

薬液注入の概要と薬液注入に係る 河川や地下水の水質管理について

< 本資料に記載の項目 >

「今後の主な対話項目」（2024年2月5日 静岡県）抜粋

Ⅱ 生物多様性編

3 回避・低減措置及び代償措置

(1) 薬液注入による自然環境への影響の把握方法、具体的なリスク管理

2025年11月
東海旅客鉄道株式会社

目 次

(1) 薬液注入の概要について	1
1) 概要	1
2) 事例について	3
(2) 薬液注入に伴う河川や地下水の水質管理について	7
1) 薬液注入に使用する薬剤について	7
2) 水質管理について	7
【巻末資料】	12

(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。

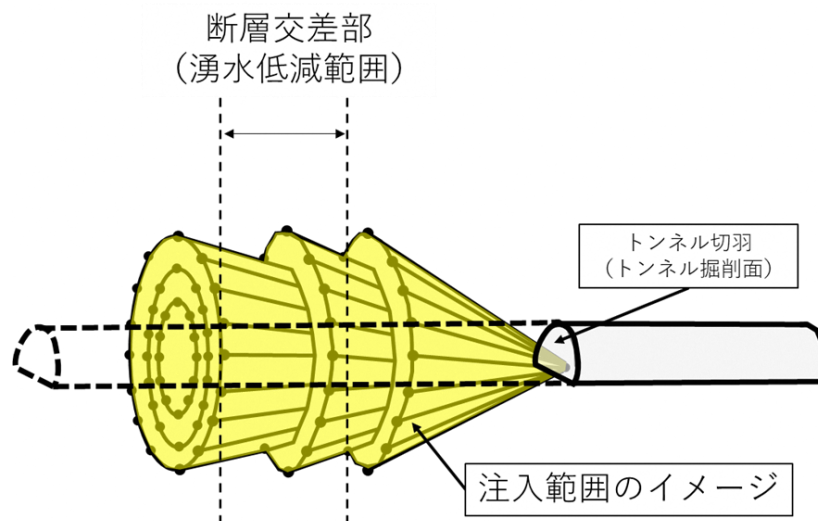


図1 薬液注入のイメージ（その1）

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 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。

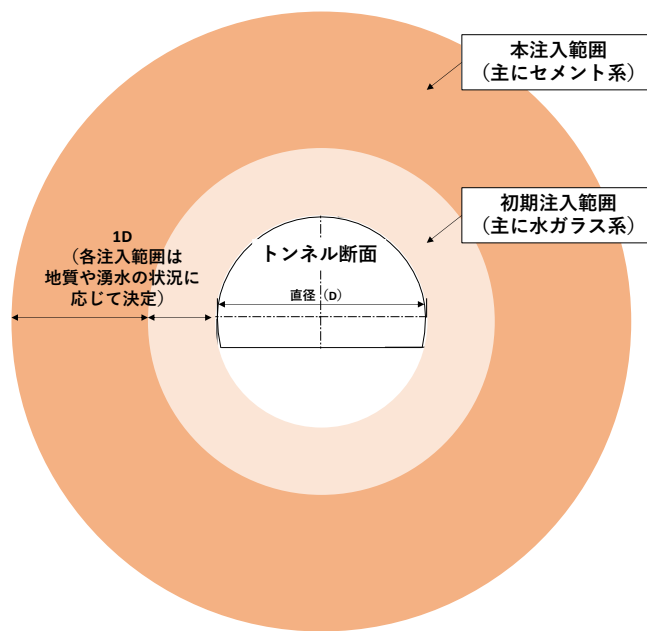


図2 薬液注入のイメージ（その2）

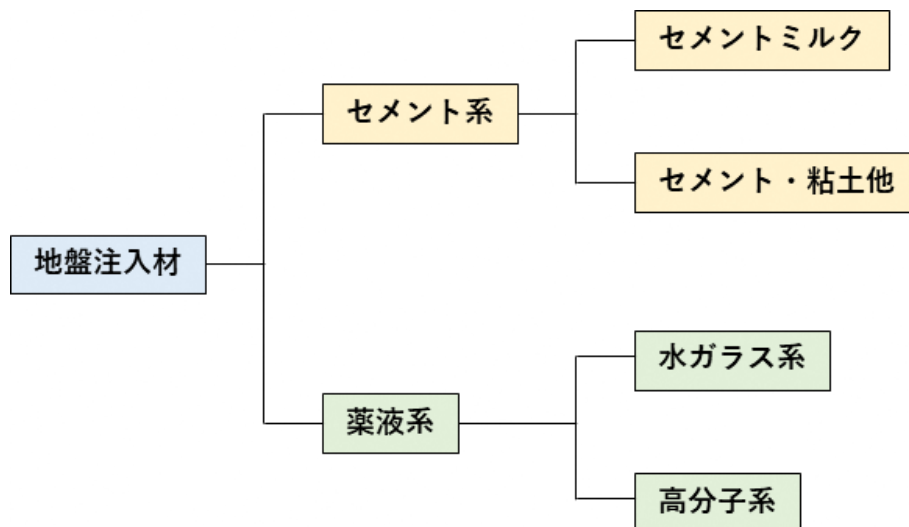


図3 注入材の分類⁵

⁵ 「山岳トンネルの補助工法、2009年10月、土木学会」より

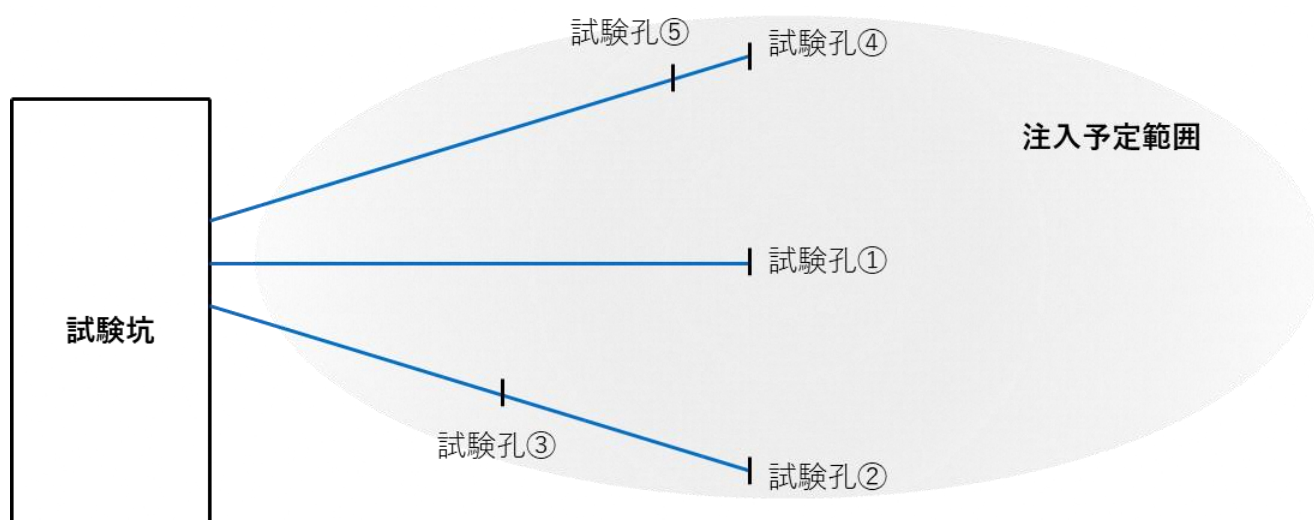
2) 事例について

- ・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⁶

- ・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。

⁶ 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



※試験孔②、試験孔③は、平面的には重なっているが高さが異なる2つの試験孔（試験孔④、⑤も同様）

図 4 薬液注入前の自然地山の透水性を調査した際の試験孔のイメージ（平面図）
（文献 6 を参考に J R 東海が作成）

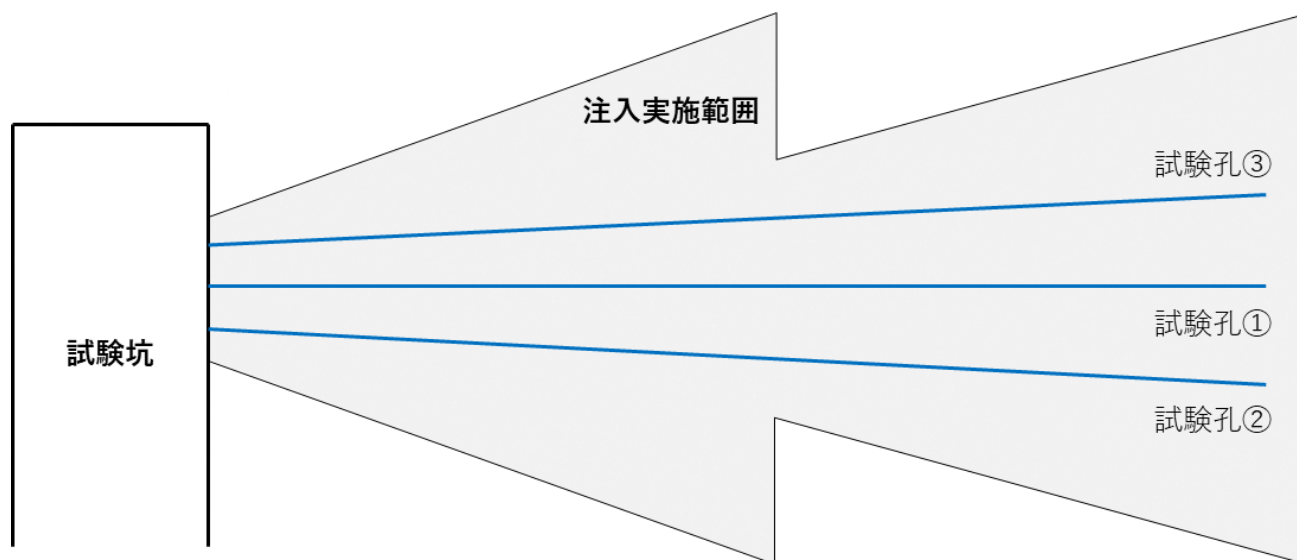


図 5 薬液注入後の透水性を調査した際の試験孔のイメージ（平面図）
（文献 6 を参考に J R 東海が作成）

○幌延深地層研究計画地下研究施設の例⁷

- ・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（図 6）。
- ・図 6 の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。
- ・改良範囲を図 6 にお示しします。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 1.3×10^{-8} 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。

⁷ 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）

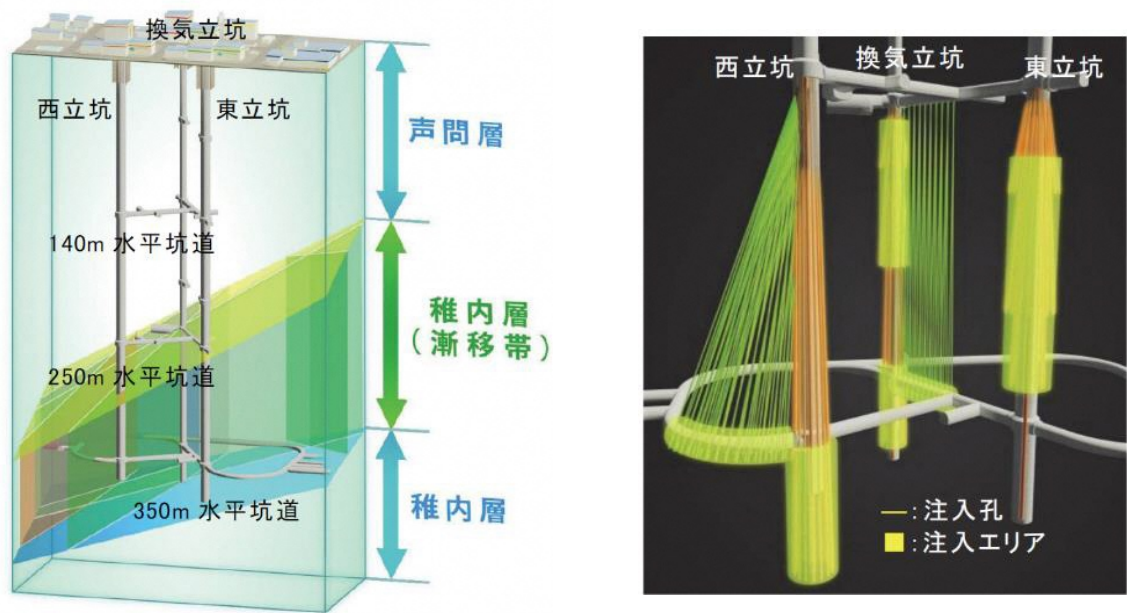


図 6 幌延深地層研究センター鳥瞰図（左図）と立坑のグラウト改良範囲（右図）⁷

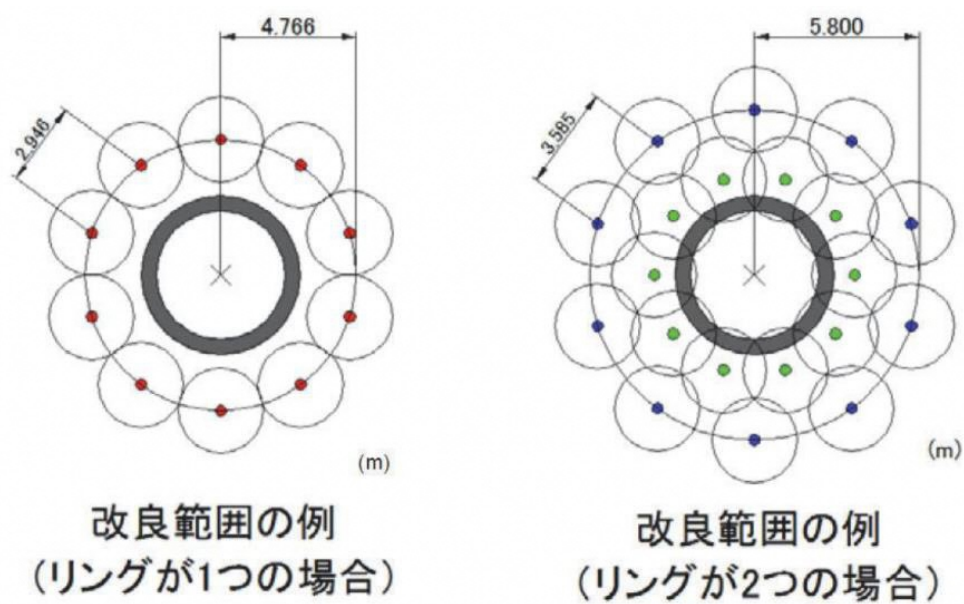


図 7 グラウト孔配置断面図（立坑）⁷

・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⁸、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。

⁸ 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⁹、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¹⁰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¹¹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¹²。

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 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

¹¹ 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

¹² 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

- ・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いることを確認します（観測井の場所は図 9 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 ¹³	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 ¹⁴ ）

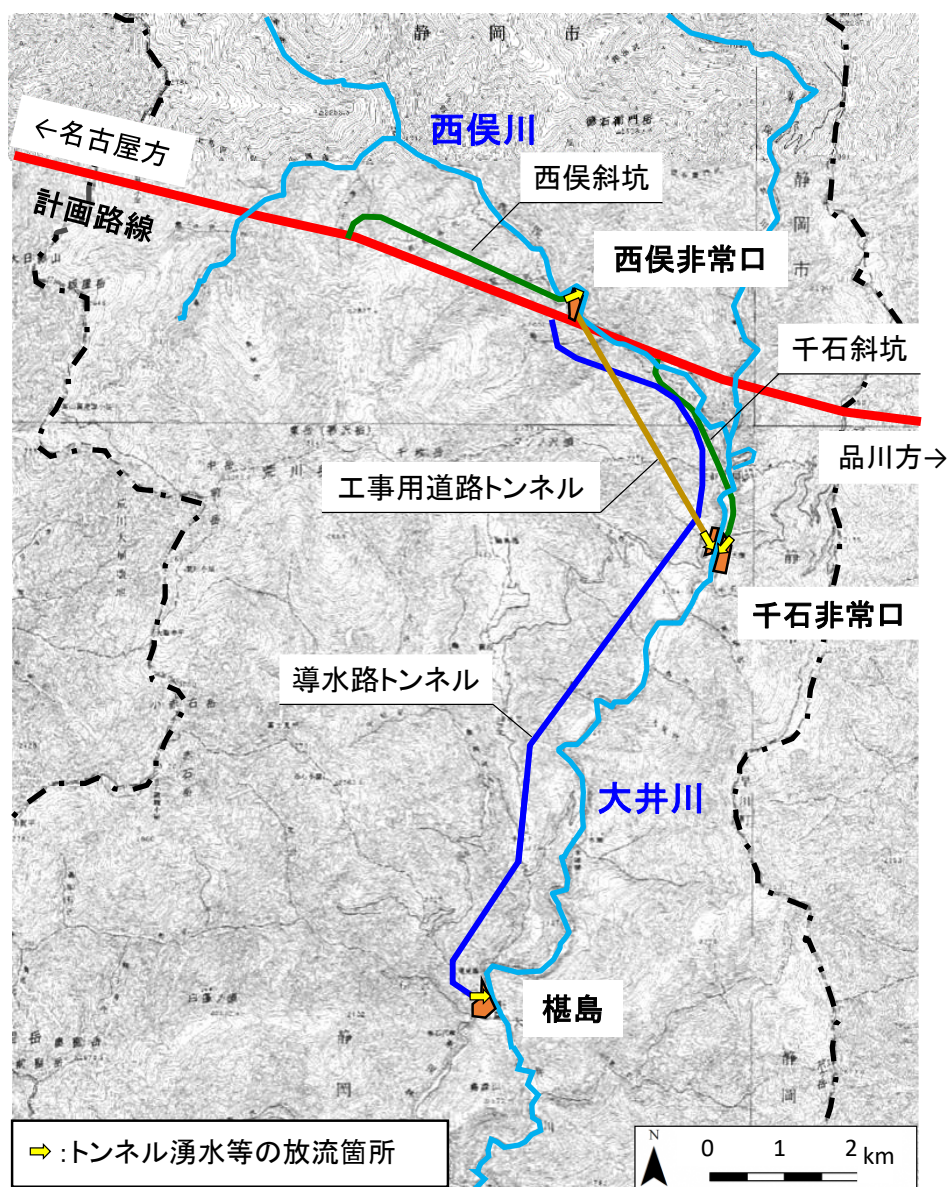


図 8 トンネル湧水等の放流箇所

¹³ 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

¹⁴ 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。

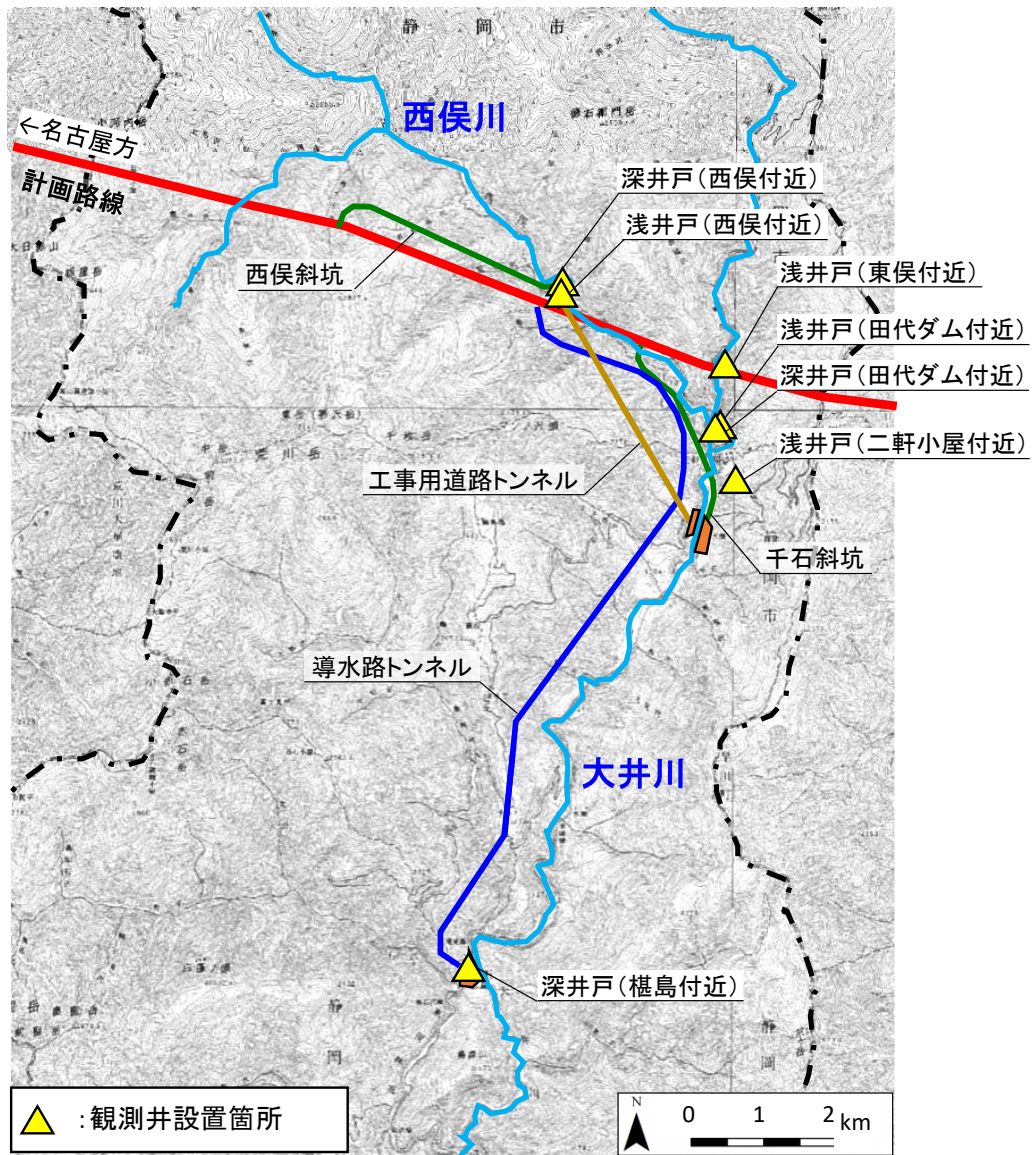


図 9 榎島以北の観測井位置図

【巻末資料】

○薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針

薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針

〔昭和 49 年 7 月 10 日建設省官技発第 160 号〕

第 1 章 総則

1-1 目的

この指針は、薬液注入工法による人の健康被害の発生と地下水等の汚染を防止するために必要な工法の選定、設計、施工及び水質の監視についての暫定的な指針を定めることを目的とする。

1-2 適用範囲

この指針は、薬液注入工法による建設工事に適用する。

ただし、工事施工中緊急事態が発生し、応急措置として行うものについては、適用しない。

1-3 用語の定義

この指針において、次に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

(1) 薬液注入工法

薬液を地盤に注入し、地盤の透水性を減少させ、又は地盤の強度を増加させる工法をいう。

(2) 薬 液

次に掲げる物質の一以上をその成分の一部に含有する液体をいう。

イ けい酸ナトリウム

ロ リグニン又はその誘導体

ハ ポリイソシアネート

ニ 尿素・ホルムアルデヒド初期縮合物

ホ アクリルアミド

第 2 章 薬液注入工法の選定

2-1 薬液注入工法の採用

薬液注入工法の採用は、あらかじめ 2-2 に掲げる調査を行い、地盤の改良を行う必要がある箇所について他の工法の採用の適否を検討した結果、薬液注入工法によらなければ、工事現場の保安、地下埋設物の保護、周辺の家屋その他の工作物の保全及び周辺の地下水位の低下の防止が著しく困難であると認められる場合に限るものとする。

2-2 調 査

薬液注入工法の採用の決定にあたって行う調査は、次のとおりとする。

(1) 土質調査

土質調査は、次に定めるところに従って行うものとする。

イ 原則として、施工面積 1,000 平方メートルにつき 1 箇所、各箇所間の距離 100 メートルを超えない範囲でボーリングを行い、各層の資料を採取して土の透水性、強さ等に関する物理的試験及び力学的試験による調査を行わなければならない。

ロ 河川の付近、旧河床等局部的に土質の変化が予測される箇所については、イに定める基準によりも密にボーリングを行わなければならない。

ハ イ、又はロによりボーリングを行った各地点の間は、必要に応じサウンディング等によって補足調査を行い、その間の変化を把握するように努めなければならない。

ニ イからハまでにかかわらず、岩盤については、別途必要な調査を行うものとする。

(2) 地下埋設物調査

地下埋設物調査は、工事現場及びその周辺の地下埋設物の位置、規格、構造及び老朽度について、関係諸機関から資料を収集し、必要に応じつぼ掘により確認して行うものとする。

(3) 地下水位調査

地下水位調査は、工事現場及びその周辺の井戸等について、次の調査を行うものとする。

イ 井戸の位置、深さ、構造、使用目的及び使用状況

ロ 河川、湖沼、海域等の公共用水域及び飲用のための貯水池並びに養魚施設（以下「公共用水域等」という。）の位置、深さ、形状、構造、利用目的及び利用状況

2-3 使用できる薬液

薬液注入工法に使用する薬液は、当分の間水ガラス系の薬液（主剤がけい酸ナトリウムである薬液をいう。以下同じ。）で劇物又は弗素化合物を含まないものに限るものとする。

第3章 設計及び施工

3-1 設計及び施工に関する基本的事項

薬液注入工法による工事の設計及び施工については、薬液注入箇所周辺の地下水及び公共用水域等において、別表-1 の水質基準が維持されるよう、当該地域の地盤の性質、地下水の状況及び公共用水域等の状況に応じ適切なものとしなければならない。

3-2 現場注入試験

薬液注入工事の施工にあたっては、あらかじめ、注入計画地盤又はこれと同等の地盤において設計どおりの薬液の注入が行われるか否かについて、調査を行うものとする。

3-3 注入にあたっての措置

- (1) 薬液の注入にあたっては、薬液が十分混合するように必要な措置を講じなければならない。
- (2) 薬液の注入作業中は注入圧力と注入量を常時監視し、異常な変化を生じた場合は、直ちに注入を中止し、その原因を調査して、適切な措置を講じなければならない。
- (3) 地下埋設物に近接して薬液の注入を行う場合においては、当該地下埋設物に沿って薬液が

流出する事態を防止するよう必要な措置を講じなければならない。

3-4 労働災害の発生の防止

薬液注入工事及び薬液注入箇所の掘削工事の施工にあたっては、労働安全衛生法その他の法令の定めるところに従い、安全教育の徹底、保護具の着用の励行、換気の徹底等労働災害の発生の防止に努めなければならない。

3-5 薬液の保管

薬液の保管は、薬液の流出、盗難等の事態が生じないように厳正に行わなければならない。

3-6 排水等の処理

- (1) 注入機器の洗浄水、薬液注入箇所からの漏水等の排水を公共用水域へ排出する場合においては、その水質は、別表-2の基準に適合するものでなければならない。
- (2) (1)の排水の排出に伴い排水施設に発生した泥土は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律その他の法令の定めるところに従い、適切に処分しなければならない。

3-7 残土及び残材の処分方法

- (1) 薬液を注入した地盤から発生する掘削残土の処分にあっては、地下水及び公共用水域等を汚染することのないよう必要な措置を講じなければならない。
- (2) 残材の処理にあたっては、人の健康被害が発生することのないよう措置しなければならない。

第4章 地下水等の水質の監視

4-1 地下水等の水質の監視

- (1) 事業主体は、薬液の注入による地下水及び公共用水域等の水質の汚濁を防止するため、薬液注入箇所周辺の地下水及び公共用水域等の水質の汚濁の状況を監視しなければならない。
- (2) 水質の監視は、4-2に掲げる地点で採水し、別表-1に掲げる検査項目について同表に掲げる検査方法により検査を行い、その測定値が同表に掲げる水質基準に適合しているか否かを判定することにより行うものとする。
- (3) (2)の検査は、公的機関又はこれと同等の能力及び信用を有する機関において行うものとする。

4-2 採水地点

採水地点は、次の各号に掲げるところにより選定するものとする。

- (1) 地下水については、薬液注入箇所及びその周辺の地域の地形及び地盤の状況、地下水の流向等に応じ、監視の目的を達成するため必要な箇所について選定するものとする。この場合において、注入箇所からおおむね10メートル以内に少なくとも数箇所の採水地点を設けなければならない。

なお、採水は、観測井を設けて行うものとし、状況に応じ既存の井戸を利用しても差し支えない。

- (2) 公共用水域等については、当該水域の状況に応じ、監視の目的を達成するため必要な箇所について選定するものとする。

4-3 採水回数

採水回数は、次の各号に定めるところによるものとする。

- (1) 工事着手前 1回
- (2) 工事中 毎日1回以上
- (3) 工事終了後

イ 2週間を経過するまで毎日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、調査回数を減じて監視の目的が十分に達成されると判断されるときは、週1回以上）

ロ 2週間経過後半年を経過するまでの間にあつては、月2回以上

4-4 監視の結果講ずべき措置

監視の結果、水質の測定値が別表-1に掲げる水質基準に適合していない場合又は、そのおそれのある場合には、直ちに工事を中止し、必要な措置をとらなければならない。

別表1 水質基準

薬液の種類		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	水質基準に関する省令（昭和41年厚生省令第11号。以下「厚生省令」という。）又は日本工業規格 K0102 の8に定める方法	pH 値 8.6 以下（工事直前の測定値が 8.6 を超えるときは、当該測定値以下）であること
	有機物を含むもの	水素イオン濃度	同上	同上
		過マンガン酸カリウム消費量	厚生省令に定める方法	10ppm 以下（工事直前の測定値が 10ppm を超えるときは、当該測定値以下）であること。

別表2 排水基準

薬液の種類		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	日本工業規格 K0102 の8に定める方法	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。
	有機物を含むもの	水素イオン濃度	同上	同上
		生物化学的酸素要求量又は化学的酸素要求量	日本工業規格 K0102 の16又は13に定める方法	排水基準を定める省令に定める一般基準に適合すること。