

14. 粉体噴射攪拌工法

神戸製鋼所 *青 井 実

不動建設 中 村 正 邦

三信建設工業 栗 原 鎮 男

1. ま え が き

最近の土木、建設工事の大型化、多様化にともなって、軟弱地盤の改良技術には、高度な要求がなされる傾向となっている。地盤を改良するには、サンドドレーン工法や、サンドコンパクション・バイル工法のような、物理的な改良原理にもとづくものと、生石灰やセメントなどの化学的改良材を、土中に添加混合することにより生ずる化学反応を利用した化学的な原理にもとづくものに大別できる。後者に属するものには、最近、多用されてきた深層混合処理工法などが含まれる。ここに紹介する粉体噴射攪拌工法は、生石灰やセメントなどの化学的改良材を、粉粒状のドライなままの状態、空気輸送により軟弱地盤中に噴射・供給し、原位置で強制攪拌混合することにより地盤の固結化を図る工法で、大きな改良強度が、早期に得られる化学的な改良原理にもとづく工法である。

この工法は、建設省総合技術開発プロジェクトの一環として、建設省土木研究所と、その委託を受けた(社)日本建設機械化協会・建設機械化研究所が中心になって開発した工法で、数次にわたる試験工事を経て、実用化に入った新しい工法である。

2. 改良原理と特長

改良材は、地上に設けた改良材供給プラントの改良材吹込機から、圧縮空気とともに、ホース、攪拌軸中空部を経由して、攪拌翼の付け根部から、翼の回転によって生ずる空隙部に向かって吐出される。この土中での空隙は、回転数を大きくとると、空隙の増大にともなって負圧が生ずると考えられ、通常の空気圧縮機で得られる圧力で、攪拌翼軌跡全面に改良材が均一に散布・供給されることになる。

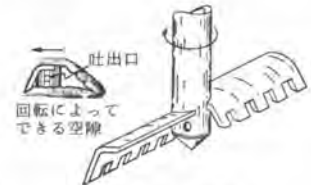


図-1 噴射攪拌翼

吐出された改良材と空気は、圧送中の配管径にくらべて大きな空隙部に入るため、改良材の搬送が困難な流速となり、改良材と空気の分離が促進され、さらに、土中の水分によって、回転による空隙部に改良材が付着し、空気のみが軸のまわりから地上に放出されることになる。攪拌軸の形状は、土中部での空気の通過を良くするために、パイプにフインのついたものや、角形のもの採用されている。

以上のような原理にもとづくこの工法は、次のような特長をもっている。

①改良材はドライな状態であれば、種類、性状を問わない。セメント、石灰、スラグ、砂など地盤の土性と改良目的に応じて、選択することができる。

②改良材がドライであるため、地盤中に余分の水を加えることなく、土中の含水比を相対的に低下させることができる。したがって、設計強度を同一にするならば、スラリー使用の場合とくらべて、改良材の使用量を少なくすることができる。図-2は千葉県市川粘土における現地施工の改良効果例

で 80 kg/m^3 で十分な効果をあげている。

③改良材を面的に散布し、同時に攪拌面の水分に付着させるため、改良材の供給にバラツキがない。このことから、少い攪拌回数で、均一な高い強度の改良効果が得られることになる。

④水を全く使用しないため、施工場所の条件に左右されず、泥排水の処理なども不要である。

⑤施工後の表層の盛りあがりが少ない。このため、ビート層などの改良についても、改良材の量をふやして、置換工法に近い形で処理することができる。図-3は埼玉県与野市のビート層改良実験工事の結果で、セメント 500 kg/m^3 、砂 200 kg/m^3 を添加して、平均含水比 53.0% の超軟弱な地盤を改良した結果を示したものである。

⑥改良材のハンドリングは、空気搬送によるクローズド・システムを採用しているため、粉塵発生の恐れがなく、天候に左右されずに作業が可能である。

⑦改良機本体からガイドパイプが除去できるため、土による貫入、引抜抵抗が大幅に低減され、施工能率の向上につながる。

以上が本工法の特長である。この工法は、改良原理、対象とする施工深度などから、深層混合処理工法の一分野と考えられ、適用工事も、すべり防止、沈下防止、ヒービング対策に活用されると考えられる。

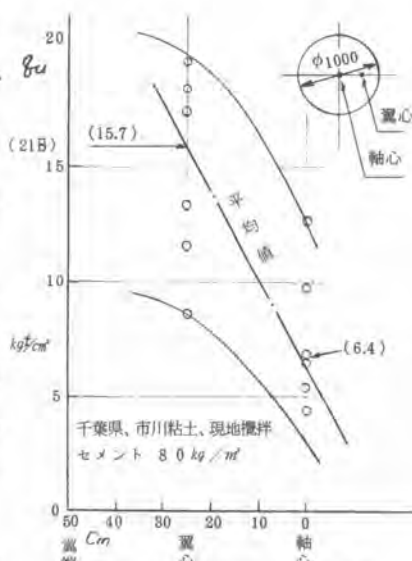


図-2 現地攪拌混合における効果例



図-3 ビート層改良効果

3. 施工システムと機器の仕様

全体の施工システムは、図-4に示すように、改良機本体、ベースマシン、改良材吹込装置、改良材サイロ、空気圧縮機などから構成される。改良機本体は、軟弱地盤中に、貫入、引拔を繰り返す、改良材の供給、攪拌、混合を行う作業の中心となる装置で、攪拌翼、攪拌軸、駆動装置、スィベルジョイントなどから構成されている。

攪拌軸の軸数から、単軸型と2軸型とに分類され、単軸型は、軽量、小型の利点を生かして改良深度 10 m 程度まで、2軸型の場合は、機動性があり大型である特長を生かして、 10 m 以上の、

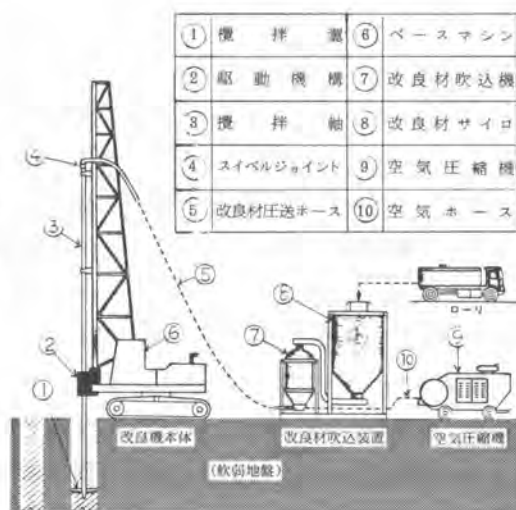


図-4 噴射攪拌工法、施工システム図

改良深度に適用するのが望ましい。

改良材吹込装置は、粉粒体の改良材を工中に安心供給するための、空気を用いた切り出し、搬送装置で、本工法のなかで重要な役割を果たしている。吹込装置の原理を図-5に示す。フィード、ホイールと称する多数のポケットを有するロータリーテーブルの回転と、圧縮空気によって、改良深度によって変化する土水圧に打ち勝って、定量供給を行うことが可能な構造となっている。改良材の切り出し機構は、ホッパーとともに圧力チャンバーに収納しているため、粉塵の発生なども皆無である。

改良機本体を搭載するベースマシンは、単軸型においては、小型、軽量、ハンディの特長を生かして、油圧ジャッキによる簡易式の移動装置を備えている。2軸型は、大規模施工を対象にしているため、専用のクローラタイプのベースマシンと一体になっている。ベースマシンのエンジン動力から攪拌動力も含む、すべての動力を、運転室のレバー操作1本で取りだせる集中制御方式を採用している。

空気圧縮機は汎用のもので十分で、一般的な目安としては、攪拌翼直径 $\phi 1000\text{mm}$ のもので、改良材の投入量 $80\text{kg}/\text{m}^2$ 、改良深度 20m 程度までは、圧力 $4\sim 5\text{kg}/\text{cm}^2$ 、空気量は $5\sim 6\text{Nm}^3/\text{min}$ の空気源が必要であろう。

図-6、表-1に単軸型の全体外形図と概略仕様を、図-7、表-2に2軸型の外形図と仕様を示した。

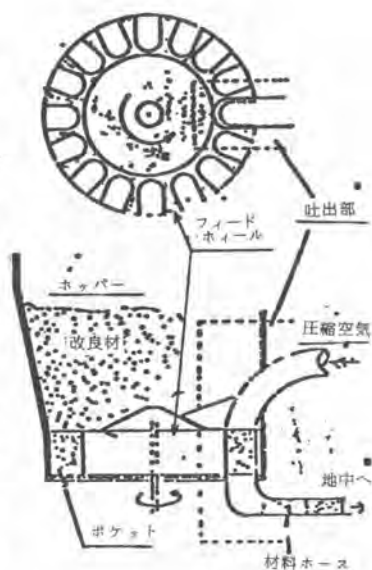


図-5 改良材吹込装置の原理

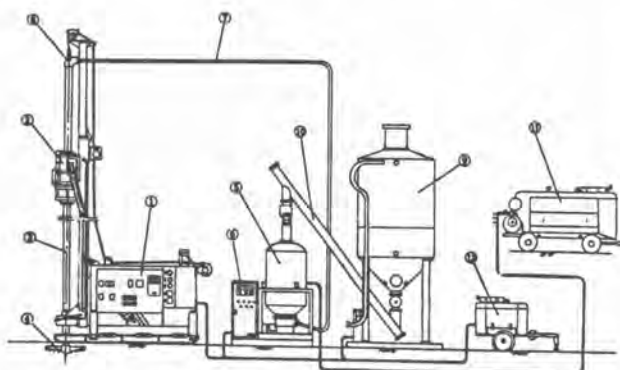


図-6 本工法の単軸機

表-1 単軸型の仕様

No	名称	規格
1	単軸式本体	DJM-30型, 30kW
2	攪拌動力	0~62rpm, 450kgm(最大)
3	攪拌軸	$\phi 82.6\text{mm}$
4	攪拌翼	$\phi 800\text{mm}$
5	改良材吹込装置	2000E型, 3.7kW
6	操作盤	
7	改良材圧送ホース	2B
8	スィベルジョイント	
9	改良材サイロ	15~20t
10	スクリーンコンベヤ	
11	空気圧縮機	100PS, 10.5 m^3/min
12	発電機	75KVA

施工管理は、化学的な改良原理にもとづく他工法と同様に、改良材の定量供給と、攪拌混合の均一性を確認することに要約される。改良材の搬送に圧縮空気を採用しているため、常時、空気の圧力と流量を、監視、制御する必要があるが、最近になり施工実績の積みあげとともに、特に土水圧に対抗しての改良材空気搬送理論が明確になりつつあることから、近い将来には、マイコンによる自動制御が可能となろう。

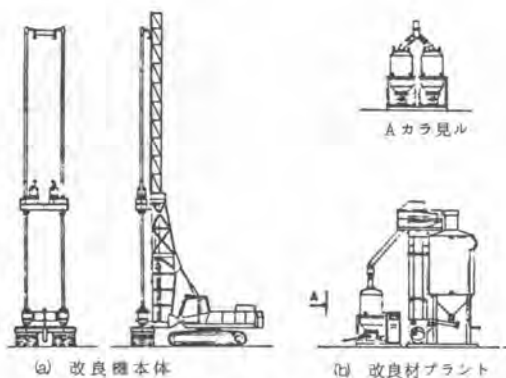


図-2 本工法の2軸機

表-2 2軸型の仕様

No	名称	規格
1	攪拌動力	20~60rpm, 1000 kg-m (最大)
2	攪拌軸	φ127mm × 2本
3	攪拌翼	φ1000mm × 2本
4	軸間距離	1800 ~ 2000 mm
5	改良深度	15 m (標準)
6	貫入・引抜速度	0~4 m/min
7	攪拌動力	油圧モータ(エンジン駆動)
8	専用ベスマシン	5090×3220 ^{mm} (全長×全幅)
9	履帯巾	900 mm
10	接地圧	0.50 kg/cm ²
11	エンジン出力	155 PS (定格)
12	改良材サイロ	20 t
13	改良材吹込装置	2000E型 × 2台
14	改良材吐出能力	50~150 kg/min
15	改良材圧送ホース	2B × 2本
16	空気圧縮機	100PS, 10.5 m ³ /min × 2台

4. 施工実績

本工法の開発の歴史は新しく、現在までの施工実績は、表-8のように7例にすぎない。(81年8月現在、施工中のものを除く)しかし、これらの工事例は、標準的な粘性土の他に、有機質土、PEAT層、砂質シルトなどの、あらゆる軟弱地盤に対して改良材の種類、配合施工条件を変えることにより、有効な効果が得られたことを示している。とくに、最近実施した、千葉県・市川における2軸型の試験工事では、同一地盤に対して、改良材の種類、配合量、吐出方法、攪拌条件などを変化させて施工を行った。この結果については、紙面の関係もあり、改めて別の機会に報告したいと考えている。

5. あとがき

最初に述べたように、本工法は建設省の総合技術開発プロジェクトの成果として誕生した工法であるが、現在この工法のレベル向上と発展を目的として、噴射攪拌工法研究会が結成されて活動している。今回のシンポジウムの発表にあたって、建設省土木研究所、建設機械化研究所、研究会メンバーの各位から、適切な助言と資料をいただいた。紙面をかりて御礼を申し上げます。

表-8 噴射攪拌工法・実験一覧表

No	実験名	実施時期	攪拌翼	対象土	改良深度
1	スプリー噴射攪拌実験	53.1	φ600 ^{mm} 1段翼	シルト質ローム γ _t =1.6 t/m ³ w=60~65%	2.5 m
2	粉体噴射攪拌基礎実験 I	53.11	同上	同上の攪拌試料	3.0 m
3	同上基礎実験 II	54.3	φ600 ^{mm} 2段翼	シルト質ローム γ _t =1.6 t/m ³ w=60~65%	3.3 m
4	熊谷バイパス地盤改良試験工事	55.1	同上	粘土 γ _t =1.6 t/m ³ w=60%	6.8 m
5	屋外実験	55.7	φ800 ^{mm} 1段翼	粘土・有機質 γ _t =1.6 t/m ³ w=180%	6.0 m
6	与野市・中央通り緑地盤改良試験工事	56.2	同上	PEAT層 γ _t =1.05 t/m ³ w=530%	7.0 m
7	千葉県・市川サービスセンター試験工事	56.5	φ1000 ^{mm} 1段翼	粘土・砂質シルト γ _t =1.7 t/m ³ w=50%	12.5 m

参考文献 ①噴射注入工法の開発に関する研究報告書、(社)日本建設機械化協会、55年8月

②千田昌平、噴射注入工法の開発、建設省概要報告書、55年9月

③兼松陽、粉体材料の気送による新地盤改良工法、建設機械、1981年8月

④千田昌平、村尾好昭、粉体噴射攪拌工法の開発、橋梁、1981年5月