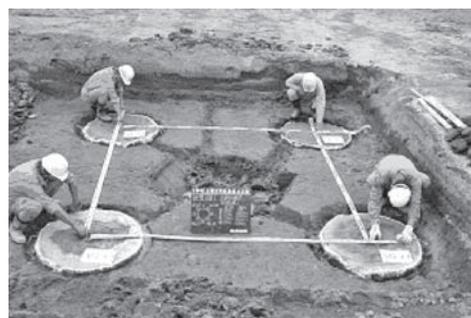


写真-2 HL-DJM 施工例 (軸間2.8m)

表-2 改良パターン例

配置	非接円/改良径1,000 mm			
正方形				
	軸間距離 L	2,000 mm	2,300 mm	2,500 mm
改良率 a _p	19.6%	14.8%	12.5%	10.0%

HL-DJM (High strength Low improvement) 施工法とは、ALiCC 工法で要求される高強度・低改良率の改良体配置に対して、二軸施工機で効率的に施工ができる代表的な施工法であり、1,600 mm 以上 3,000 mm 以下の軸間距離での施工が可能である。

(3) 変位低減型 (RD-DJM) 施工法

変位低減型施工法 (RD-DJM Reducing Displacement-DJM) とは、従来施工機のように攪拌軸の付け根部の噴射口から改良材を外側に噴射するのではなく、攪拌翼外縁に吐出管を配置し内向きに吐出する。この内向吐出翼を用い、さらに翼軸も含めた攪拌軸に特殊なフィンをつけることで、従来機より空気回収の効率化を図り、施工工程での周辺地盤変位の低減を図る工法である。

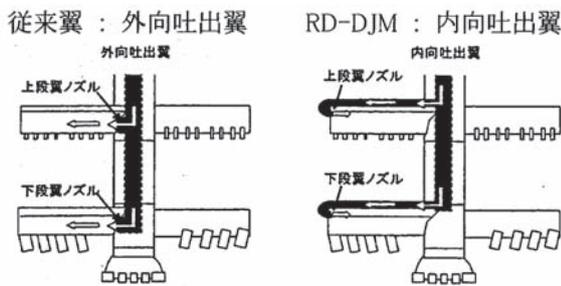


図-11 外向吐出翼と内向吐出翼 (概念図)

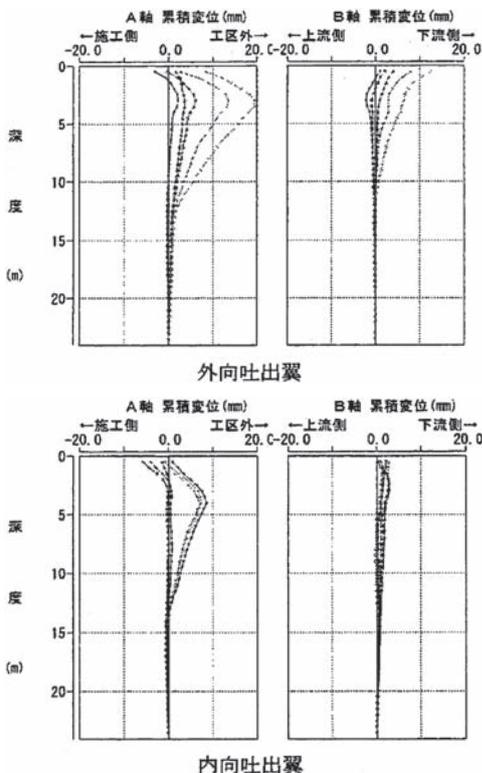


図-12 地中変位測定事例³⁾

図-12には、単軸施工機を用いて行われた、外向吐出翼と内向吐出翼の変位低減効果の確認試験結果³⁾を示す。改良域から3.0 mの位置に設置された地中傾斜計の測定結果によると、従来の外向吐出翼の最大変位20 mmに対し、内向吐出翼では8 mm程度であり、1/2～1/3程度に変位を低減できることが確認されている。なお、これらの結果は単軸施工機におけるものであり、今後は通常二軸施工機を用いた内向吐出翼の効果およびフィンの効果等の確認試験を実施する予定である。

5. おわりに

本稿では、DJM工法の概要とDJM工法に関する最近の新しい技術開発について紹介した。DJM工法は昭和55年に実用化されて以来、施工実績も年々増加し、平成20年度末までの累計施工件数は4,800件を超え、実改良土量も3,000万m³を超えている。近年では、「環境への配慮」、「コスト縮減」といった建設市場に求められるニーズもますます厳しくなっており、従来技術を応用した新しい技術開発への取り組みが、今後さらに必要になると考えられる。

JCMA

《参考文献》

- 1) DJM工法研究会：DJM技術マニュアル，(2006)
- 2) 独土木研究所編：地盤改良のためのALiCC工法マニュアル，(2007)
- 3) 武田：内向吐出翼による空気回収向上と地盤変位低減，DJMセミナー'03，pp.33-41，(2003)

〔筆者紹介〕



新川 直利 (しんかわ なおとし)
DJM工法研究会
技術委員会 幹事



安岡 伸茂 (やすおか のぶしげ)
DJM工法研究会
事務局長