

南アルプストンネルにおける施工について

令和6年12月

東海旅客鉄道株式会社

(1) はじめに

- ・中央新幹線のトンネル工事に関しては、日吉トンネル南垣外工区のトンネル掘削工事現場付近である岐阜県瑞浪市大湫町において、井戸等の水位低下や地表面の低下が発生いたしました。その後、地域の方々にご不便をお掛けしないための応急措置などを実施する一方、トンネル湧水の低減を目的として薬液注入を計画し、開始いたしました。参考としていた鹿児島県の北薩トンネルにおいてトンネル内の側壁が崩れ土砂が流入する事象が発生し、現時点において本事象の原因は明らかになってないことから、現在大湫町で行っている薬液注入の計画の一部について、専門家の意見を踏まえ、現計画を見直す可能性も含めて検討しているところです。
- ・また、第一首都圏トンネル（小野路工区）のシールド工事においては、町田市内のルート沿線の地表面で、湧水、気泡が発生している箇所を1箇所確認しました。なお、現在、湧水、気泡は止まっています。
- ・静岡県内の南アルプストンネル工事においては、沢の水生生物等への影響に関する環境保全措置として薬液注入を計画しております。静岡県から、これら他工区の事象が薬液注入などの対話に及ぼす影響を確認すべきとのご意見をいただいたことを踏まえ、
 - ・薬液注入について
 - ・導水路トンネルについて上記の2つの内容を整理しましたので、ご説明します。

※有識者会議資料（令和5年11月）には青函トンネル、北薩トンネル、瑞浪超深地層研究所、幌延深地層研究計画地下研究施設の例を掲載していますが、これは薬液注入による止水効果が定量的に記載されている例を調査すべきとの意見が会議の中であったことから、掲載していたものです。

(2) 薬液注入について

1) 日吉トンネル及び北薩トンネルについて（ポストグラウト方式）

- ・中央新幹線日吉トンネル南垣外工区のトンネル掘削工事現場付近である瑞浪市大湫町において、2月中旬、トンネル内で湧水が発生し、既設の観測用の井戸で地下水位の低下傾向が見られました。そのため、地域の方々にご不便をお掛けしないための応急措置として、井戸等の減水が確認されたご家庭については、上水道をご利用いただくための工事を順次実施したほか、給水槽の増設や深井戸・浅井戸の調査ボーリングなどの対応策を実施してまいりました。
- ・そのうえで、まず、一次注入としてウレタン系薬液を使用して岩盤の亀裂を埋める薬液注入を実施した後、トンネル湧水が続いている箇所については湧水量を低減させるためポストグラウトとしての薬液注入を実施してまいりましたが、参考事例とした北薩トンネルにおいて7月末に路面等の隆起・土砂流入が発生し、同様の事象を回避するため、二次注入（カバーロック）は実施したものの、二次注入（本注入）は専門家の意見を伺いながら、計画の見直しを含め、改めて検討することとしています。
- ・北薩トンネルにおける事象については現在のところ、原因究明等が進められている段階です。
- ・日吉トンネル及び北薩トンネルにおける薬液注入は、いずれも湧水が生じているトンネルの掘削後に湧水低減対策として実施するポストグラウト方式で実施したものであり、あらかじめ切羽前方に薬液注入を実施してから掘削するプレグラウト方式を採用する南アルプストンネルでは施工方法が異なります。

2) 南アルプストンネルにおける薬液注入について

- ・南アルプストンネルにおいては、薬液注入として、まずはトンネル掘削に先立ちトンネル前方に注入するプレグラウトの実施を考えています。
- ・プレグラウトの実施に際しては、青函トンネルで実施した例を参考に計画することを考えており、薬液注入フローを以下及び図1に示します。
- ・まず、薬液注入を実施する地盤に対してボーリング調査を実施し、地質や湧水の状況を確認します。薬液注入を実施する箇所の透水性を確認するため、注水による岩盤の透水試験（JGS1322）¹やルジオン試験（JGS1323）²などを参考に、現地の状況に合わせた試験を実施のうえ、薬液注入を行う前の透水係数を確認します。
- ・地質や湧水の状況を確認した結果を踏まえて、薬液注入の設計を行います。改良目標透水係数、薬液注入の方式、注入材料、注入範囲、注入率（注入量）、注入孔間隔・配置、注入孔本数、削孔・注入長、注入圧・注入速度、注入順序等を決定します。
- ・設計に基づき1次孔削孔を行い、薬液注入を実施します。薬液注入実施後には、効果を確認するため、薬液注入を実施した箇所へのチェックボーリングを行います。チェックボーリングでは、注入前と同様に、透水性を確認する試験を行い、透水係数を確認します。
- ・確認の結果、設計時に定めた改良目標透水係数³と同程度まで透水性が改良された場合には、当該箇所の掘削を実施します。
- ・改良目標透水係数まで改良されていない場合には、2次孔削孔を実施し、改良目標透水係数となるまで繰り返し薬液注入を実施します。

¹ 注水による岩盤の透水試験（JGS1322）：ボーリング孔内をパッカーにより任意の試験区間に区切り、試験区間内の有効注水圧力を段階的に上昇させながら注水し、その定常時の注水流量から透水係数を求める試験。

² ルジオン試験（JGS1323）：ボーリング孔内をパッカーで区切った試験区間内に一定圧力で注水し、圧力と注水量から透水性を求める試験。

³ 改良目標透水係数は、 10^{-7} （m/s）を基本とする。一方で、現地の地質や湧水等の状況次第では、透水係数を 10^{-7} （m/s）まで改良することが困難な場合もあることに留意。

- ・ 注入材料は、水ガラス系やセメント系の注入材を使用することを考えています⁴。
- ・ 基本的には高い水圧でも注入材が押し流されないよう、短い時間で注入効果が期待できる材料（主に水ガラス系）を用いた注入（初期注入）を行い、その後、その周囲に強度の高い注入材料（主にセメント系）を重ねて注入（本注入）することで、徐々に改良範囲を広げ、改良体をトンネル外周に構築していくことを考えています。

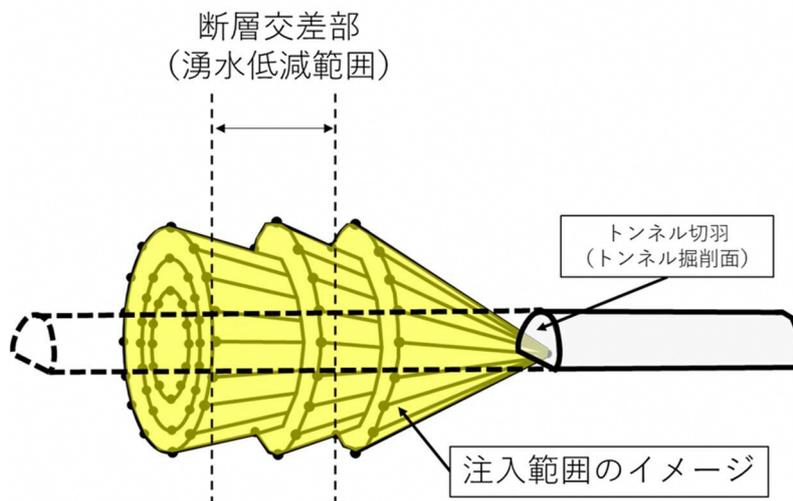


図2 薬液注入のイメージ（その1）

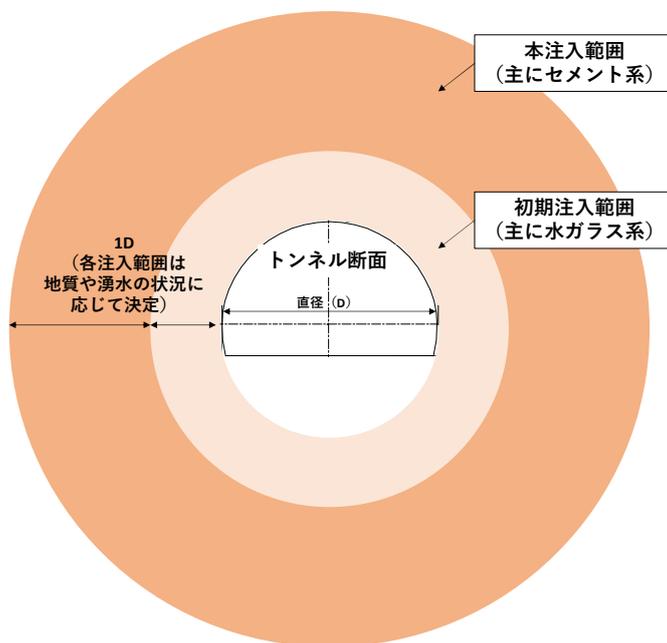


図3 薬液注入のイメージ（その2）

⁴ 注入材は種類により、ゲルタイムと呼ばれる注入材と湧水が触れてから固化するまでの反応時間を設定することが可能。水ガラス系（水ガラスとは、ケイ酸ナトリウムが溶け込んだ液体であり、注入後、化学反応により固化する物質）は、ゲルタイムをコントロールしやすく、早期のトンネル湧水低減や岩盤でクラック部に注入材を浸透させる必要があるような場合に適用する。セメント系はセメントを主材料とした注入材であり、ゲルタイムは水ガラス系よりも長いため、固化するまでの時間は長くかかるが固化強度は大きく、長期的にも安定した改良体を構築可能である。

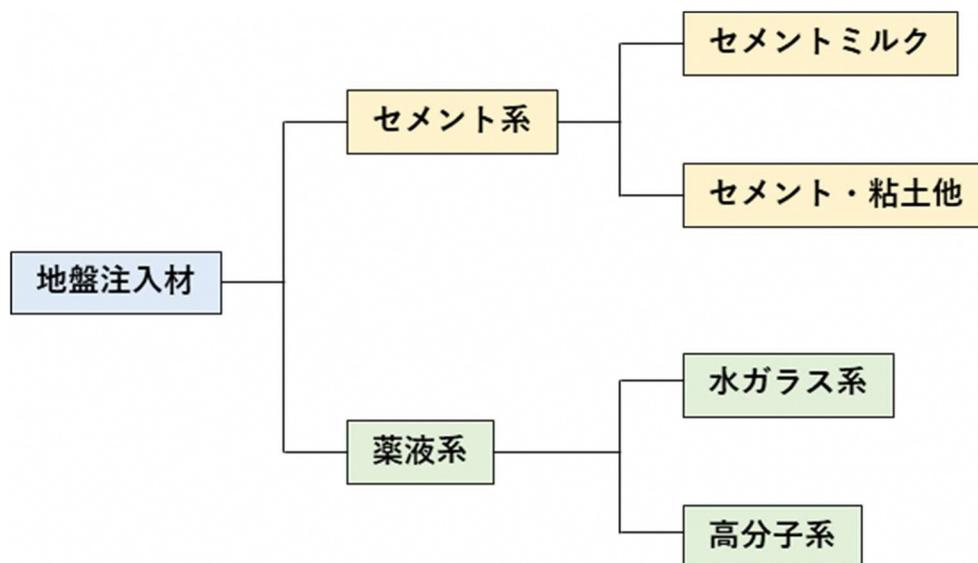


図4 注入材の分類⁵

- ・ポストグラウトについては、トンネル掘削後の湧水量や沢の流量の状況を踏まえ、必要と判断される場合に実施することを考えています。
- ・プレグラウト後にポストグラウトを実施した事例として、倉敷LPG岩盤貯槽や、瑞浪超深地層研究所坑道等の事例（p.7～12）を掲げます。
- ・いずれの例においても、事前にプレグラウトを実施したあとに掘削したため、掘削後の湧水量は少ない状況のなかで、ポストグラウトを実施しています。
- ・南アルプストンネルについても、これらの事例を参考に、
 - ・トンネル湧水が多い箇所延長
 - ・トンネル湧水量
 - ・プレグラウト施工時の状況

に応じて、改良目標透水係数、薬液注入の方式、注入材料、注入範囲、注入率（注入量）、注入孔間隔・配置、注入孔本数、削孔・注入長、注入圧・注入速度、注入順序等を適宜変更しながら、施工することを計画します。

⁵ 「山岳トンネルの補助工法、2009年10月、土木学会」より

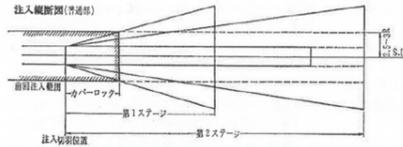
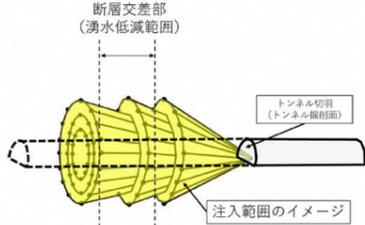
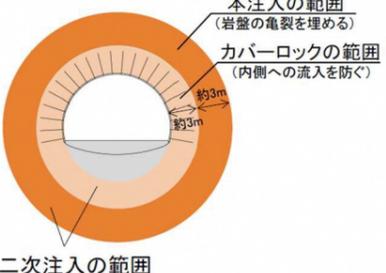
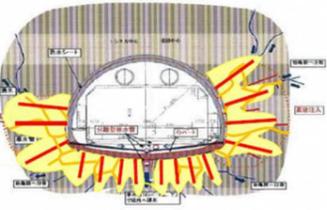
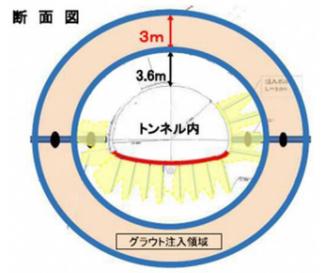
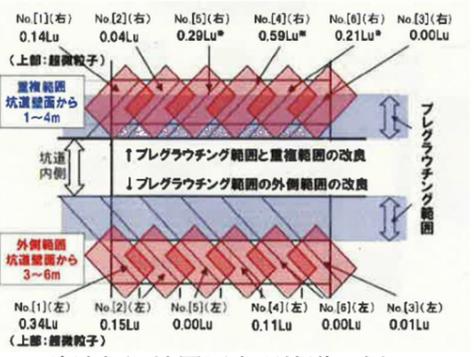
3) 南アルプストンネルの薬液注入の計画への影響について

- ・各トンネルにおける薬液注入工法を表1にまとめました。
- ・南アルプストンネルで考えている薬液注入はトンネルを掘削する前に事前に薬液注入を実施するプレグラウト方式であり、日吉トンネル及び北薩トンネルで実施しているような掘削後に湧水が生じているトンネルに薬液注入するポストグラウト方式では、施工方法が異なります。
- ・既に湧水が発生している状況で施工するポストグラウトでは、注入材料が流水により流されたり希釈されたり、むらが生じる恐れがあり、また、湧水の発生により一度低下した地下水位の上昇によるトンネルへの影響を考慮する必要があるなど、難しい条件での施工となります。
- ・一方、プレグラウトでは、掘削する前の基本的に地下水の流れがない条件で施工できることから、ポストグラウトより良い条件での施工が可能となります。
- ・また、プレグラウトを実施後に必要により実施するポストグラウトについても、プレグラウトを実施せずにポストグラウトのみを実施する場合と比較して、すでにプレグラウトによって地山が改良され、また湧水の量も低減されているため、ポストグラウト実施時の施工条件も有利です。
- ・したがって、南アルプストンネルにおいては、プレグラウト後にポストグラウトの実施した事例に基づくとともに、モニタリングを行いプレグラウトによる改善効果も踏まえて計画することから、施工は適切に実施することが出来ると考えています。
- ・実施にあたっては、施工に先立つ高速長尺先進ボーリングの際に確認した地山の状況や湧水の水量や水質（pH、EC、水温）のモニタリング結果を反映し、薬液注入（プレグラウトの設計を行ってまいります。そのうえで、改良効果の確認をしながら薬液注入を実施し、先進坑の掘削を行います。その際にも切羽の状況を確認するとともに先進坑からの湧水の水量や水質の他、可能な箇所ではボーリング孔についても湧水の水量や水質のモニタリングを行い、変化の状況を把握し薬液注入の効果を確認しながら進めてまいります。先進坑での確認や測定の結果は、本坑における薬液注入や掘削の計画に反映し、さらには本坑においても切羽の状況の確認や湧水の水量や水質のモニタリングを進めてまいります。このように、各段階で変化の予兆を早期に検知し、それを次の段階の計画に反映していくことで、適切に施工を進めてまいります。なお、必要な場合には湧水の化学的な成分分析（溶存成分分析や地下水年代の測定）やコアボーリング等による詳細な状況（透水係数・間隙率を含む）の把握を行っていくとともに、

水質の評価にあたっては、工事の影響（例えば吹付コンクリートによる pH への影響など）も加味して進めてまいります。さらに、地山の状況が想定と大きく異なる場合には、これまでに実施した水収支解析の条件と比較し、必要に応じて沢の流量変化の検討に反映してまいります。

- なお、最新の技術動向や他のトンネルにおいて得られた新たな知見についても引き続き情報を収集し、必要に応じて薬液注入の計画に反映してまいります。
- 一方で、薬液注入の効果には不確実性があることから、不確実性の存在を前提として本年 8 月 5 日に静岡県環境保全連絡会議生物多様性専門部会資料で提示した「順応的管理のシナリオについて」に基づいて対話を進めている内容に従い、リスク管理を進めてまいります。
- なお、地下水位低下による地盤沈下については、主に軟弱な粘土層がある場合に生じますが、静岡県内のトンネル掘削箇所周辺の地盤は主に岩盤であるため地下水位低下による地盤沈下のおそれはないと考えております。

表 1 各トンネルにおける薬液注入工法の比較

	中央新幹線日吉トンネル南垣外工区の事例	参考とした道路トンネル（北薩トンネル）	青函トンネル	静岡県 南アルプストンネル
目的	<ul style="list-style-type: none"> 地下水低下の原因と想定される（※現在検証中）トンネル湧水量の低減（施工前 1,200L/min 程度） 	<ul style="list-style-type: none"> ヒ素を含むトンネル湧水への恒久的な対策として、トンネル湧水量の低減（施工前 2,500L/min 程度） 	<ul style="list-style-type: none"> 工事中及び営業開始後の止水（ポンプアップの低減） 特に海底部における掘削に際しての湧水圧への対抗 	<ul style="list-style-type: none"> 沢の流量減少による水生生物への影響を低減させるため、トンネル湧水量の低減
プレグラウト（トンネル掘削前に実施）	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 材料としては、基本的にセメント（状況により微粒子セメント）と水ガラスを使用。場所によっては水ガラスのみ使用。 注入はトンネル坑内から一定のカバーロックを確保のうえで、前方に行く。 事前に実施した試験注入結果に基づき、先進ボーリングにより把握された地質・地下水の状況に応じて、実施箇所毎に孔数、密度、注入範囲、注入圧、材料配合、注入量を変化させている 	<p>○青函トンネルの例をベースに計画。</p> <ul style="list-style-type: none"> 初期には短い時間で注入効果が期待できる材料（主に水ガラス系）を用い、その後、その周囲に強度の高い注入材料（主にセメント系）を重ねて注入。材料は高水圧対応を含めた最新の技術動向を踏まえ、選定 注入はトンネル坑内から一定のカバーロックを確保のうえで、前方に行く。 高速長尺先進ボーリングやコアボーリングにより把握された地質・地下水の状況に応じて、実施箇所毎に注入範囲、孔数、密度、注入圧、材料配合、注入量を変化させて計画  <p>図 3.86 薬液注入のイメージ</p>
ポストグラウト	<p>①一次注入</p> <ul style="list-style-type: none"> ウレタン系薬液を使用し、湧水があるポイントについて岩盤の亀裂を埋める薬液注入を実施 <p>②二次注入（カバーロック）</p> <ul style="list-style-type: none"> トンネル坑内へ注入材が流出することを防止するため、カバーロックを施工 セメントに急硬材を混ぜ、ゲルタイム（固化するまでの時間）を短くした注入材を注入 <p>③二次注入（本注入） ※未実施</p> <ul style="list-style-type: none"> 粒子の細かいセメントを圧力をかけて注入することで、細かな岩盤の亀裂を埋め、トンネル湧水量の低減を図る 	<p>①初期の注入</p> <ul style="list-style-type: none"> ウレタン系薬液を使用し、水みちとなっている大きな亀裂を閉塞 →効果は限定的  <p>②本格的な注入</p> <ul style="list-style-type: none"> トンネル壁面から周囲 3.6m をカバーロックとして残したうえで、極超微粒子セメントによるグラウチングを行い厚さ 3m の改良ゾーンを構築 	—	<p>○プレグラウトを実施した後、トンネル掘削の後にトンネルの湧水量や沢の流量の状況を確認し、必要な場合にはポストグラウトを実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> プレグラウトを施工して掘削した後、計測結果から更に湧水量を低減するための実施した事例として、倉敷LPG岩盤貯槽、瑞浪超深地層研究所坑道などがある。 これらの過去の事例を踏まえ、トンネル湧水量が多い箇所の延長、トンネル湧水量の量、プレグラウト施工時の状況に応じて、注入範囲、孔数、密度、注入圧、材料配合、注入量を変化させて計画する。  <p>瑞浪超深地層研究所坑道の例</p>

(3) 導水路トンネルの施工について

導水路トンネルは図5のとおり、トンネル湧水を恒久的かつ確実に大井川に流すこと、また、それを早期に実現するため、大部分の区間を導水路トンネルをトンネルボーリングマシン（以下、TBM）により施工します。また坑口部と土被りが大きい区間についてはNATMにより施工します。

導水路トンネルで用いるTBM工法は、マシンを用いて全断面を掘削するという点では都市部で用いられるシールドトンネルの工法と同じですが、地質の違いを反映して異なる点があります。各工法の違いについては以下のとおりとなります。

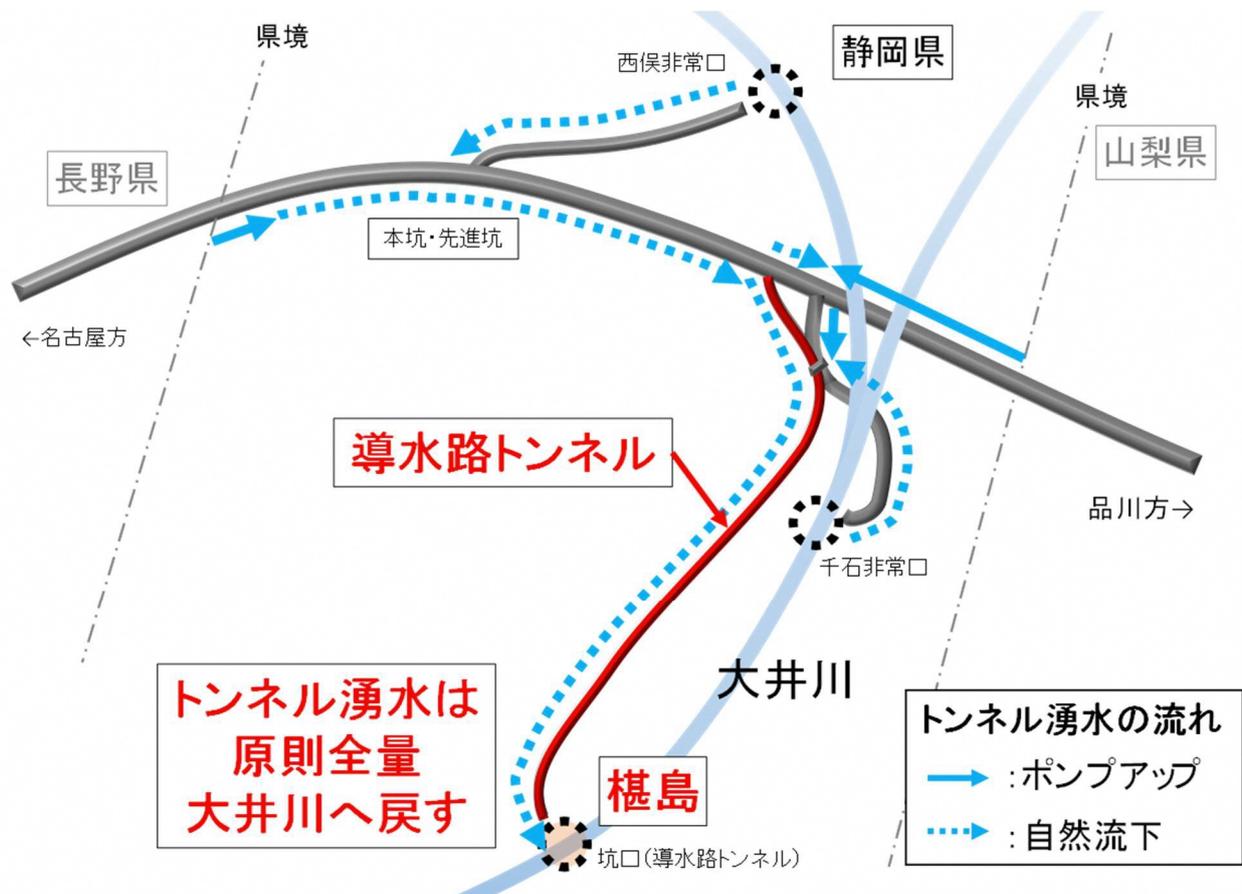


図5 導水路トンネルの計画

1) 導水路トンネルのTBM工法

- TBM工法は、TBMの先端に取付けたカッターヘッドを回転させて岩盤を掘削する工法です。
- TBMは基本的に岩を対象としたトンネル掘削機です。岩のため崩壊性は低く、地山は保持されることが前提であり、自立した地山が対象となります。
- 図6のとおり、掘削により発生した土砂はベルトコンベアーまたはスクリーコンベアーにより後方へ搬出します。

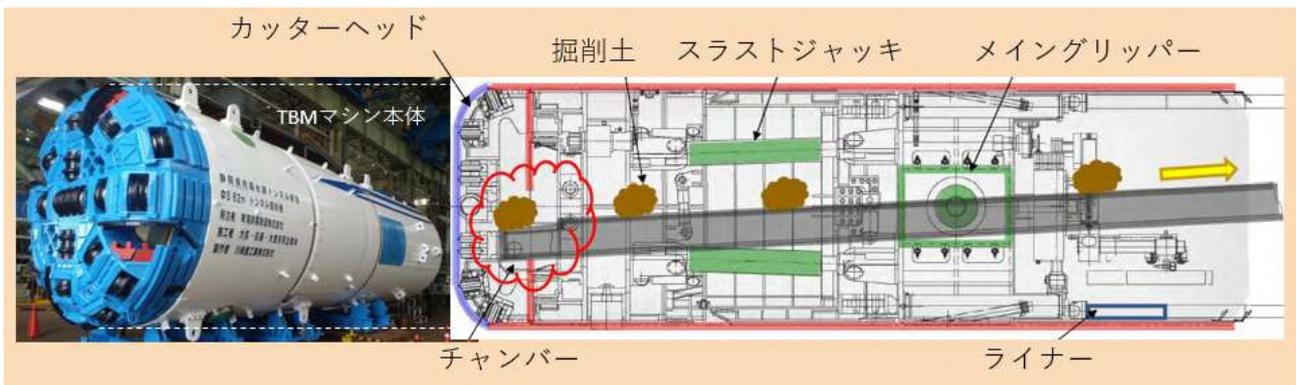


図6 導水路トンネルのTBMの概要

2) 首都圏トンネルの泥土圧シールド工法

- ・シールド工法は、都市部の地下において、地山を崩さないように保持するために、泥水式シールドや泥土圧式シールドの工法が用いられており、首都圏のシールドトンネルにおいては、泥土圧式シールド工法を用いています。
- ・カッターヘッドを回転させて削り取った土砂をチャンバー内に取り込み、取り込んだ土砂に添加剤（気泡）を加えてかき混ぜ、塑性流動性と不透水性を持つ泥土にします。図7のとおり、掘削面が崩れないよう、泥土に土圧と水圧に拮抗した圧力（泥土圧）をかけ、掘り進んだ分に応じて適量の土砂をスクリーコンベアで後方へ搬出します。

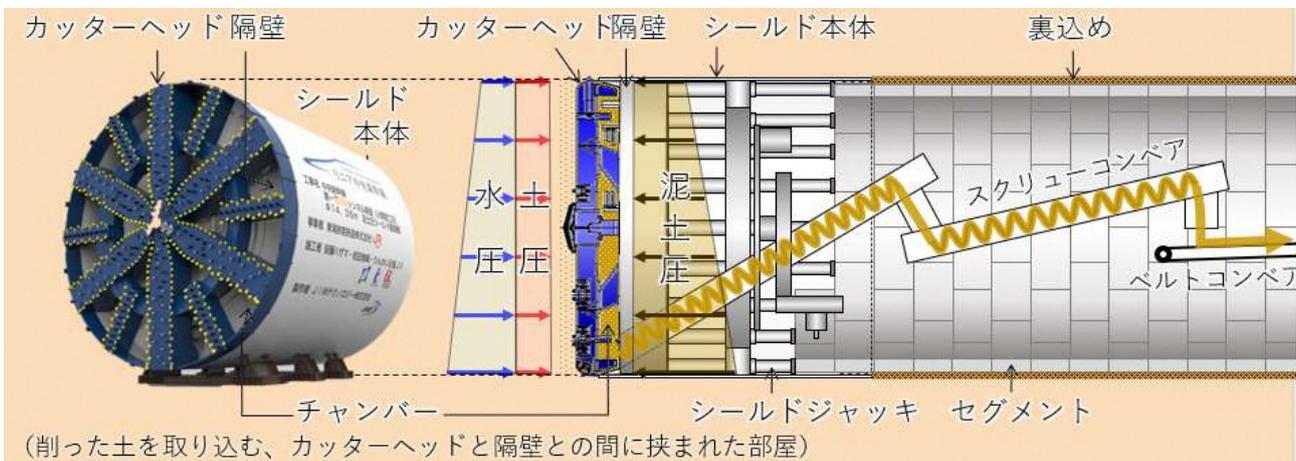


図7 首都圏のシールドトンネル（泥土圧シールド）の概要

- ・導水路トンネルにおけるTBM工法はシールドトンネルと工法が異なり、掘削面の土圧や水圧に対抗する圧力をかけるものではありません。第一首都圏トンネル（小野路工区）のルート沿線の地表面で湧水・気泡が発生し、現在、因果関係の調査を進めておりますが、対象とする地山や工法の違いを踏まえると、導水路トンネルの付近の地表面にこのような影響を発生させることはないと考えています。

(参考) プレグラウト後にポストグラウトを実施した事例

1) 倉敷 LPG 岩盤貯槽

① 地質概要

- ・倉敷 LPG 岩盤貯槽は、LPG(プロパン)の内圧より高い地下水圧となる岩盤内に常温高圧で 40 万 ton の LPG を貯蔵する水封式岩盤貯槽です。岩盤貯槽位置は EL-160~184m の深度で、地質は新鮮な花崗岩となっています。しかし、花崗岩新鮮部は概ね EL-120m 以深に分布し、花崗岩新鮮部の被りが概ね 40m と薄いため、岩盤貯槽周辺の岩盤には割目が発達しており、風化部からの水みちとなり得る透水性の高い割目も存在しています。

② 施工概要

- ・掘削断面の周辺岩盤に対して掘削前にプレグラウトを施し、改良が完了した後に掘削に移行するという施工を繰り返しました。掘削完了後は、壁面の湧水箇所に対してポストグラウトを実施しました。
- ・改良範囲はロックボルト長 3m の外側 5m まで改良するものとして、岩盤貯槽の周囲 8m としました。改良範囲内を内リング・外リングという 2 リングに分け、外リングを先に改良し、その後内リングを改良する計画としました。
- ・注入においては、動的注入方式を採用し、その振幅の中心圧力は 4.2MPa としました。この圧力は、岩盤貯槽設置深度相当の水圧 1.6~1.8MPa を考慮すると、できるだけ高圧にするのがよいですが、設備上の制約があり、湧水圧+3MPa 以上となるように設定しました。
- ・注入材料には粒径 10 μ m 以下の超微粒子セメントを用いました。その際に、セメント系材料単体では硬化時間を制御できないため、一定時間の分散効果を維持しつつ添加量によって凝結時間を調整できる分散剤を添付しました。練混ぜは単位注入セメント量を増加させる効果が認められたため、高速せん断ミキサ(1,800rpm)を用いました。
- ・プレグラウト孔の配置は図 8 の通りです。

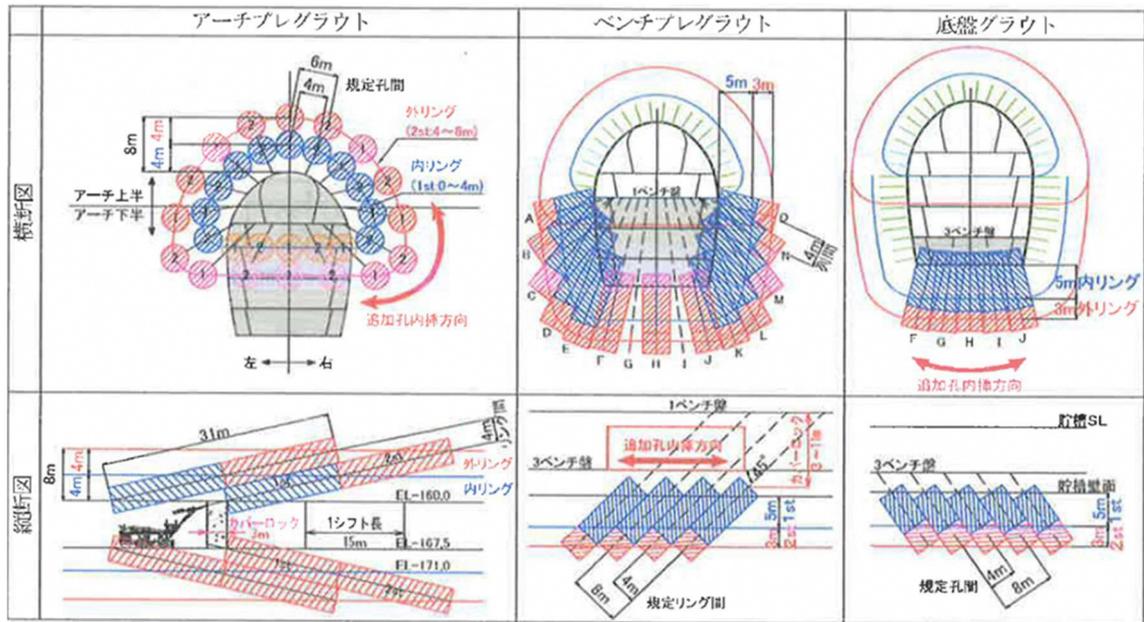


図8 プレグラウト孔配置

③ 結果

- ・超微粒子セメントを用いた高圧プレグラウトによって岩盤貯槽の周囲に低透水の改良帯を構築でき、水封機能を確保することができました。

2) 瑞浪超深地層研究所坑道

① 地質概要

- ・瑞浪超深地層研究所坑道研究所計画は、2本の立坑及び水平坑道（以下、坑道）で構成された深度500mに及ぶ研究坑道です。深度500mの坑道の地質は堅硬な比較的割れ目の少ない花崗岩です。ただし、立坑深度50～62mの明瞭な開口割れ目密集部、立坑深度77～90mのヘアークラック密集部は割れ目密度（1mあたりの割れ目本数）は10以上あり、多量の湧水が発生しました。深度500mでは、湧水箇所の水圧は概ね3MPaを超え最大4MPaの高水圧という希少な施工条件でした。

② 施工概要

- ・高圧湧水下で坑道への湧水量をより少なくするためのウォータータイトグラウト技術として、プレグラウチングとポストグラウチングを併用し、その適用性と評価を目的として、以下のグラウチングを実施しました。

(i) プレグラウチング

- ・坑道外側3mの範囲をプレグラウチング範囲として必要な注入孔を配置しました。削孔長は坑道切羽から前方に坑道延長方向で16mとしました（図9）。注入区間長は、注入孔のパッカー設置位置を切羽から3mの離隔距離を確保し13mを基本としました。
- ・グラウト材料は、超微粒子セメントを用いました。ただし、開口幅4mm以上の割れ目が複数本存在し、それらが交差すると想定される区間については、超微粒子セメントよりも材料の粒子径が大きい普通ポルトランドセメント（最大粒形：約100 μ m）を用いました。
- ・セメントミルクの配合については、各注入孔の水押し試験結果（Lu値）に応じて異なる配合から開始し、規定注入量到達毎に水セメント比（W/C）の大きい低濃度配合から段階的に高濃度配合に切り替える方式としました（表2）。

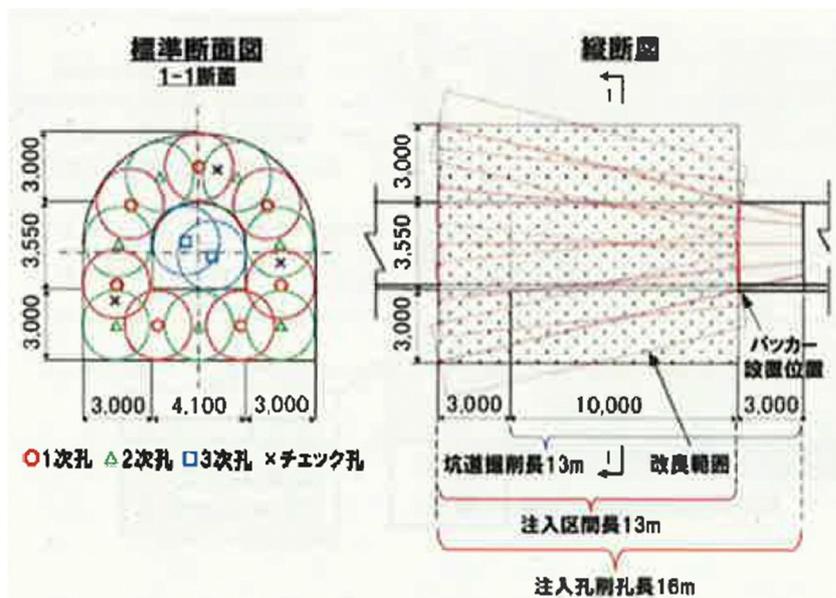


図9 プレグラウチング孔の標準的な配置 (単位: mm)

表2 Lu 値に応じた配合切り替えと注入量 (単位: リットル)

Lu 値 \ W/C	6	4	2	1	0.75
Lu < 1	400	400	400	1,000	800
1 ≤ Lu < 5	—	400	800	1,000	800
5 ≤ Lu < 10	—	—	800	1,200	1,000
10 ≤ Lu	—	—	—	2,000	1,000

(ii) ポストグラウチング

- 深度 500m の坑道では、プレグラウチングを実施して坑道を掘削した後、比較的湧水量が多い区間において、さらなる湧水抑制技術の試行として、その外側の範囲を対象にポストグラウチングを実施しました。
- ポストグラウチングの実施位置は、プレグラウチング時のセメント注入量が最も多く、ヘアークラックが密集して坑道壁面から滴る程度の湧水箇所が比較的多いプレグラウチング区間を覆う形となる区間を選定しました。また、注入範囲はプレグラウチング範囲と重複する範囲、プレグラウチング範囲の外側の範囲とし、それぞれの効果を比較評価できる仕様としました。
- グラウト材料は、プレグラウチングではセメント粒子(超微粒子セメント)が浸透できる割れ目を十分に改良できたと評価したことから、ポストグラウチングではセメント粒子が浸透できない割れ目の改良を目的として、浸透性及び耐久性の高い活性シリカコロイドを用いた溶液型材料を採用しました。
- 活性シリカコロイドは、水ガラスの劣化要因である Na 成分を取り除くことで耐久性を

向上させた材料であり、粒子径は 10~20nm で超微粒子セメントの 1/1,000 程度です。硬化後の水圧抵抗性は、溶液型材料の注入区間に 9MPa の水圧を作用させても有意な透水性の変化は見られませんでした。

- ・注入方式は長波と短波を組み合わせた複合動的注入工法を適用しました。内容は、長波 0.1Hz、短波 6.0Hz の場合に注入量が最も多かったことから、この組み合わせを適用しました。

③ 結果

(i) プレグラウチング

- ・深度 500m では、超微粒子セメントを基本とし、開口幅 4mm 以上の割れ目が交差すると想定される区間については、普通ポルトランドセメントを適用することで坑道掘削を完了しました。

(ii) ポストグラウチング

- ・プレグラウチング範囲の外側範囲の注入時は、注入孔近傍の坑道壁面からのリークはほとんど発生せず良好な結果でしたが、プレグラウチングと重複範囲の注入時は、坑道壁面と注入孔のパッカーの設置位置が外側範囲の場合よりも距離が近いため、注入前の水押し試験において坑道壁面から大量のリークが発生する孔が認められました。外側範囲の方が明らかに Lu 値が小さく、透水性の低減効果が高いといえます (図 10)。

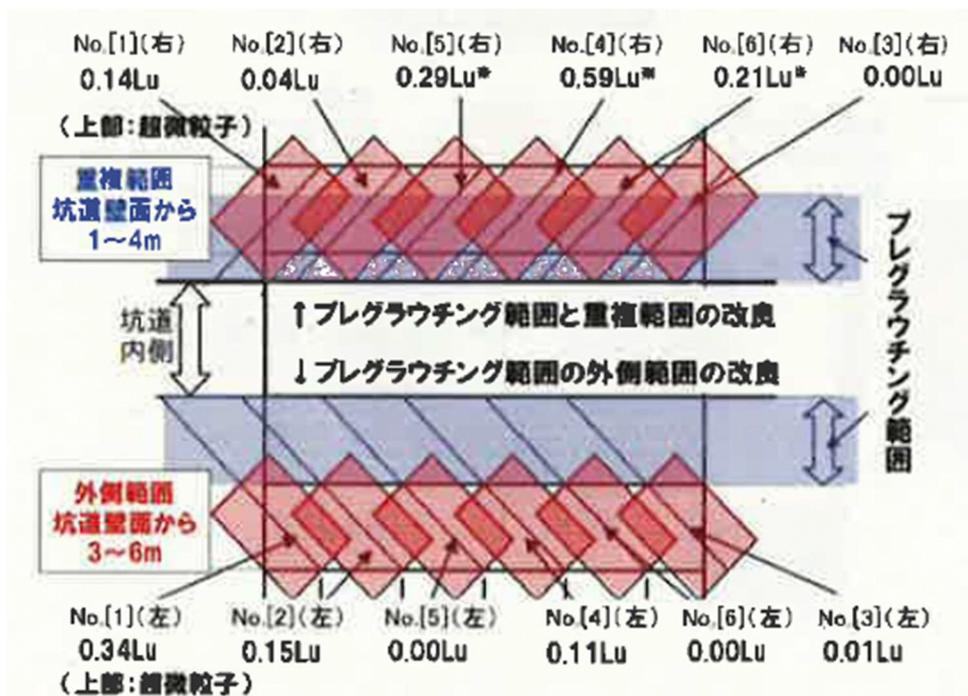


図 10 各リングにおける Lu 値

- ・超微粒子セメントを適用した箇所ではチェック孔における平均値は 0.4Lu であり、これに対して溶液型材料を適用した箇所では 0.19Lu でした。
- ・超微粒子セメントを併用したリングでは、坑道壁面から滴る湧水箇所が多く、また他孔の注入時に注入完了後の注入孔からのリークも多かったのに対して、溶液型材料は坑道壁面から滴る湧水箇所は比較的少なかったことから、溶液型材料が有効でした。
- ・また、ポストグラウト実施前の湧水量が数リットル/分程度の注入孔が多いなか、1 孔のみ 130 リットル/分の大量湧水の孔がありましたが、溶液型材料の注入により止水することができました。この結果から、溶液型材料は大量湧水箇所に対しても有効であることが確認できました。
- ・注入前の Lu 値が同程度の注入孔における注入量は、複合動的注入の方が静的注入より上回る結果となりました。静的注入を適用した箇所では 0.15Lu であり、これに対して複合動的注入を適用した箇所では 0.04Lu でありました。この結果から、複合動的注入は注入範囲の透水性の低減に有効であることが確認できました。

参考文献

- 1) 小林伸司、宮嶋保幸、水道健、金戸辰彦、山本浩志、前島俊雄：倉敷基地 LPG 岩盤貯槽における高水圧下のグラウト施工実績と改良効果の評価について、公益社団法人土木学会、第 42 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、2014 年 1 月
- 2) 見掛信一郎、池田幸喜、松井裕哉、辻正邦、西垣誠：高圧湧水下におけるプレグラウチングとポストグラウチングを併用した湧水抑制効果の評価、土木学会論文集 C (地圏工学)、Vol. 74、No.1、p. 76-91、2018 年