

19. 噴射注入工法の開発に関する研究について

建設省土木研究所 村尾好昭
建設機械化研究所 荒川秀一

1. まえがき

この研究は、建設省総合技術開発プロジェクトの一環である「新地盤改良技術の開発」の主題のひとつで、建設省土木研究所の委託により社団法人日本建設機械化協会が昭和52年度から3ヶ年にわたって進めてきたものである。

噴射注入工法は、スタビライザーによる表層地盤安定処理とDLM、CMC等の深層混合処理との中間、いわゆる中層部分の処理をめざしたもので道路や陸上基礎など一応2～6mの地盤改良を対象としている。噴射注入工法の従来工法にない大きな特徴は、地盤改良材をスラリーなどに加工することなく、粉体材料のまま地盤内に噴射注入攪拌し容易に地盤改良ができることにある。

研究の最終年度には、過去2年間に実施した成果を基に実用実験機を試作し、試験工事の施工によってその性能を確認し、今後の実用化に対する見通しを得たので、その概要について報告するものである。

2. 試験工事概要

2.1 試験工事内容

工事名：熊谷バイパス地盤改良試験工事

工事期間：昭和55年1月13日～昭和55年3月27日

工事場所：埼玉県行田市堤根地先

工事内容：盛土基礎と橋台背面基礎の地盤改良

2.2 土質

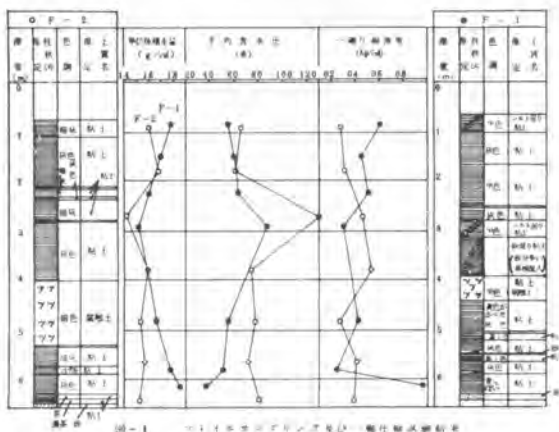
図-1に土質調査結果を示すが、深さ6～7mまで軟弱な粘性土地盤である。

2.3 試験条件

表-1の条件で施工する。施工機械の標準噴射条件を表-2に示す。

3. 施工機械と付属設備

噴射注入実用実験機は写真-1、図-2に示すようにスワンプクローラをベースマシンとして、先端のリーダーに2軸の攪拌機本体をセット、スワンプクローラ架台上中間部の両サイドに攪拌軸の回転と材料搬送機（プロマート吹込機）のフィーダー回転動力を発生する発電機、改良材を搬送するコンプレッサ



一の2機種を載せ、後部両サイドにプロマート吹込機、中央にホッパーを塔載し噴射注入装置全体を構成している。

図-3に攪拌翼、表-3に施工機械一覧表を示す。

表-1 試験条件

試行	工種	改良材	材料	吹込機数	混合機	混合機
1	2軸	セメント	粉体	4	4	6
2		生石灰		4	4	6
3		(50:50) 生石灰		4	4	6
4		(50:50) 生石灰		4	4	6
5	単軸	セメント	粉体	4	4	6
6		(50:50) セメント		4	4	6
7	CMC	(50:50) セメント	粉体	20	4	6
8		(125:75) セメント		20	4	6
10	2軸	セメント	粉体	5	2	6
計				4	122	

表-2 標準噴射条件一覧表

項目	工種	
	2軸・単軸	単軸
噴射翼径	540	540
噴射翼径	600	600
吐出口径	40	40
ノズル回転数	60	60
吐出量	45~50	45~50
吐出圧	2~8	8.0
エアー流量	5~7	-
ノズル吹込距離	1.0	1.2



写真-1 噴射注入実用実験機

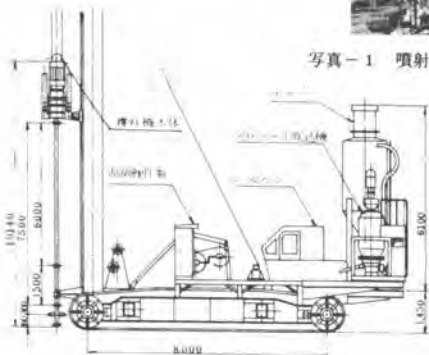


図-2 噴射注入実用実験機

4. 試験工事施工実績(2軸, 単軸方式)

4.1 施工方法

施工は改良材を粉体の状態で軸先端のノズルより噴射、攪拌翼により攪拌し軟弱土と改良材の混合柱体を造成するものでこの施工順序を図-4に示す。

4.2 施工記録

4.2.1 施工日数と時間の分布

各条件毎の施工日数と施工本数を表-4に示し、セメントを材料とした平均サイクルタイムを図-5に示す。

表-3 施工機械一覧表

機械名称	仕様	性能		
スラッシュポンプ	型式	TC52-01-01		
	全高	9600 mm		
	主翼全高	5000 mm		
	サア全高	3430 mm		
	履帯幅	2000 mm		
	エンジン中心距離	8000 mm		
	全体重量	76500 kg (噴射注入装置を含む全重量)		
	接地圧	0.245 kg/cm ²		
	機械全長	10140 mm		
	全体重量	4500 kg		
攪拌機	型式	2軸2段2枚特殊羽根		
	直径	φ600 mm		
	厚径仕様	900 mm		
	無負荷回転	100A		
	無負荷回転	(注) 軸内にセメント注入用配管として50Aの潤滑管を配置する		
	回転数	60 rpm		
	慣性トルク	520 kg-m		
	台数	2		
	電動機仕様	形状	500W形600V、フランジ型	
		37 kW, 6P		
	AC 220V, 60Hz			
改良材貯蔵設備	ホッパー	容量	3	
		容積	4 m ³	
	ロータリーコンベヤ	回転力	5 t/h	
		回転速度	0.4 回転/分, 4P, 全閉外周駆動	
	二方向切換装置	台数	2	
		回転力	5 t/h	
	ホッパー・コンベヤ	電動機	0.4 kW, 4P, 全閉外周駆動	
		台数	2	
		型式	800E	
		ホッパー容量	0.8 m ³	
プロマート吹込機	空気消費量	5~7 m ³ /min (at 4kg)		
	吐出能力	30~120 kg/min		
	機械寸法	1990φ×1150B×2030Z		
	電圧	40A		
	電圧	10kg		
	長さ	20m (両側金具付)		
	台数	2		
コンプレッサー (北越)	型式	PDR 600S	回転数	1,750 rpm
	吐出圧力	7.0 kg/cm ²	吐出量	17 m ³ /min
	全備重量	4,750 kg	機軸形式	DK 10 AT
交流発電機 (北越)	型式	SDJ-150S	回転数	1500/1800 rpm
	出力	125/150 瓩	相数	3
	周波数	50/60 Hz	効率	0.8
	電圧	400/440, 200/230V	全重量	3,650 kg

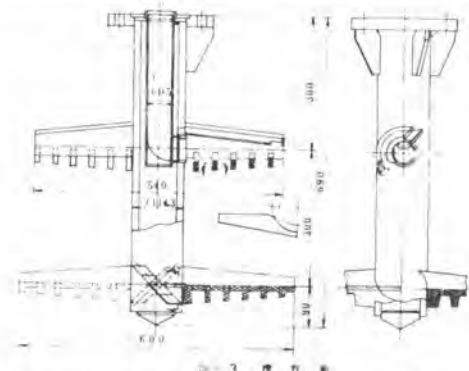


図-3 攪拌機

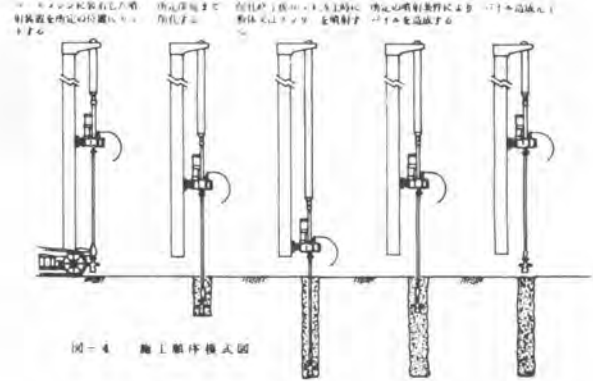


図-4 軸上攪拌機式図

4.2.2 就業人員

職種別の1日当たり作業人員を表-5に示す。

表-5 作業人員

職種	業務	人員	計
2軸	供品運 (位置設定)	1	5
	ベースマシンオペレータ	1	
	プロマート吹込機操作	2	
	攪拌機操作	1	
単軸	供品運	1	5
	掘削機オペレータ	1	
	プロマート吹込機操作	1	
	材料ホース	1	
	材料投入	1	

表-4 施工能力

工種	作業	数量	日数	平均施工本数/日	記 事
2軸	1	セメント	5.5	本日 60日 108 ÷ 5.5 = 20 = 10	1. 開始日と終了日は、0.5日単位とし、2週間があっても、施工した日は、1日とした。
	2	生石灰	7	108 ÷ 7 = 15 = 8	
	3	スラグ+砕石	6.5	108 ÷ 6.5 = 18 = 9	2. 砕石+セメントは、身材で吐出が出来なかったため1日10時間施工したのみで、後はセメントに変更した。
	4	砕石+セメント (セメント)	4.5	108 ÷ 4.5 = 24 = 12	
単軸	5	セメント	12.5	108 ÷ 12.5 = 9本/日	
	6	スラグ+砕石	7.5	108 ÷ 7.5 = 15	

注

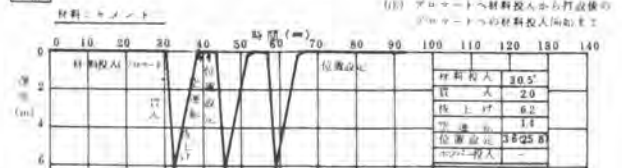


図-5 平均サイクルタイム

(注) プロマートへ材料投入から打設後のプロマートへの材料投入開始まで

(注) その他時間 3分
1) の後は、別の試験機にて実施

4.2.3 噴射注入実験機の性能 (2軸方式)

施工管理として①攪拌軸回転数、②打設深度、③打設速度、④改良材吐出量、⑤時間の5項目をペン書きオシログラフに記録した。この記録を基とした実験状況を次に述べる。

- 攪拌軸の回転数は大部分が64 rpmであった。
- ノズル貫入速度は攪拌機本体の自重(4.5 t)により2~6 m/minの範囲で容易に貫入した。
- ノズル拔上げ速度は目標1 m/minに対し0.62~1.20 m/minであったが、ベースマシンのオペレータが慣れるに従ってほぼ予定通りの値を出すことができた。
- プロマート吹込機は30~120 kg/minの吐出能力を有しており、今回は45~50 kg/minを目標にした、ほぼ予定通りの吐出量が得られた。
- セメント粉体を材料とした場合、材料ホース長が60 mでの施工を確認した。
- スモーキングは貫入時のコルク栓使用、抜上げ終了時は土被り30 cm程度の位置で空吹きで防置が可能であった。
- 施工時の攪拌トルクはGL-1 m程度は含水比が低いため貫入トルクが大であるが、-1 m~-6.5 m間のトルクは定格トルクの50%程度である。生石灰がセメントに比べ約50 kg-mトルクが大きいのが反応効果の差により生じたものと思われる。

4.3 効果確認試験

ダッチコーン(2 t)による杭間、杭芯の静的貫入試験と、デニソンサンブラーによって採取した試料による一軸圧縮試験を実施した。セメントと生石灰の結果を図-6、7に示すが何れも処理効果が認められる。

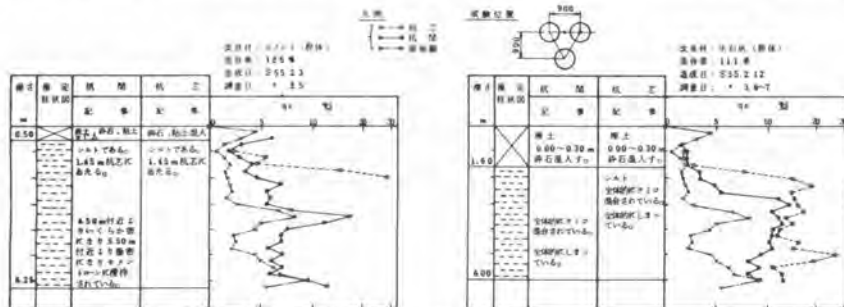


図-6 静的コーン貫入試験結果(2軸)

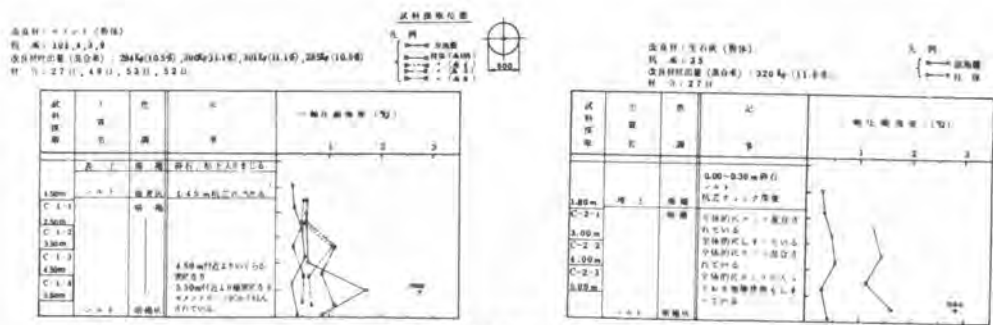


図-7 改良土試験結果（2軸）

5. 考 察

これまでの実験や試験工事によって明らかになってきた噴射注入工法の特徴は、

- (1) 改良材を粉体のまま地盤内に直接噴射注入するもので、効果をあげるため攪拌を併用している。
- (2) 地盤の改良形態としては多柱状に改良され、一種の複合地盤となるものと考えられるが、1本の柱体自体の改良度と柱間隔の程度によって、地盤全体の改良の程度を調節することができる。
- (3) 改良材の地盤内への噴射注入は圧縮空気によって行いので、スラリーなどのように水分を必要としないし、粉体混入により、かえって地盤内の含水比を相対的に低下させることにもなる。
- (4) 地盤改良材の種類は、その最大径が約5mm程度以下で乾燥状態であればセメント、生石灰、消石灰、排脱石膏、鉍砕スラグなど、地盤の性質と改良の目的に応じて使用できる。
- (5) 施工に際して、噴射注入攪拌は打撃や振動によることがないので原則的には低騒音、低振動工法である。
- (6) 改良材の混合率を高めていくと、柱体自体の強度を増すことができるので、そのような場合には一種の場所打杭としての施工を期待することも可能である。

等をあげることができ、将来の展望は、非常に明るいものがある。

他方、噴射注入工法の今後の問題点は、機械装置に関するものとして(1)改良深度、(2)改良径、(3)動力の種類、(4)多連注入の程度など、施工方法に関するものとして、(1)改良材の最大径と水分、(2)スモッキング、(3)改良柱体上端と原地盤の差などが考えられ、これらに対する検討も必要である。

6. あとがき

噴射注入工法の開発に関する研究は最終年度にいたり、実験機の試作と、それを使用した試験工事によって、一応の成果と実用化への目途をつけることができた。

この間、「噴射注入工法の開発に関する研究委員会」の中瀬委員長を始め各委員の皆様の御指導、をおあぐことができ、さらに研究の過程で、佛神戸製鋼所、三信建設工業㈱、電気化学工業㈱の多大なる御援助、御協力をいただいた。ここに厚く謝意を表する次第である。

なお、本工法は特許および実用新案出願中である。