

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—

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 ○ 森脇 光洋  
正会員 山崎 淳一

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。この課題に対して高い噴射攪拌効率を発揮する先端噴射装置を独自に開発し、基礎実験および実大の地盤噴射実験による検証を経て、大口径の改良体を高速施工で造成できる高圧噴射攪拌工法 (V-JET 工法) を実用化した。

工法の開発において、エネルギーロスの少ない噴射流をつくる先端噴射装置の開発が最も重要であるが、実用化に際しては、効率的な施工を行なうための噴射仕様 (噴射圧力、硬化材吐出量、噴射時間など) を設定することが不可欠である。本稿では、開発段階で実施した実大の地盤噴射実験の概要と施工結果について報告する。

2. 施工システムと実大実験の概要

開発した高圧噴射攪拌工法は、セメント系硬化材スラリーを高圧で噴射するとともに、周囲に高速の空気噴射を行なう、いわゆる「二重管工法」に分類される。工法概要を図-1 に示すが、スラリープラントから高圧ホースおよび二重管ロッドを介して圧送される硬化材スラリーと圧縮空気を、地盤中の先端噴射装置により水平方向の噴射流に変換する機構となっており、この先端噴射装置を一定の速度で回転・引上げることにより円柱状の改良体を造成する。また、改良体造成用の二重管ロッドおよび先端噴射装置を用いて、削孔—先端部の流路切替え—改良体造成を行なう、直接削孔方式による施工を採用している。

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実施した。図-2 に対象地盤および造成位置を示す。この細砂および砂礫に対して、表-1 に示す噴射仕様により 6 本の改良体の造成を行なった。各噴射仕様は、噴射圧力を一定にし、硬化材噴射量とエア噴射量、および造成時間などを変化させた。なお、硬化材吐出量により寸法の異なる 2 種類の先端噴射装置を使い分けた。

本実験では、改良体造成時に硬化材およびエアの噴射圧力と噴射量、排泥液の量・比重・砂分量を測定した。また、地中に建て込んだ鋼管に衝突する噴射流の音を測定して地盤の切削状態を把握する「切削状態のモニタリング」を行ない、改良体の掘り出しにより確認する出来形調査結果との相関を考察するためのデータを収集した。

表-1 実験ケースと噴射仕様

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)	35	35	35	35	35	35
硬化材噴射量 (L/min)	320	400	400	400	600	600
エア噴射量 (Nm <sup>3</sup> /min)	10	13	13	13	15	15
造成時間 (min/m)	13	6	10	16	14	20

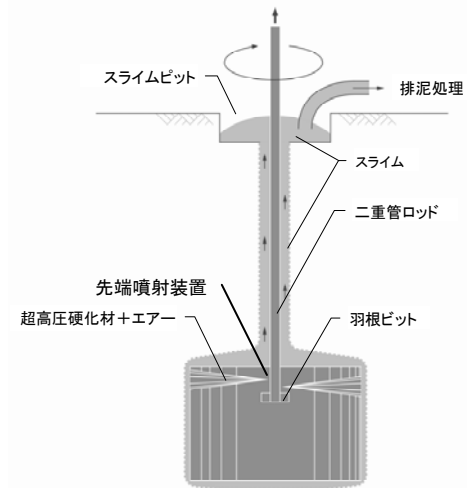


図-1 工法概要

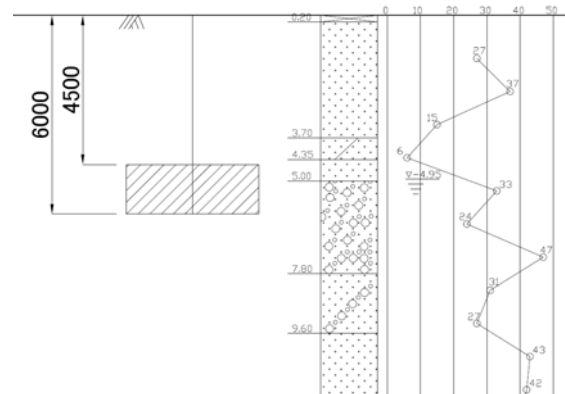


図-2 対象地盤および改良体造成深度



写真-1 実大実験における施工状況

### 3. 実験結果

施工については、計画した所定の手順でスムーズに行なうことができ、実用に際して大きな問題点がないことを確認した。

改良体造成時に測定したデータを表-2 に示す。ここで噴射圧力のばらつきは、噴射量制御で施工を行なったために、噴射ノズル径の計算値との誤差の影響を受けたものである。排泥の比重は、概ね 2.0 であったが、ケース F のみ 1.9 と他より小さい値であった。これは排泥中のスラリー含有率が多かったためであり、すなわち硬化材の噴射量に対して切削できた砂の量（改良土量）が少なかったことによると考える。なお、排泥中のスラリー含有率は、採取した排泥に含まれる砂分の重量をふるい分けにより測定し、ふるい落とされたセメント量を計算することによりスラリーの体積比として算出している。この排泥中のスラリー含有率は、ケース F を除き 0.3~0.4 であった。

改良体造成後、地盤を掘削して改良体の出来形確認を行なった。また、改良材からサンプリングしたコアの圧縮試験を実施し、改良体の圧縮強度を測定した。改良体の平均径、平均圧縮強度および単位硬化材噴射量を表-3 に示す。ここで、単位硬化材噴射量は、平均径から求めた改良体の体積と硬化材噴射量から算出した。平均改良体径は、図-3 に示すように、平面上の 4 または 8 方向における深度ごとに計測した中心からの距離の平均値から求めている。また、平均圧縮強度は、改良体の中心、D/4、2D/4、3D/4 の 4 本のボーリングコアから採取した供試体の圧縮強度の平均値である。ケース A~D では、平均圧縮強度が 3~8N/mm<sup>2</sup> の範囲にあり、単位硬化材噴射量との間に相関が認められた。ケース E、F の平均圧縮強度は、他のケースより著しく大きな値となったが、施工時における排泥の状況、コアの採取状況などから考察した結果、噴射流による地盤の切削・攪拌が不十分であり、改良体固結度のばらつきが生じたために採取されたコアの強度が高くなったものと推測した。

切削状態のモニタリング結果については、参考文献<sup>1)</sup>で報告しているので、参照されたい。

### 4. まとめ

高速施工が可能な高圧噴射攪拌工法（V-JET 工法）の開発において、実大実験を実施して工法の実用性を確認した。その結果、設定した噴射仕様において、実用レベルの施工が十分可能であること、想定した改良径と改良材品質が得られることが確認できた。

なお、噴射仕様と改良体出来形に関する考察については、参考文献<sup>2)</sup>にて報告する。

#### 【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) 山崎淳一・森脇光洋：高速施工が可能な高圧噴射攪拌工法の開発，一噴射仕様と改良体出来形に関する考察，地盤工学会第 47 回地盤工学研究発表会，2012（投稿中）.

表-2 施工結果（造成時計測）

実験ケース	A	B	C	D	E	F
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 <sup>3</sup> /min)	10	14	13	14	15	15
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

表-3 施工結果（出来形・圧縮強度）

実験ケース	A	B	C	D	E	F
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 <sup>2</sup> )	7.7	3.5	5.1	6.6	20.3	23.3
単位硬化材噴射量 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0.43	0.20	0.25	0.38	0.39	0.58

※ 単位硬化材噴射量は、改良体積1m<sup>3</sup>当たりの硬化材噴射量を示している。



写真-2 改良体掘り出し状況

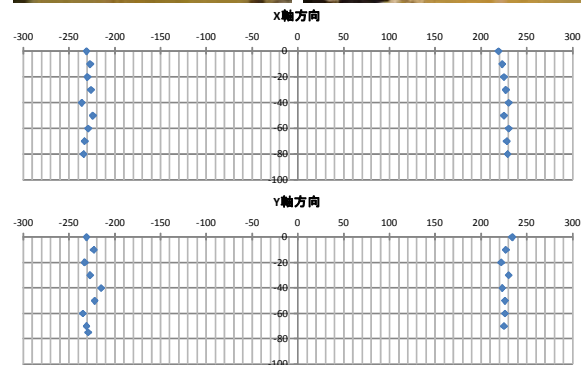


図-3 改良体の出来形測定結果の一例（ケース C）

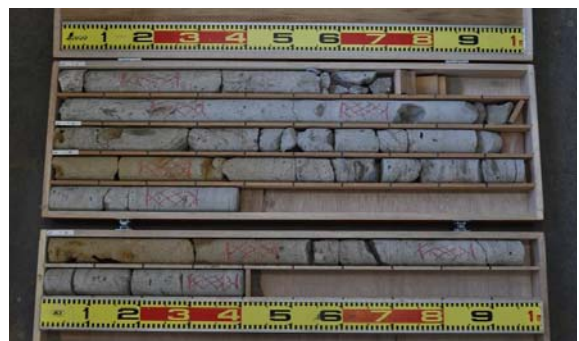


写真-3 ボーリングコア（ケース C）