

今回のご説明の概要（薬液注入に係る水質管理等）

（１）薬液注入の概要について

１）概要

- ・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。
- ・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。
- ・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⁴。
- ・なお、薬液注入の計画の詳細については、「資料 4-1 薬液注入の計画について」にて別途説明します。

２）事例について

- ・薬液注入による止水効果が確認された事例として、青函トンネルと幌延深地層研究計画地下研究施設の事例を以下、報告します。

○青函トンネルの例⁵

- ・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、主な地質は流紋岩と玄武岩）において、薬液注入前後の岩盤の透水性を評価しています。
- ・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（セメントと水ガラスによる）を実施、同じ地山に対して新た

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 $1.0\text{E-}6$ (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 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、使用する。

⁵ 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

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ます。

- ・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、 $k_m=2.142 \times 10^{-6} \text{ (m/s)}$ 、 $k_m=6.291 \times 10^{-7} \text{ (m/s)}$ 、 $k_m=5.459 \times 10^{-7} \text{ (m/s)}$ 、 $k_m=9.336 \times 10^{-6} \text{ (m/s)}$ 、 $k_m=1.753 \times 10^{-6} \text{ (m/s)}$ 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）とされています。

○幌延深地層研究計画地下研究施設の例⁶

- ・幌延深地層研究センターは北海道天塩郡幌延町に建設された3本の立坑と水平坑道からなる施設であり、地質としては堆積泥岩が分布しています。
- ・漸移帯中に発達した割れ目帯や断層部分では 10^{-6} m/s 程度の比較的透水性が高い部分も確認されていたため、止水対策として掘削工事に先立って高水圧下でのグラウト工事を実施しました。
- ・施工手順は、基本長（ステージ長）を5mとし、基本長の削孔ごとにグラウトを行うステージ工法です。注入材料は、微細な割れ目を対象とした超微粒子型注入材等です。
- ・透水性の改良目標を0.1ルジオン（透水係数約 $1.3 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ に相当）と設定し、施工した結果、「立坑および水平坑道を対象に実施したグラウト工の数量は、総注入孔数が約3,000孔、掘削総延長が約140,000mであった。改良結果として、全注入孔の全ステージにて1ルジオン以下、全ステージの96%で0.1ルジオン以下を達成した。」と評価されています。
- ・本事例では、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。
- ・なお、沢の流量減少への低減措置としては、トンネルの構造をトンネル内への湧水流入を遮断する非排水構造とすることも考えられますが、同構造の技術適用限界とされる水圧は過去の施工事例などから水圧1Mpa（地下水位100mに相当）程度までとされており⁷、土被りが大きい南アルプストンネル静岡工区においては適用困難です。

⁶ 幌延深地層研究計画地下研究施設整備（第Ⅱ期）等事業におけるグラウト工事結果の概要、鈴木弘・進藤彰久・南出賢司・本島貴之、土木学会第71回年次学術講演会（平成28年9月）

⁷ 山岳トンネルにおける環境保全に配慮した地下水環境変化の抑制手法に関する研究、中出剛、岡山大学大学院環境生命科学研究科博士論文、2018.3

(2) 薬液注入に伴う河川や地下水の水質管理について

1) 薬液注入に使用する薬剤について

- ・使用することを予定している水ガラス系の注入材（セメント水ガラス系を基本）は、ケイ酸ナトリウムが溶け込んだ液体です。水ガラス系の瞬結タイプの材料のゲルタイム（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おり⁸、材料がそのまま河川等へ流出する可能性は極めて小さいと考えられます。なお、水ガラスは様々な分野に広く利用されている無機系の化学物質であり、水道水の浄化や石鹼等ごく普通に人の口に入ったり、直接肌に触れたりするようなところに使われているほど安全性が高いものである⁹とされています。
- ・万が一、流出してしまう可能性を考慮し、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針について」（昭和49年7月10日建設省官技発第160号）（以下、「暫定指針」）に準じて、水質管理を行っていきます。
- ・また、固化後については、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¹⁰において、「供用開始後20年経過しても湧水温度、湧水量、電気伝導率、pHの変化は微少であり、また各化学成分の含有量もほぼ一定の傾向となっていることが確認できる。また坑内湧水の化学成分には、海水成分と比較し顕著な差は確認されていない。これらのことから、トンネル坑内への湧水とともに注入材の成分が溶脱しているような現象は生じていないことが想定され、注入域は長期的に安定した状態を保持しているといえる。」と評価されており、長期的に存置されることによる周辺環境への影響は小さいと考えられます。

2) 水質管理について

- ・トンネル湧水は、処理設備により適切に処理したうえで河川へ放流します。薬液注入を実施する際には、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針について」（昭和49年7月10日建設省官技発第160号）（以下、「暫定指針」）に準じて、水質管理を行います。
- ・水素イオン濃度（pH）について、南アルプス地域の特性を考慮し、暫定指針の排水基準（許容限度5.8以上8.6以下、表1）より厳しい管理基準（6.5以上8.5以下）で管理します¹¹。
- ・観測井においては表2、表3に示す時期及び回数、検査項目と水質基準に適合して

⁸ 新訂 正しい薬液注入工法、社団法人日本グラウト協会編、2011.7.20、相模書房

⁹ 新訂 正しい薬液注入工法、社団法人日本グラウト協会編、2011.7.20、相模書房

¹⁰ 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

¹¹ 管理基準にて管理するほか、トンネル切羽からのトンネル湧水の水量（薬液注入実施後を含む）や水温、水質（pH、EC等）の計測も行い、薬液注入による変化の傾向を確認する

いることを確認します（観測井の場所は図 2 の通り）。

- ・万が一、基準を超過するような傾向が確認された場合には、薬液注入を一時中断します。その後、水質への影響が低減されるよう使用する材料や注入範囲を検討し、薬液注入を再開して、トンネル湧水量の低減に努めます。
- ・また、薬液注入箇所周辺の沢やトンネル湧水放流先河川の水質の確認も行います。
- ・なお、セメント系の材料を使用する際には、他の作業でセメントを使用する際と同様の水質管理を行います。

表 1 暫定指針に定められた薬液注入に伴う水質検査項目および基準

注入材の種類		検査項目	検査方法	水質基準
水ガラス系	有機物を含まないもの	水素イオン濃度 (pH)	JIS K0102 の 12 に定める方法 ¹²⁾	排水基準を定める省令 (昭和 46 年総理府令第 35 号) に定める一般基準に適合すること (5.8 以上 8.6 以下 ¹³⁾)

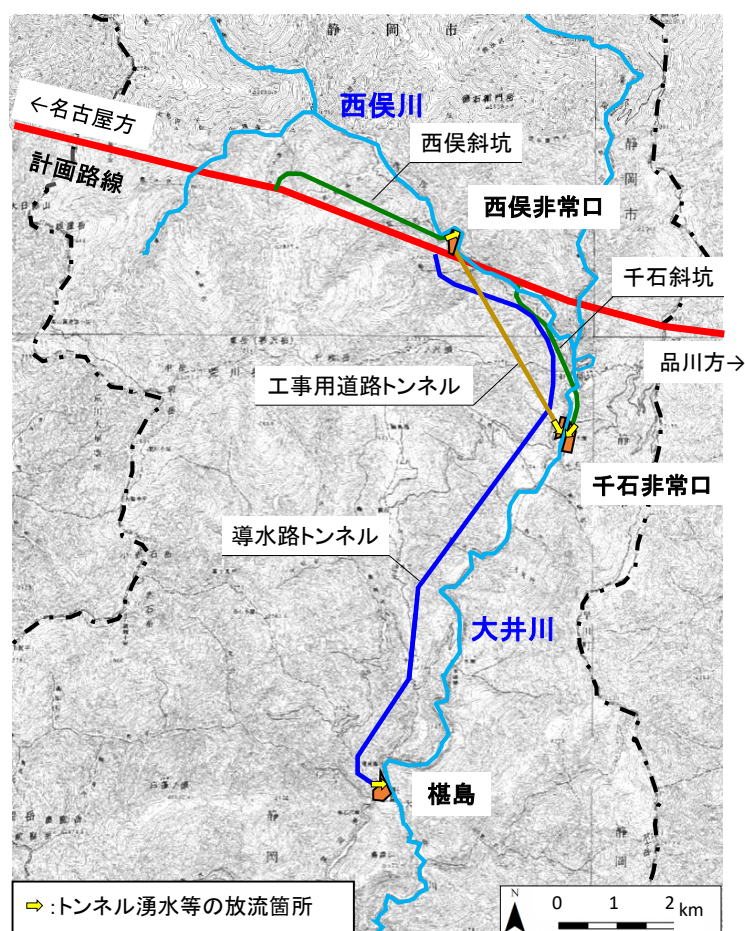


図 1 トンネル湧水等の放流箇所

¹² ガラス電極を用いた pH 計によって測定される起電力から求める方法

¹³ 暫定指針の許容限度より厳しい6.5以上 8.5以下で管理することとしている

表 2 地下水の採水時期及び回数

時期		回数
注入工事着手前		1 回
注入工事中		毎日 1 回以上
注入工事終了後	2 週間以内	毎日 1 回以上 当該地域における地下水の状況に著しい変化がないと認められる場合で、調査回数を減らしても監視の目的が十分に達成されると判断される場合は、週 1 回以上
	2 週間を超え半年経過するまで	月 2 回以上

表 3 地下水の検査項目と水質基準

注入材の種類		検査項目	検査方法	水質基準
水 ガ ラ ス 系	有機物を含まないもの	水素イオン濃度 (pH)	水質基準に関する省令(平成 15 年厚生労働省令 101 号に基づく「水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法」(平成 15 年厚生労働省告示第 261 号) または JIS K 0102 の 12 に定める方法 ⁹	pH8.6 以下(工事直前の pH が 8.6 を超える場合は当該測定値以下※) であること

※各観測井のうち深井戸（田代ダム付近）については、これまでの pH の計測結果（平成 29 年 12 月以降、月 1 回の頻度で計測）の平均値が 9.2 であり、8.6 を超える値のため、工事直前の計測値を水質基準として設定することを考えている。

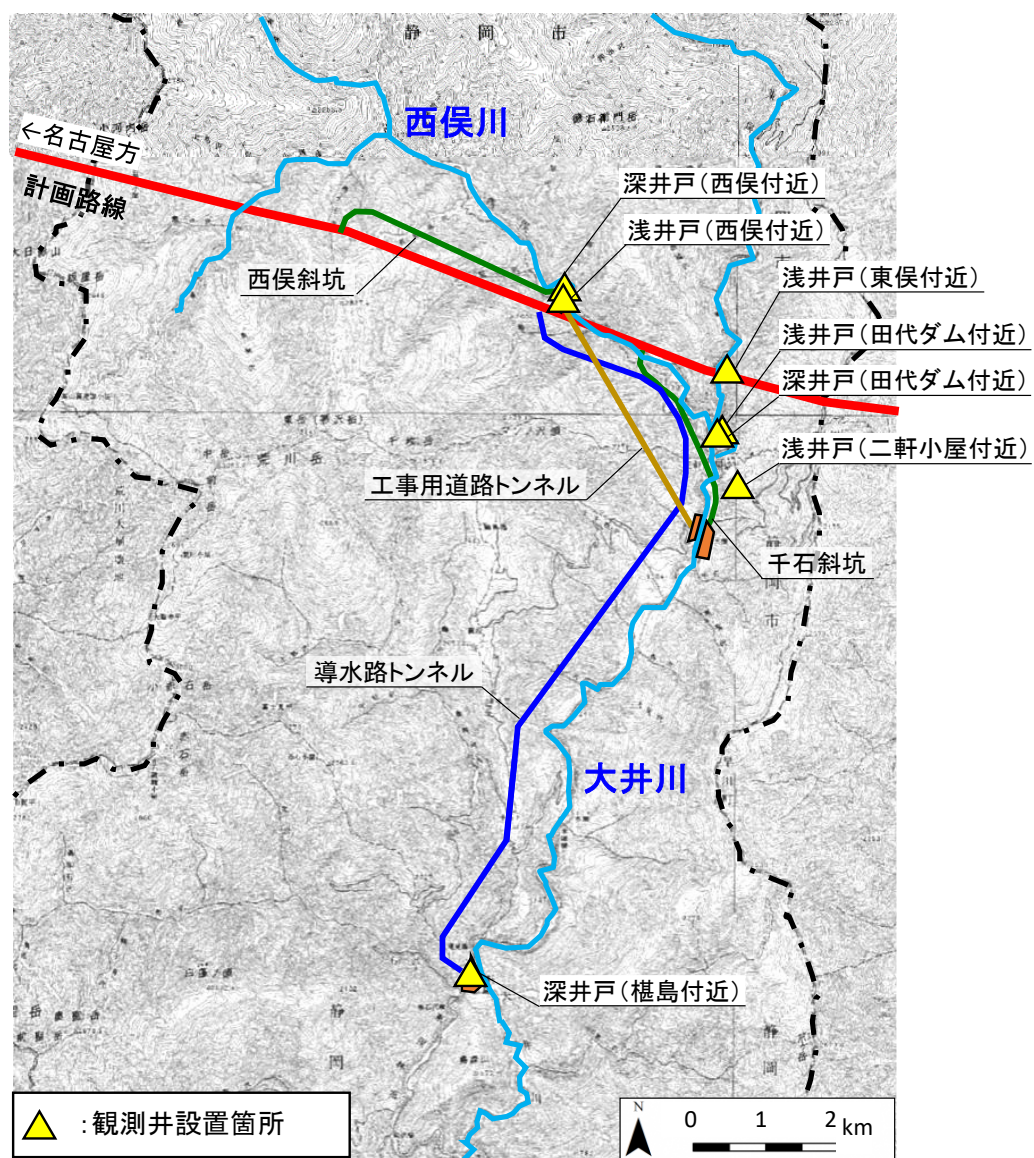


図 2 榎島以北の観測井位置図