

止水ウレタンとシリカレジン複合適用の試験施工

東急建設(株) 正会員 ○栗田 洋伸 三浦 雅也 鈴木 祥三
 (株)カテックス 正会員 安田 耕治 浅井 良倫
 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 石井秀和

1. 目的

水抜きボーリング等による地下水位低下で大きな効果が期待できない帯水地山のトンネル掘削に対して、効果的な掘削方法と同時にトンネル変位を抑制することが求められる工事が増えている。試験施工を行った北海道新幹線野田追トンネル(南)工事の切羽地質は、旧地すべりブロックに隣接した泥岩・砂岩の層状岩盤からなり、すべり面付近は強いせん断作用を受けて脆弱化しており、その上層には多量の湧水(宙水)が確認された。そのため、トンネル掘削時の切羽不安定化および変位増大が懸念され、補助工法は長尺鋼管先受け工と長尺鏡ボルトを適用した早期閉合を採用し、その注入材としてシリカレジンと止水ウレタンを適用している。

そこで、切羽湧水の抑制と変位の抑制を目的として、補助工法の注入材に止水ウレタンとシリカレジンを複合し、6m区間(1シフト区間)を対象に試験施工を行った。本稿ではその効果について述べる。

2. 試験施工の概要

試験施工は北海道新幹線野田追トンネル(南)工事の194km466mの位置で実施し、土被りは約80mである。支保構造は特Lパターン、補助工法は長尺鋼管先受け工と長尺鏡ボルトを適用した早期断面閉合法で、短尺水抜きボーリングを適時施工しながらトンネル掘削している。

注入材の複合適用の対象は長尺鋼管先受け工と下半の長尺鏡ボルトとし、止水ウレタンとシリカレジンの複合適用を行った。各々の注入箇所を図1、注入量を表1、表2に記す。

長尺鋼管先受け工の先行孔に止水ウレタンを適用することでトンネル掘削断面への湧水を減少させ、下半鏡ボルトの側壁部に止水ウレタンを適用することで上半鋼アーチ支保工脚部の地山強度を増加させることを目的とし、試験施工を行った。長尺鋼管先受け工には、多量湧水対応の高機能な導水式複合パッカーを適用した。

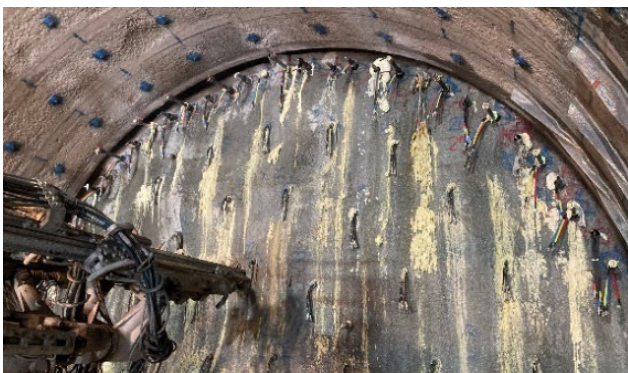


写真1 補助工法適用の切羽状況

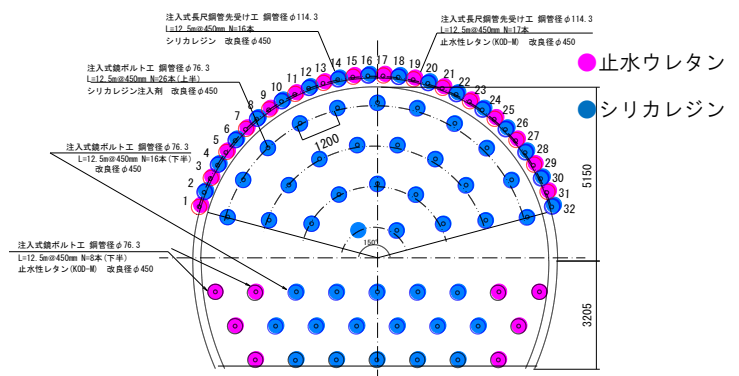


図1 補助工法適用断面図(194km466m20)

表1 先受け工の薬材注入量

項目	奇数孔(先行)	偶数孔(後行)
使用薬液	止水ウレタン(KOD-M)	シリカレジン(スーパー-SRF)
パッカー注入量	1.5kg	1.0kg
本注入量	243kg/本	180kg/本
施工本数	16本	16本

表2 長尺鏡ボルト(下半のみ)の薬材注入量

項目	下半側壁(左右)	下半中央部
使用薬液	止水ウレタン(KOD-M)	シリカレジン(スーパー-SRF)
本注入量	222 kg/本	165 kg/本
施工本数	8本	16本

キーワード 止水ウレタン, 導水式複合パッカー, 多量湧水, 止水注入, 補助工法, トンネル

連絡先 〒049-3102 北海道二海郡八雲町東町287-1 東急建設(株) 栗田洋伸 TEL 0137-65-2565

3. 注入材複合適用の評価

3.1 切羽湧水の抑制効果

薬液注入は、1, 3～31の先行孔（奇数孔）に止水ウレタンを注入し、その後に2, 4～32の後行孔（偶数孔）を穿孔しシリカレジン注入了。

先行孔のAGF鋼管を打設した際の鋼管口からの湧水量は、No.1孔:250L/分、No.21孔:200L/分、No.23孔:50L/分など総量1,000L/分の湧水が発生した。これらの湧水に対して今回開発した導水式複合パッカーを適用したことで、多量湧水が確認された孔でも口元バルブで湧水を任意に止めることができ、薬液が湧水とともに流出することはなく確実な注入作業が可能であった。また薬液の水混合反応による気泡・白濁の発生が抑制でき濁水処理設備に負荷を与えることなく、この導水式複合パッカーの適用は作業性・効果ともに優れていると評価できる。

後行孔のシリカレジン注入時の湧水は、先行孔の止水ウレタンの止水・減水効果により湧水量は比較的少なかったが、先行孔と同様に問題なく注入作業が行えた。

注入率は先行孔の止水ウレタンで99.3%、後行孔のシリカレジンで99.2%となり、ほぼ設計注入量で初期圧+2.5MPaで注入完了している。また、直近の断面においてシリカレジンのみで施工した際の注入率が122%程度であったことから、先行孔に止水ウレタンを使うことで帯水地山を確実に改良し止水ゾーンを形成したことからトータル注入量が減少したと考えられる。また、シリカレジンの注入においては、圧力上昇（初期圧+0.5MPa）による注入停止の個所が大半を占め、止水ウレタンが帯水地山中でも効果的に限定改良できたことが一因と推察される。

なお、注入完了後のトンネル掘削再開にあたっては、短尺水抜きボーリング（φ76.3（有孔管）、L=12.5m）を右側5本、左側3本の合計8本実施した。これらの対策を併用することで、湧水による流出や崩壊もなく掘削・吹付けコンクリート作業への影響もなく施工できている。

なお、注入完了後のトンネル掘削再開にあたっては、短尺水抜きボーリング（φ76.3（有孔管）、L=12.5m）を右側5本、左側3本の合計8本実施した。これらの対策を併用することで、湧水による流出や崩壊もなく掘削・吹付けコンクリート作業への影響もなく施工できている。

3.2 変位抑制効果

当該区間においては、高強度吹付けコンクリートとインバートストラット早期閉合を適用しており、支保に変状が生じるような過度に荷重がかかる状況にはない。図2に示すように、初期沈下が大きい早期閉合により内空変位は収束傾向（切羽離れ2D程度）を示している。今回の適用区間について、初期沈下の顕著な変位抑制ができたことを計測結果から判断することは困難であるが、湧水量と沈下変位量が相関関係にあるような本地山においては、一定の抑制効果があったと評価できる。

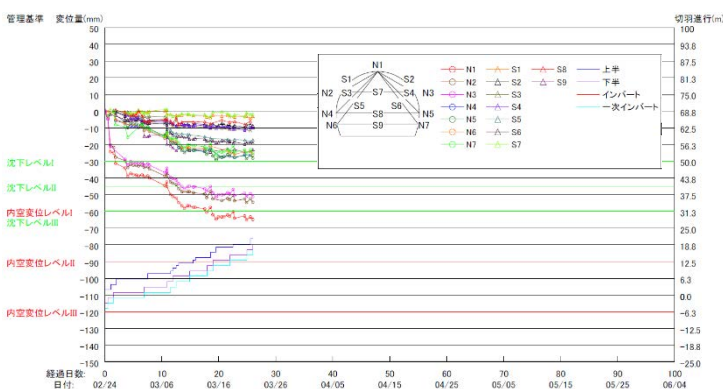


図2 内空変位計測結果(194km466m)

4. まとめ

今回の試験施工結果より、注入材の複合適用により各々の特性を活かした確実な地山改良が期待でき地山安定化が図れ、湧水時は導水式複合パッカーを適用することで地山改良効果・施工性を著しく改善できることを確認した。

長尺鋼管先受け工等の補助工法の注入材においては、シリカレジンに比べて止水ウレタンは高額となるため適用にあたっては慎重にならざるを得ないが、別の材料と複合して適用することで、注入材の特徴を生かした適用方法が広がる可能性があると考えられ、類似地山に対する対策として参考となれば幸いである。