

今回のご説明の概要（薬液注入の計画）

（１）薬液注入の計画について

１）プレグラウトについて

- ・上流域モデル¹による沢の流量変化を分析した結果、トンネルと主要な断層の交差部における薬液注入は、沢の流量減少量を低減する効果があることを確認しました。
- ・そこで、流量減少が予測される沢については、沢の流量減少への低減措置として、トンネルと主要な断層の交差部²において、薬液注入を実施することを考えています³。
- ・薬液注入の方式として、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方式を考えています。
- ・沢の流量減少への事前の対策であるプレグラウト方式の実施に際しての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⁴の透水性を確認するため、注水による岩盤の透水試験（JGS1322）⁴やルジオン試験（JGS1323）⁵を基本とし、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。
- ・注入初期には、一部を先行施工して試験を行う現場注入試験を行い、設計の妥当性を検討の上、本施工に移行します。試験の結果次第では、随時設計を修正します。
- ・設計に基づき薬液注入を実施し、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⁶。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。また、削孔した孔からの湧水量もあわせて確認します。
- ・確認の結果、設計時に定めた改良目標透水係数⁷と同程度まで透水性が改良された場

¹ 国土交通省 リニア中央新幹線静岡工区有識者会議（環境保全）において、大井川上流域の沢の影響分析という目的のもと、新たに作成した GETFLOWS による解析モデル

² 透水係数が 1.0×10^{-6} (m/s) 以上の箇所を対象とすることを考えている

³ 「注入の設計施工マニュアル、公益財団法人鉄道総合技術研究所、平成 23 年 10 月」に準ずる

⁴ 注水による岩盤の透水試験（JGS1322）：ボーリング孔内をバ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。

⁵ ルジオン試験（JGS1323）：ボーリング孔内をバ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。

⁶ チェックボーリングの本数については、既往の実績（青函トンネルにおいて 3 本、地芳トンネルにおいて 2 本実施）を踏まえ、現場の状況に応じて数か所程度実施することを考えている。

⁷ 既往の実績から確認される中では、実行可能な目標透水係数として、 10^{-7} (m/s) を基本とする。青函トンネルでは、“注入による岩盤の止水効果の実測”を目的のひとつとし、先進導坑と並行する試験坑（水深約 20m、土被り 244m）において、薬液注入前後の岩盤の透水性を評価している。具体的にはまず、5 本の試験孔を設けて注入前の自然地山の透水性を調査し、その後、同地山に対して薬液注入を実施、同じ地山に対して新たに 3 本のチェック坑を設け、薬液注入後の透水性を調査している。その結果、薬液注入前に 5 本の試験孔で計測した透水係数 k_m は、 $k_m=2.142 \times 10^{-6}$ (m/s)、 $k_m=6.291 \times 10^{-7}$ (m/s)、 $k_m=5.459 \times 10^{-7}$ (m/s)、 $k_m=9.336 \times 10^{-6}$ (m/s)、 $k_m=1.753$

合には、当該箇所掘削を実施します。

- ・改良目標透水係数まで改良されていない場合には、補足注入を実施し、改良目標透水係数となるよう繰り返し薬液注入を実施します。
- ・現地の状況を踏まえ、これ以上の改良が見込めない場合であっても当該箇所掘削を実施しますが、その際には、代償措置の検討の前提とした解析モデルにおける透水係数と比較し透水係数が同等以下であることを確認し、代償措置の検討の前提とした解析モデルにおける透水係数より大きければ、影響予測の見直しを行います。
- ・薬液注入実施箇所のトンネル掘削にあたっては、透水係数の改良状況に関わらず、薬液注入実施箇所のトンネル湧水量をモニタリングし、代償措置の検討の前提とした解析モデルにおける当該区間のトンネル湧水量と比較し、実際のトンネル湧水量の方が大きい場合には、現地の状況に応じた追加の代償措置を検討します。検討した代償措置を実施するか否かについては、現地の生物の生息・生育状況等を踏まえ、静岡県専門部会委員等の専門家に相談し、判断します。
- ・また、巻末資料に記載した幌延深地層研究計画地下研究施設における薬液注入では、大深度の高水圧（最大 10Mpa）に対応可能である「高圧・高止水対応グラウト注入技術」が活用されています（2014 年度に土木学会の技術開発賞を受賞）。
- ・本技術は、装置の小型化によりトンネル内の狭い場所でも余裕をもって使用することが可能とされており、高水圧が想定される静岡県内の南アルプストンネル工事における断層部への薬液注入においても参考にできる技術であると考えています。
- ・実際には、薬液注入を実施する前に行うボーリング調査の結果やその時点までのトンネル掘削実績を踏まえ、適用する技術等も含め、薬液注入の設計を行い、施工します。

$\times 10^{-6}(\text{m/s})$ であったことに対し、薬液注入後に新たに設けた 3 本のチェック坑では $k_m=3.212 \times 10^{-8}(\text{m/s})$ 、 $k_m=2.227 \times 10^{-8}(\text{m/s})$ 、 $k_m=4.406 \times 10^{-8}(\text{m/s})$ となり、「注入の効果は明らかで、注入によって地山の透水係数は $10^{-1} \sim 10^{-2}(\text{cm/s})$ 程度小さくなっていることがわかる」（青函トンネル土圧研究調査報告書 p218 引用）とされている（青函トンネル土圧研究調査報告書、社団法人土木学会、昭和 52 年 3 月より）。一方で、現地の地質や湧水等の状況次第では、透水係数を $10^{-7}(\text{m/s})$ まで改良することが困難な場合もあることに留意。

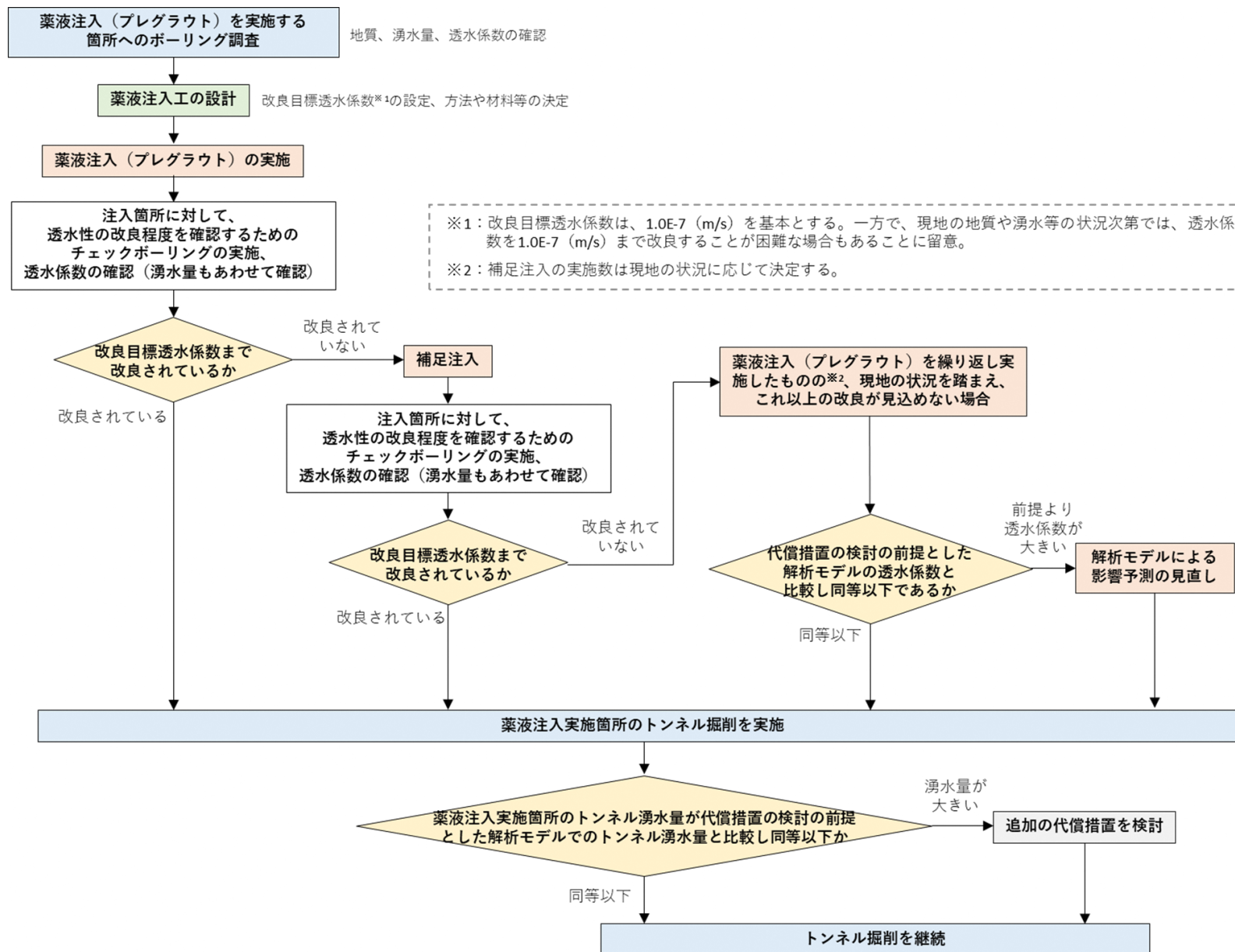


図1 薬液注入（プレグラウト）のフロー

- ・注入材料は、水ガラス系（有機物を含まないもの）やセメント系の注入材を使用することを考えています⁸。
- ・基本的にはまず、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（セメント水ガラス系を基本））を用いて、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。
- ・水ガラス系のうちセメント水ガラス注入材については、青函トンネルを事例に、注入施工後 30 年が経過した現状の注入材料がどのような状況にあるのかを複数の観点から調査し、セメント水ガラス注入材の耐久性について評価を行った文献⁹において、「青函トンネル海底部における各種計測データの経年変化から、注入域の劣化等を示すような結果は確認されておらず、注入域は長期的に健全な状態を保持している。」と評価されています。
- ・今回の注入計画全体としての耐久性という観点では、このような水ガラス系の周囲に、強度の高く耐久性のある注入材料（主にセメント系）を更に重ねて注入するため、全体としての耐久性は確保されるものと考えています。
- ・また、薬液注入を実施する前に行うボーリング調査や先行して行う現場注入試験の結果、その時点までのトンネル掘削実績を踏まえ、使用する材料等の検討を行い、上記の材料と異なる材料を使用する場合には、耐久性について確認の上、使用します。
- ・なお、透水係数を確認するチェックボーリングは、本注入まで完了したのちに実施します。

⁸ 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。なお、瞬結タイプのゲルタイム（硬化時間）は、1 分未満であり、未反応のまま地盤中に存在することはないとされている。また、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いため、固化するまでの時間は長くなるが、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。

⁹ セメント系薬液注入材の耐久性に関する研究、秋田勝次、2011、京都大学学術情報リポジトリ

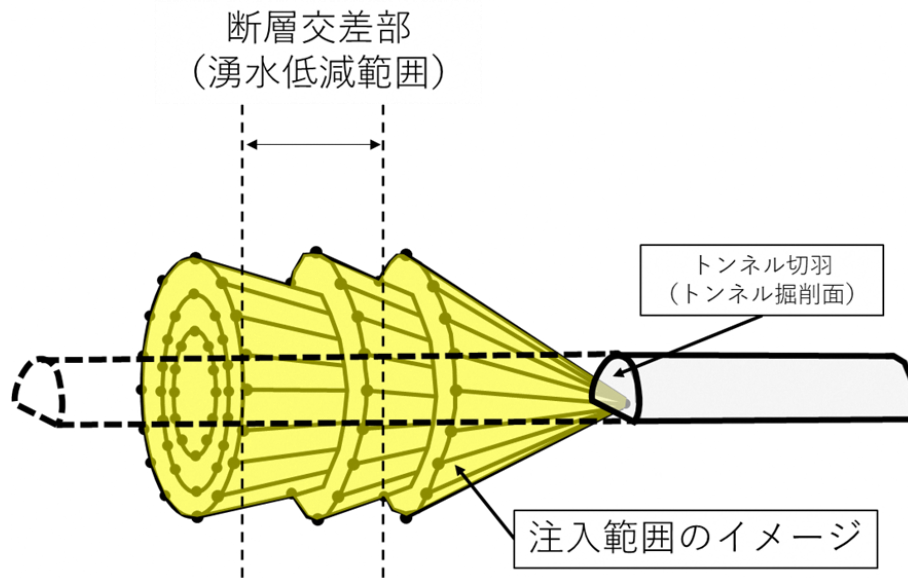


図2 薬液注入のイメージ（その1）

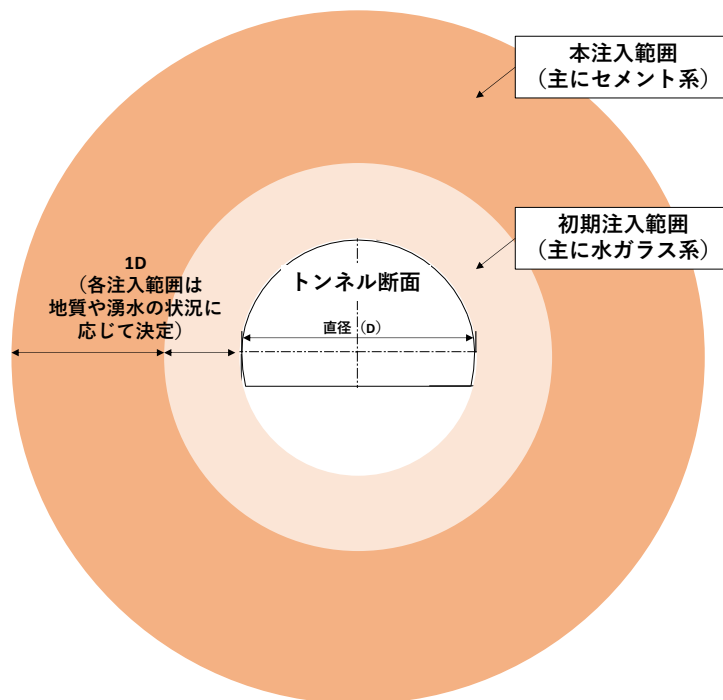


図3 薬液注入のイメージ（その2）

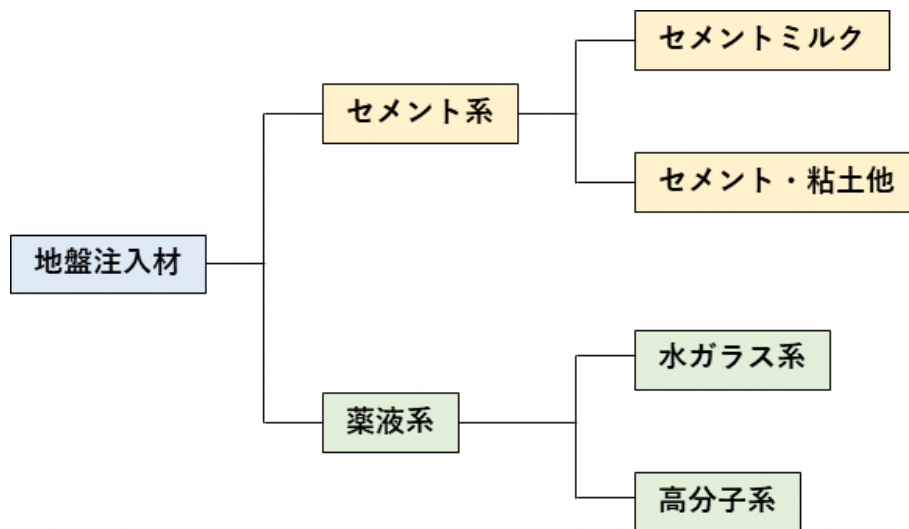


図 4 注入材の分類¹⁰

2) ポストグラウトについて

- ・掘削後のトンネル湧水や沢の流量の状況を踏まえ、トンネル湧水量が増加している区間等において、原因を調査した結果、原因箇所が特定され、ポストグラウトによりトンネル湧水量の低減が可能であり、また、トンネル内の安全性を考慮したうえで、ポストグラウトが実施可能であれば、ポストグラウトを実施します。

¹⁰ 「山岳トンネルの補助工法、2009年10月、土木学会」より