

高压噴射攪拌工法による 改良体形成の実態調査

三井 隆¹・池田昭彦²・吉川 正³・浜田清一⁴・吉武 勇⁵・中川浩二⁶

¹正会員 博(工) 鹿島建設株式会社 海外事業部 (〒163-1028 東京都新宿区西新宿3-7-1)

²正会員 ケミカルグラウト株式会社 技術本部 (〒107-8309 東京都港区元赤坂1-6-4)

³正会員 工修 鹿島建設株式会社 東京支店 (〒107-8477 東京都港区元赤坂1-3-8)

⁴正会員 鹿島建設株式会社 関東支店 (〒330-6030 埼玉県さいたま市上落合2-4-0)

⁵正会員 博(工) 山口大学助手 工学部 社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

⁶フローワーク会員 工博 山口大学教授 臨床トンネル工学研究所 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

高压噴射攪拌工法のひとつであるJG工法は、土層構成が複雑な地盤条件下において、地盤の硬軟に伴う有効径の違いに起因するラップ不足など、その信頼性に課題が残るとされている。本報は、JG工法における技術的な問題に対して、改良体内部を広範囲に切り抜けるといった特殊な施工事例から得た知見を報告するものである。その観察結果から、先行造成の改良体はほぼ円形に形成されること、ならびに後行造成の改良体は先行造成体間に密接して形成されることが分かった。さらに、近接する個々の改良体が互いに独立せず密着して一体に配列していたことから、その地盤改良効果は良好なものであることが確認された。

Key Words : jet grouting method, ground improvement, actual condition

1. はじめに

高压噴射攪拌工法のひとつであるジェットグラウト(以下、JGと略記)工法における改良体は、高強度で均質であるとされ、原位置攪拌工法の中では信頼性の高い工法に位置づけられている。JG工法による地盤改良の目的・用途としては、①基礎の支持力向上、②開削などの土留め壁や止水壁、③シールドの発進・到達防護のための土圧・水圧の抵抗材としての機能、さらに④地中におけるトンネル切り抜け時の地盤の補強・安定向上など多岐に及ぶ。

しかしながら現状においては、多岐に及ぶJG工法の要求性能にも拘わらず、地中における出来形の実態は十分には知られていない。例えば、試験的に改良体上面側を切削したもの、あるいはシールドトンネル施工時において観察される改良体側面など、局部的なものに限られる程度である¹⁾。このことは、広範囲に及ぶ改良体形成状況、特にその先端部における形成状況は、ほとんど知られていないことを意味するものと考えられる。この先端部における改良体の形成状況が明らかにされることで、同箇所における施工不良の可能性や止水性に影響を及ぼす既設構造物との密着度を確認することができるものと考えられる。

このような中、陥没したシールドトンネルの復旧

工事において、JG工法による地盤改良を行った上で、陥没したトンネル内部から切り抜け、トンネルを再構築する機会を得た。本報では、その切り抜け過程から得られた観察調査結果を基に、地中におけるJG改良体の出来形の実態について報告するものである。

2. 対象工事の概要

(1) 工事概要

本報で取り上げた工事例は、陥没した単線並列の鉄道トンネルの復旧工事である。このトンネルは、泥土圧式シールド工法で施工されており、トンネル外径は6.1m(切り抜け断面6.8m)、トンネル中心間隔13.5m、土被り約27mのものである。陥没したシールドトンネルの再構築においては、JG工法によって地盤改良を行った後、山岳トンネル方式で掘削し、セグメントの取り替えによる原形復旧を行った。なお、本工事におけるJG工法の施工規模は、横28m×縦50m、施工深度GL-22.4m～GL-40.0mの約18mの範囲に及ぶものであった(図-1参照)。

(2) 土質条件

ボーリング結果によると、陥没前におけるJG施工位置の土質は、シルト質砂を主体とした微細砂層で

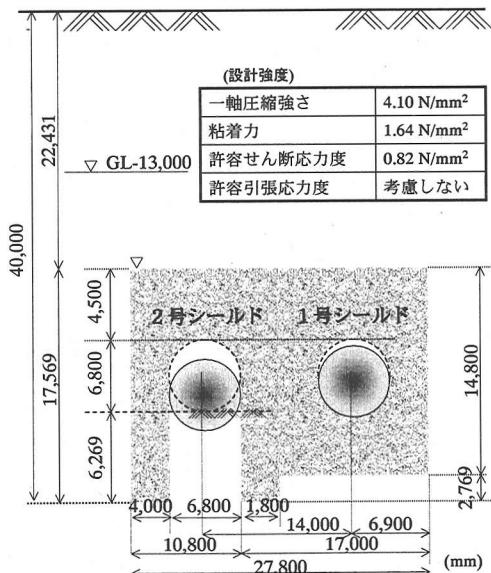


図-1 シールドトンネルの陥没状況とJG改良範囲

表-1 使用材料と配合		
セメント	760kg	240 l (密度3.15g/cm ³)
水	760kg	760 l (密度1.00g/cm ³)
計	1,520kg	1,000 l (密度1.52 g/cm ³)

表-2 施工仕様

超高压水力	圧力 35~40 MPa 流量 70 l/min
圧縮空気	圧力 0.9~1 MPa 流量 1.5~3.0 l/min
硬化材	圧力 2~5 MPa 流量 180 l/min
引上げ速度	5cm/min

あった。これが陥没に伴い地盤が乱され、トンネル上層の砂礫、シルト質粘土、粘土質シルトと本来のシルト質砂が混在する状態の土層となった。JG工法による改良対象範囲のN値は、上記のように乱されたことから5~40と大きくばらつくものであった(図-2参照)。

(3) JG工法における改良体の仕様と施工状況

JG工法による改良体は、土圧・水圧に抗すべく図-1に示す断面形状とし、縦断方向は長さ50mの範囲をその改良対象とした。なお、改良の断面形状が矩形となる1号シールドトンネルに対して、2号シールドトンネルの施工において門型となっているのは、トンネル内に埋没したシールド機や後続台車等の支障物により、その下部の改良ができないためである。

本施工では、JG改良体の設計上の有効径はΦ1800mmとし、完全にラップができる正三角形配置と

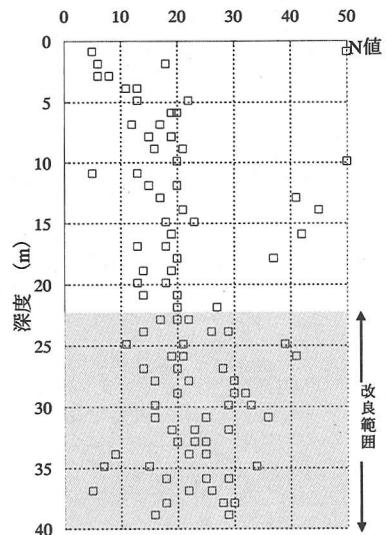


図-2 N値分布図

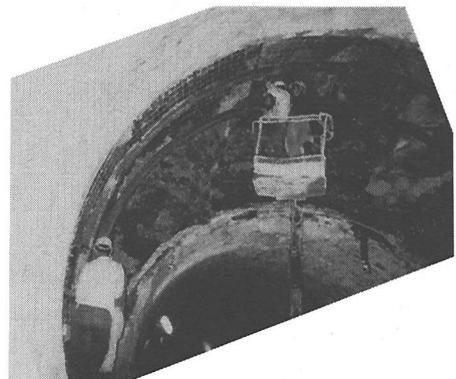


写真-1 2号シールドトンネルの切り抜け状況

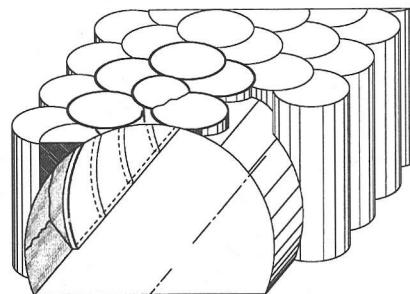


図-3 JG工法による改良体形成の概念図

した。採用した硬化材の配合を表-1に示す。なお、設計引上げ速度は5cm/minとし、改良長1mあたりの硬化材の使用量は3.82m³とした。

施工仕様の概略を表-2にまとめて示す。JG工法の施工管理においては、日本ジェットグラウト協会の技術資料に定められている標準管理基準²⁾に基づき、

施工位置、削孔角度、噴射流量・回転数・圧力、配合、スライム、排泥等の諸項目の管理を行った。

3. JG改良体の出来形の実態

(1) 改良体の出来形状況確認

ボーリングコアを用いた改良体の一軸圧縮試験により、図-1に示した設計上必要とされる一軸圧縮強さ以上の強度 4.2N/mm^2 を確認するとともに³⁾、熟練技術者の目視観察により均質な攪拌混合状況が確認されたことから、トンネル切り拡げ作業が可能と判断された。そこで、写真-1に示すように山岳トンネル工法によるトンネル切り拡げ作業を行った。なお、切り拡げ作業は1~3リングずつの切り拡げを基準とし、改良体を一部切削する形で行った。

一般に、JG工法による改良体の形状は、図-3に示すような円柱状となることが予想されるが、その状況を直接的に観察した事例は少ない。例えば、改良体単体については掘り出し観察された報告例⁴⁾はあるが、地盤改良体としての出来形に関する事例はみられない。特に地山が埋め土や乱された地盤などの状態において、JG工法による地中出来形に関する情報は、今後のJG工法の設計に有用なものと考えられる。

写真-2にトンネル横断方向における切り拡げ面の改良体の出来形写真およびそのスケッチを示す。なお、この写真は1号シールドトンネルにおけるものであり、切り拡げ面は造成開始位置の近傍(約1m内)にあるものである。ここで、トンネル天端部は円弧状であるため、写真は中央から左右へ円柱状の改良体に対して平行～斜め～垂直という方向で撮影されたものであることに注意されたい。

この結果より改良体(主として白色部)は、ほぼ円柱状に形成され、且つその配列も比較的整理されていることが分かる。また、写真-2の(B)および(D)に示す出来形のスケッチから、円柱状の改良体断面とほぼ直交することになる天井部に着目すると、先行造成の改良体断面はほぼ円形に形成されること、ならびに後行造成の改良体は先行造成体間に密接して形成されていることが分かる。また、写真-2やより詳細な改良体の配置状況を示す写真-3から、最終造成の改良体を中心に、それを囲む6本の改良体が互いに独立せず密着して一体に配列されていることが窺える。

また写真-4には、トンネル軸方向に展開した切り拡げ面のうち、トンネル天井部におけるJG改良体の出来形写真を示す。この結果からも、JG改良体は、トンネル軸方向に対して互いに密接して配置がなさ

れており、トンネル全体に及んで周辺地盤の改良が概ねできていたことが確認された。なお、これらの写真に示されるように、一部において円形を呈する改良体間、あるいは改良体断面内に介在する土砂(黒色部)も認められた。しかしながら、これらは連続的なものではなく、取り除くと密接した改良体が現れるものであった。

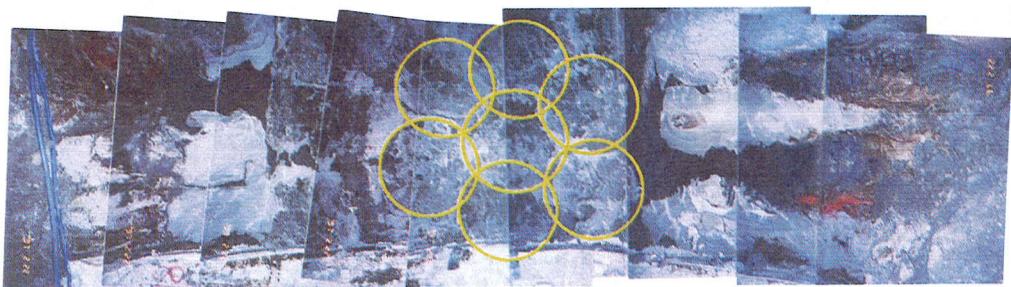
(2) 改良体の形成に関する考察

写真-2において、先行造成の改良体断面形状は、ほぼ円形に形成されているのに対し、後行造成では先行造成ほど円形とならない。また、その大きさも黄線で示される設計値(有効径)1.8mに対し1.3~2.0mとばらつきがみられた。また、写真-2の側壁側に示される縦断方向の改良状況に関するれば、若干の凹凸がみられるが、ほぼ柱状に改良されていることが分かる。これは、先行造成が他の改良体の影響を受けにくいこと、および後行造成が先行造成の間隙で充填形成されるといった施工順序に依存するものと考えられる。

このように施工順序に応じて改良体形状に相違がみられるものの、コラムインコラム(先行造成位置に後行造成を形成するロッドが貫入することで、所定の位置を改良できない状況)による改良体の不良箇所は認められなかった。また、後行施工による改良体は、先行造成の改良体間(未改良部)に対して、全体的に塊状の土砂等が含まれない比較的品質の良い改良体で充填密着していた。

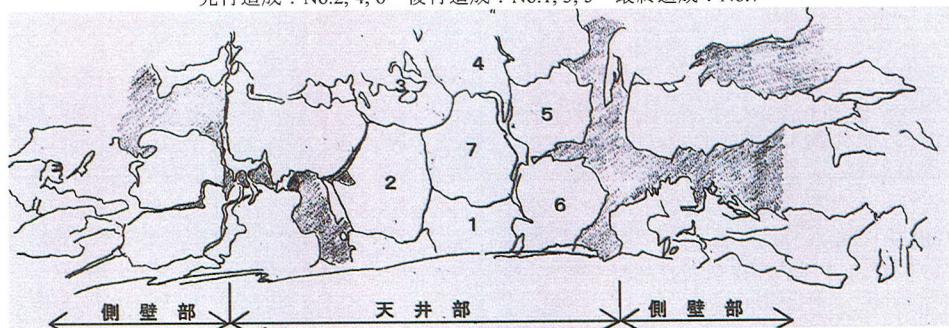
改良状況が他に比して不良な箇所においても、粘土塊の切削チップが分散混入し、砂質土が薄片状に介在する程度のものであった。粘性土、砂質土各々において土塊が残留するのは、前者では切削チップとして、後者では施工中に上層の一部の土砂がまだ固まっていない泥土状の中に崩落するために生じるものと考えられる。

構造物直上から改良を始める場合、構造物直上部付近に未改良部が生じる可能性が考えられる。これは、硬化材と高圧水の噴射口位置がロッド下端よりそれぞれ100mm、500mm上にあることで、改良開始部(下端部)には、超高圧水による切削のできない部分が残るといった噴射装置の機構に起因するものである(図-4参照)。すなわち、同図に示すように高圧水の噴射位置は、硬化材噴射位置より400mm上部にあるため、構造物等によりロッド挿入深さを制限される場合、ロッド先端部の切削は、硬化材のみの噴射に依存することになり、その改良範囲は高圧水による切削が可能な場合に比べて小さくなる傾向にあることも注意を要する。

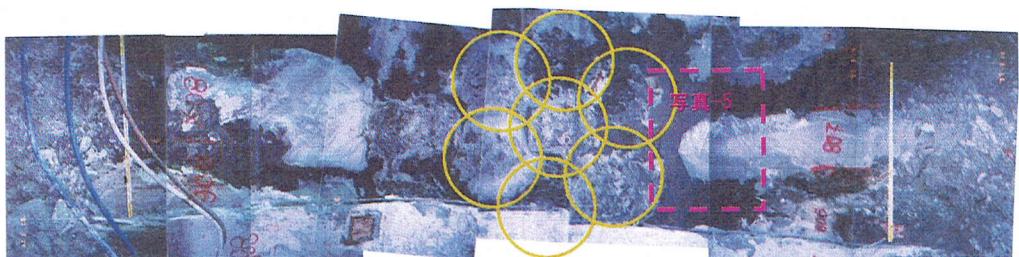


A) 地中出来形事例 I

先行造成 : No.2, 4, 6 後行造成 : No.1, 3, 5 最終造成 : No.7

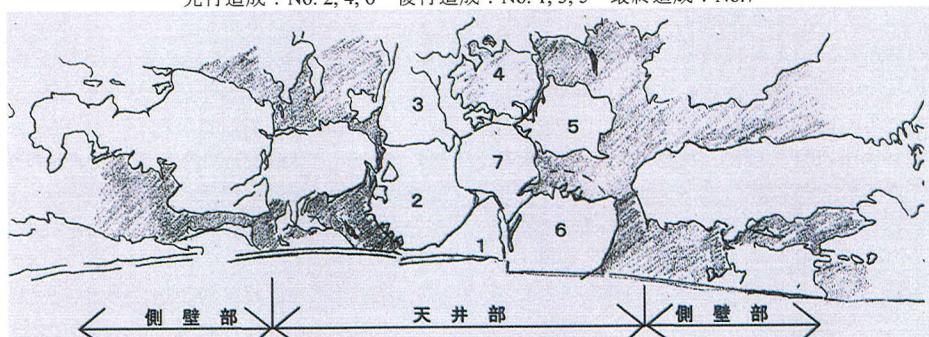


B) 地中出来形事例 I のスケッチ



C) 地中出来形事例 II

先行造成 : No. 2, 4, 6 後行造成 : No. 1, 3, 5 最終造成 : No.7



D) 地中出来形事例 II のスケッチ

写真-2 1号シールドのトンネル切り抜けに伴う地中出来形の実態調査(トンネル横断方向)

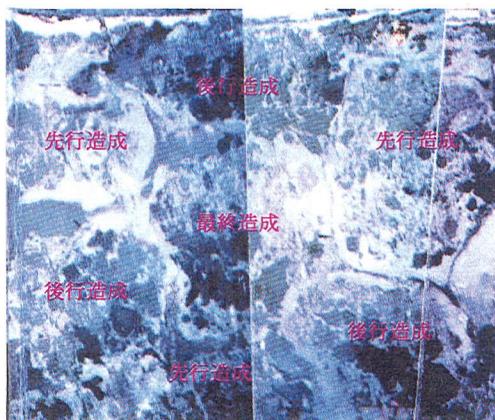


写真-3 改良体の密接な配置状況



写真-4 1号シールドのトンネル切り拡げに伴う地中出来形の実態調査(トンネル軸方向)

本施工においても、写真-1に示すような切り拡げ段階で、改良開始点における改良不良部やスライムとして搬出されない切削土や崩落土が沈殿している状況が確認された。さらに土中の一般部では、改良体同士がラップして一体化するため土砂を残すことはないが、図-5に示すようにトンネル側壁部においては、セグメントにより改良部が遮断されることにより切削・造成ができず、改良体同士のラップできない箇所がセグメント外側に生じることになる。そのため、側壁部周辺の一部の地盤においては、写真-2に示す右側壁部の黒色部(一例として拡大写真を

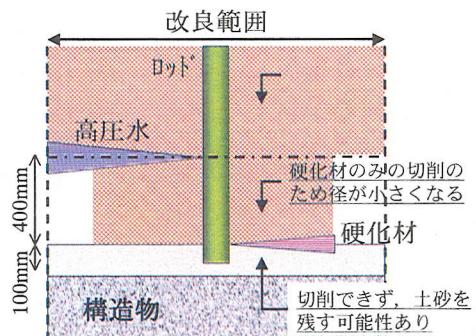


図-4 噴射機構の模式図

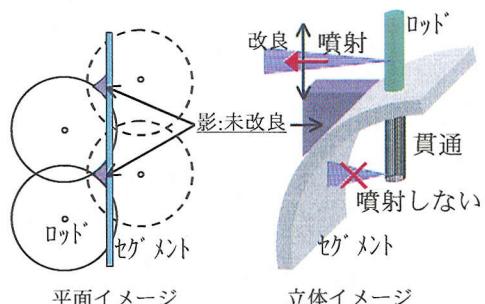


図-5 セグメントによる改良体形成阻害の模式図



写真-5 セグメント阻害による未改良部の拡大写真

写真-5に示す)のように、改良されていない地盤の存在も認められた。

このような改良状況の実態は、改良体の形成状況を改良体内部(トンネル側)から切り拡げ確認する本報のような特殊なケースでのみ観察される現象であり、今後のJG工法の設計・施工にとって有効な資料になるものと考えられる。上述の改良状況写真等から判断すれば、全体的には、ジェットグラウト工法の技術資料²⁾に準じることで、ほぼ一体化した改良体を形成できるものと評価される。

4. まとめ

本報は、シールドトンネルの復旧工事において行ったJG工法につき、その改良体の形成状況を報告するものである。特に、これまでほとんど確認することができなかった改良体内部からの広範囲の切り拡げを行い、その形成状況を示している。本研究の範囲内において得られた知見を以下に列挙する。

- ① JG工法による改良体内部から広範囲に切り拡げた施工事例において、先行造成の改良体の断面形状は円形に近く、その鉛直方向の形成状況も考慮すると、ほぼ円柱状をなすことが推察された。
- ② 後行造成の改良体は、先行造成体間に密接して形成され、近接する個々の改良体が互いに独立せず、密着して一体に配列していた。
- ③ 施工順序に応じて改良体形状に相違がみられるものの、コラムインコラムによる出来形の不良箇所は認められなかった。

- ④ ロッドの構造上、構造物の直上部付近では切削不十分となりやすく、改良不良部ができていることが確認された。

以上の結果から、改良体の形成状況は、施工順序によって異なるものであるが、ジェットグラウト工法の技術資料に準じて設計・施工管理することで、全体的にほぼ一体化した改良体を形成できるものと評価される。

参考文献

- 1) 笹尾 光, 吉田 宏, 浅野利三郎, 神保俊次, 上沢進: 大口径地盤改良工法の開発(その5)-砂質土地盤を対象とした施工実験-, 第28回土質工学研究発表会, pp.2517-2518, 1993.6.
- 2) 日本ジェットグラウト協会: ジェットグラウト工法技術資料, 2002.8.
- 3) 三井 隆, 池田昭彦, 吉川 正, 吉武 勇, 中川浩二: 高圧噴射攪拌工法による地盤改良効果の評価法の提案, 土木学会論文集, No.735/VI-59, pp.215-220, 2003.6.

(2002.11.18 受付)

INVESTIGATION ON THE ACTUAL CONDITION OF GROUND IMPROVEMENT BY JET GROUTING METHOD

Takashi MITSUI, Akihiko IKEDA, Tadashi YOSHIKAWA,
Kiyoichi HAMADA, Isamu YOSHITAKE and Koji NAKAGAWA

The jet grouting method is commonly used for ground improvement. However, little is known about its actual improvement structure in the ground. The extent of improvement, such as the size of effective grout diameter and the degree of overlapping is still in question, especially for complicated ground conditions such as grounds with different soil strata. This paper presents the actual findings of the condition of improved ground by jet grouting method, from a tunneling site. It was observed that preceding grout column had a near circular shape, and that they interlocked with the adjacent grout columns, hence meeting the ground improvement requirements.