

高速施工が可能な高圧噴射攪拌工法の開発 —噴射仕様と改良体出来形に関する考察—

高圧噴射攪拌工法 実大実験 高速施工

三信建設工業(株)
三信建設工業(株)

正会員 ○山崎 淳一
正会員 森脇 光洋

1. はじめに

高圧噴射攪拌工法において、噴射流のエネルギーを最大限有効活用して、地盤の切削と攪拌混合を効率的に行なうことが重要な課題である。この課題に正面から取り組み実用化した、大口径の改良体を高速施工で造成する高圧噴射攪拌工法(V-JET工法)の開発において、実大の地盤噴射実験を実施して工法の実用性を確認した。

本稿では、独自に開発した先端噴射装置を用いて実施した実大実験結果に対して、噴射仕様と改良体出来形の関係を考察した結果を報告する。

2. 実大実験結果

実大実験は、開発した施工システムの施工性確認、および噴射仕様による改良体の出来形および品質の確認を目的として、噴射仕様の異なる6本の改良体の造成により実施した。施工システムおよび実験の内容については、前報²⁾を参照していただきたいが、各実験ケースの噴射仕様と施工結果を表-1にまとめる。実験の結果、I型の先端噴射装置を用いたケースでは、出来形および改良体の品質が事前に想定したものに近い結果が得られた。一方、II型の先端噴射装置を用いたケースでは、排泥のスラリー含有率や改良体の圧縮強度に異常値がみられた、改良体出来形に想定した傾向がみられないなどの結果となった。

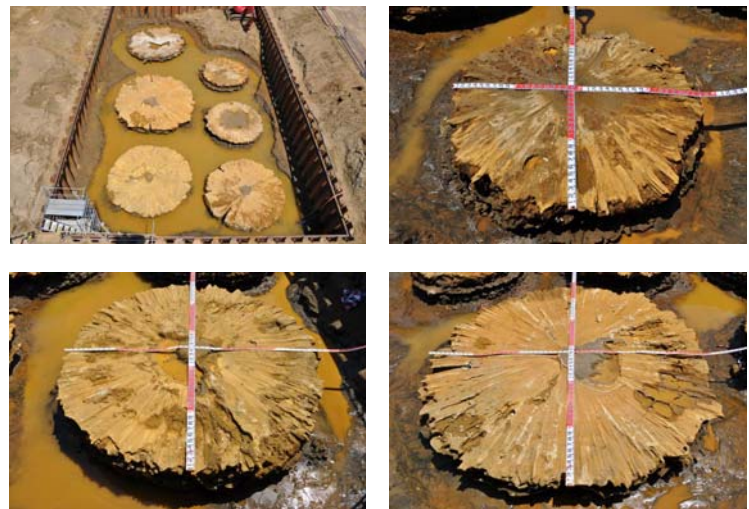


写真-1 掘り出された改良体

3. 噴射仕様と改良体出来形の関係

文献等によると、改良体の出来形すなわち高圧噴射による地盤切削距離は、地盤の強度、噴射圧力、ノズル径(噴射量)、移動速度、繰返し回数との間に相関があることが報告されている。また、独自の実験データにより、これらに加えてエア噴射量との相関も大きいことが確認されている。各実験ケースにおけるこれらの値を表-2に示す。ここで、地盤強度については同一条件であるため、仮にN値を用いた。移動速度は、出来形調査で確認された平均改良体径の円弧上を移動する速度とした。また、繰返し回数は、前記の円弧を持つ円筒の点を噴射流が通過する回数とした。

以下、各パラメータとの相関が確認しやすいと考えられる、I型の先端噴射装置を用いたケースにおける噴射仕様と改良体出来形の関係について考察する。

(1) 実験ケースB~Dは、噴射圧力 P_m とノズル径 d_0 、さらにエア噴射量 Q_e が同じ仕様であり、噴射流の移動速度 V_{tr} と繰返し回数 N

表-1 噴射仕様と施工結果

実験ケース	A	B	C	D	E	F
先端噴射装置種別	I型	I型	I型	I型	II型	II型
噴射圧力(MPa)	37	35	37	35	34	34
硬化材噴射量(L/min)	320	400	400	400	600	600
エア噴射圧力(MPa)	0.95	0.95	0.90	0.95	0.95	0.95
エア噴射量(Nm ³ /min)	10	14	13	14	15	15
ロッド回転数(rpm)	4	5	5	4	4	3
造成時間(min/m)	13	6	10	16	14	20
排泥の比重	2.00	2.02	2.00	2.00	2.03	1.92
排泥中のスラリー含有率	0.28	0.39	0.37	0.38	0.33	0.66
平均改良体径(m)	3.53	3.92	4.55	4.65	5.21	5.12
平均圧縮強度(N/mm ²)	7.7	3.5	5.1	6.6	20.3	23.3

※噴射圧力、硬化材噴射量、エア噴射圧力、エア噴射量はいずれも実測値である。

表-2 改良体出来形と相関があると考えられるパラメータ

実験ケース	A	B	C	D	E	F
地盤の強度(N値)	20	20	20	20	20	20
噴射圧力 P_m (MPa)	37	35	37	35	34	34
ノズル径 d_0 (cm)	0.39	0.44	0.44	0.44	0.54	0.54
エア噴射量 Q_e (Nm ³ /min)	10	14	13	14	15	15
移動速度 V_{tr} (cm/s)	73.9	102.6	119.1	97.4	109.1	80.4
繰返し回数 N	2.6	1.5	2.5	3.2	2.8	3.0
地盤切削距離 S_0 (m)	1.77	1.96	2.28	2.33	2.61	2.56

Development of high-speed construction type Jet Grouting method – Consideration of jet specifications and diameter of improvement –: Junichi YAMAZAKI (Sanshin Corporation), Mitsuhiro MORIWAKI (Sanshin Corporation).

が異なっている。このうち、繰返し回数 N と地盤切削距離 S_0 との関係を図-1 に示す。また、 $S=a \cdot V_{tr}^b \cdot N^c$ の関係にあると想定して求めた下式と地盤切削距離の実測値 S_0 との関係を図-2 に示す。

$$S = 200V_{tr}^{-0.025}N^{0.233} \quad \text{式-1}$$

これより、繰返し回数を増やすと地盤切削距離が伸びることがわかる。その程度は、3 回切削が 2 回切削に対して、約 10% の切削距離増加となっている。また、移動速度に関して、今回の比較の範囲 ($V_{tr}=95 \sim 120\text{cm/s}$) では地盤切削距離への影響がほとんどないことがわかる。

(2) 今回実大実験に使用した I 型先端噴射装置は、その性能を確かめるために水槽中での噴射試験を実施している。この水槽中での噴射実験で得られた噴射圧力 P_m 、ノズル径 d_0 、およびエア噴射量 Q_e と地盤切削に必要なエネルギーが到達する距離 Y との関係は、図-3 に示すとおりで、次式のようになる。なお、地盤切削に必要なエネルギーは、本実大実験における出来形とのすり合わせにより設定した。

$$Y = 77.522P_m^{0.271}d_0^{0.325}Q_e^{0.190} \quad \text{式-2}$$

この式では、到達距離 Y にノズル径 d_0 、すなわち噴射量が最も影響する結果になっている。

(3) 以上より、地盤切削距離と各パラメータとの関係式を式-1 と式-2 から、式-3 のように設定した。ただし、式-3 は地盤強度に対応していないため、適用範囲は $N=20$ 程度の砂質土地盤ということになる。

$$S = 63.980P_m^{0.271}d_0^{0.325}Q_e^{0.190}N^{0.233}V_{tr}^{-0.025} \quad \text{式-3}$$

設定した関係式と実大実験結果との相関を図-4 に示す。

各プロットは、個別の地盤切削距離測定値であるため、ばらつきがみられるが、概ね相関が認められる。地盤強度の影響を考慮することに加え、データ数を増やして随時関係式を見直していくことで、相関性を高めていくことが可能であると考え。

4. まとめ

実大実験結果における噴射仕様と改良体出来形との関係を考察し、それぞれのパラメータと関係式を導いた。今回の検討は、個別の先端噴射装置に関するものであり、特定の地盤に対するものである。多少強引な理論付けもあったが、今後の研究開発における手がかりになるものであると考える。

今後も、データを蓄積して関係式を修正していくとともに、高い噴射攪拌効率を発揮する高圧噴射攪拌工法の開発を継続していきたい。

【参考文献】

- 1) 森脇光洋・山崎淳一・有馬暢：高圧噴射攪拌工法における地盤切削状態モニタリング技術の開発，地盤工学会第 46 回地盤工学研究発表会，pp.901-902，2011.
- 2) 森脇光洋・山崎淳一：高速施工が可能な高圧噴射攪拌工法の開発－実大実験の概要と施工結果－，地盤工学会第 47 回地盤工学研究発表会，2012. (投稿中)

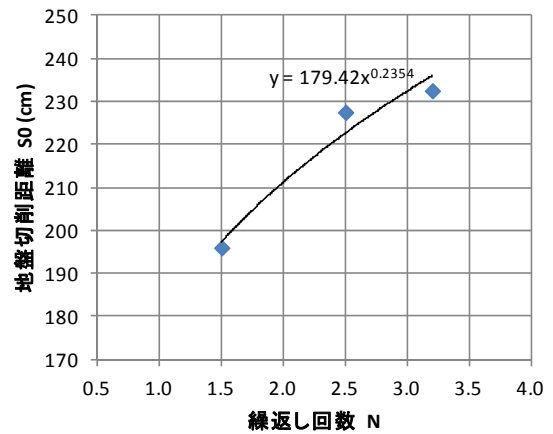


図-1 繰返し回数と地盤切削距離の関係

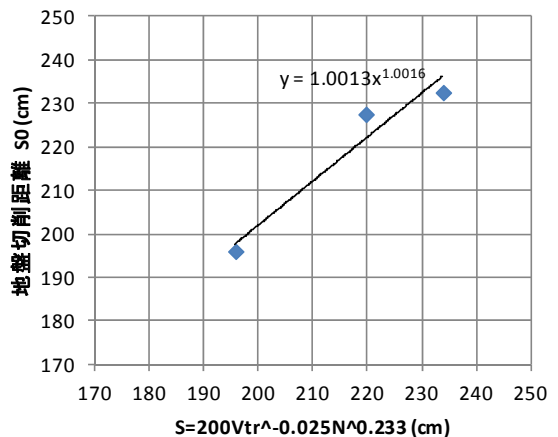


図-2 移動速度・繰返し回数の相関

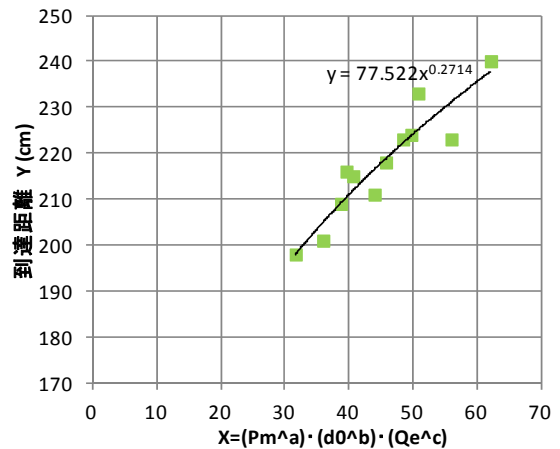


図-3 先端噴射装置の性能

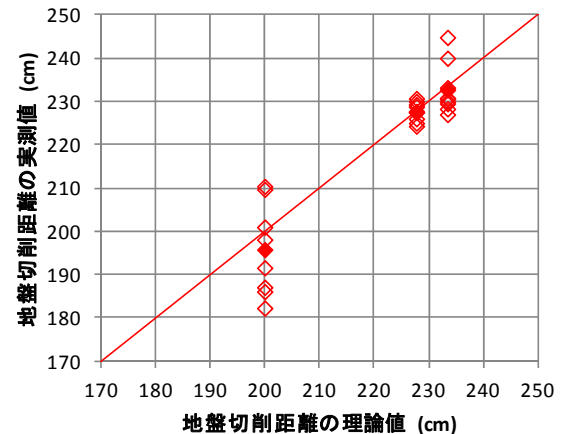


図-4 地盤切削距離理論値の相関