

2. 湧水低減対策としての本注入の実施可否

本注入の実施可否のこれまでの経緯について

【本注入について】

- ・トンネル掘削後の湧水低減の対策として、効果を確認していた唯一のポストグラウトの事例を参考にして、薬液注入の計画をしていました。
- ・参考事例としたトンネルにおいて、2018年3月に供用開始された後の2024年7月末に路面の隆起・土砂流入が発生しました。
- ・大湫町の現場では、湧水低減対策のうち、本注入の前段のカバーロックまで完了していますが、上記の参考事例を踏まえると、本注入により水位が回復した場合、トンネル外周部に均一でない水圧が作用し、将来的にトンネルが損傷するリスクがあることが判明しました。

トンネルの損傷により、湧水とともにトンネル内に土砂が流入し、トンネル上部の地表面の陥没の発生が懸念されます。また、開業後に運行の安全が損なわれる可能性があります。

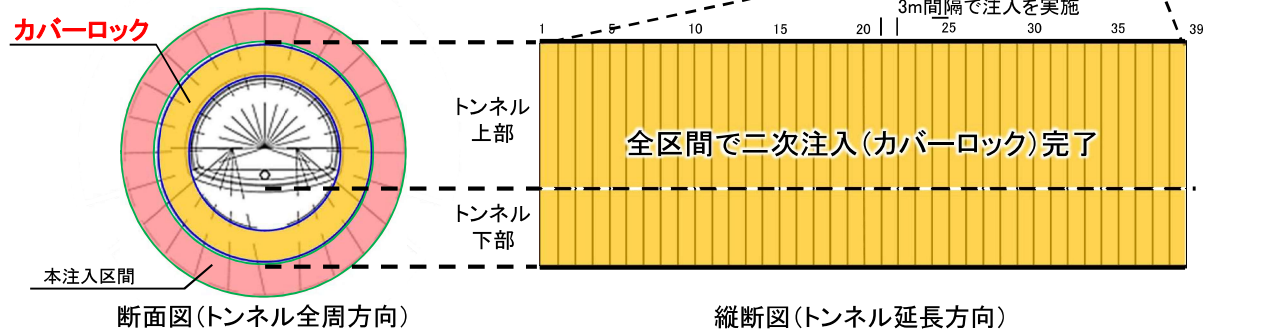
- ・以上のことから、本注入の可否については慎重に検討することとしました。

検討にあたっては、安全性の観点から、現地の地質状況など、各種調査から得られたデータも考慮のうえ解析を実施し、リスクの検証を行いました。

カバーロックの状況（施工実績）

2024年5月、トンネル湧水を低減することが地下水位の低下の抑制につながると考え、事例を参考に対策を計画しました。

- ・カバーロック注入は完了し、湧水の低減に一定の効果が見られました。
- ・本注入については、計画の見直しを含め検討することとしておりました。

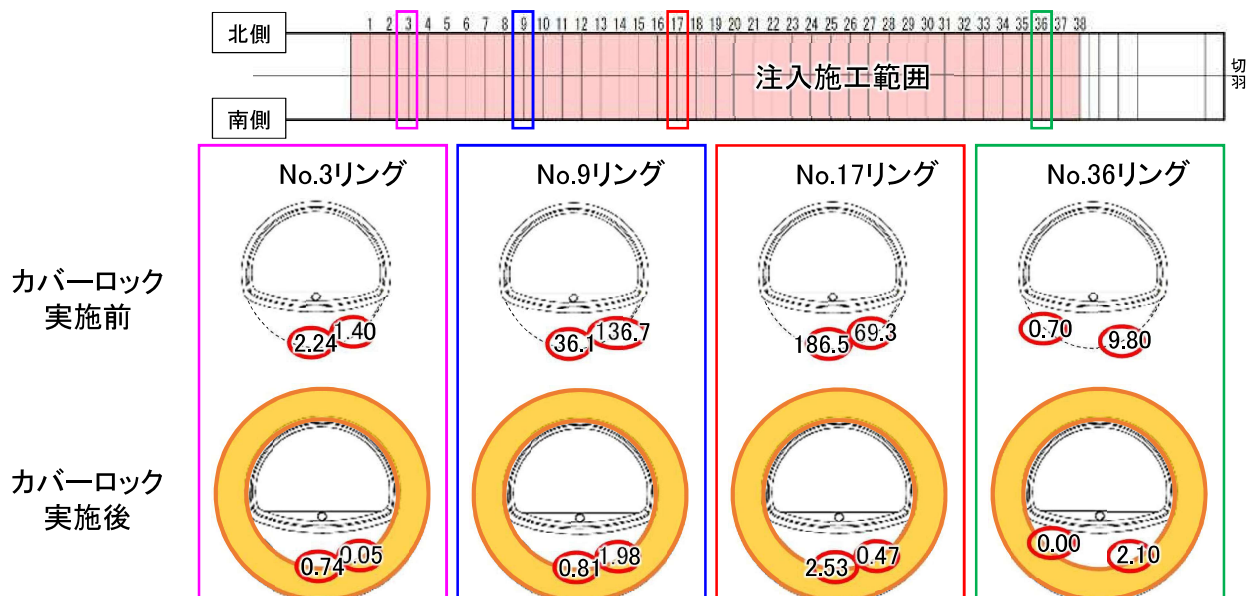


	カバーロック	本注入
施工概要	セメントに急硬材を混ぜ、ゲルタイム※を短くした注入材を注入し、外側へ本注入する際に、坑内へ注入材が流入するのを防止します。 湧水低減に一定の効果は見られますが、細かな岩盤の亀裂まで埋めるものではありません。	極めて粒子の細かいセメントを圧力をかけて注入することで、細かな岩盤の亀裂を埋めます。

※ 粘性が増加するまでの時間

カバーロックの状況（施工実績：カバーロック実施前後の透水係数）

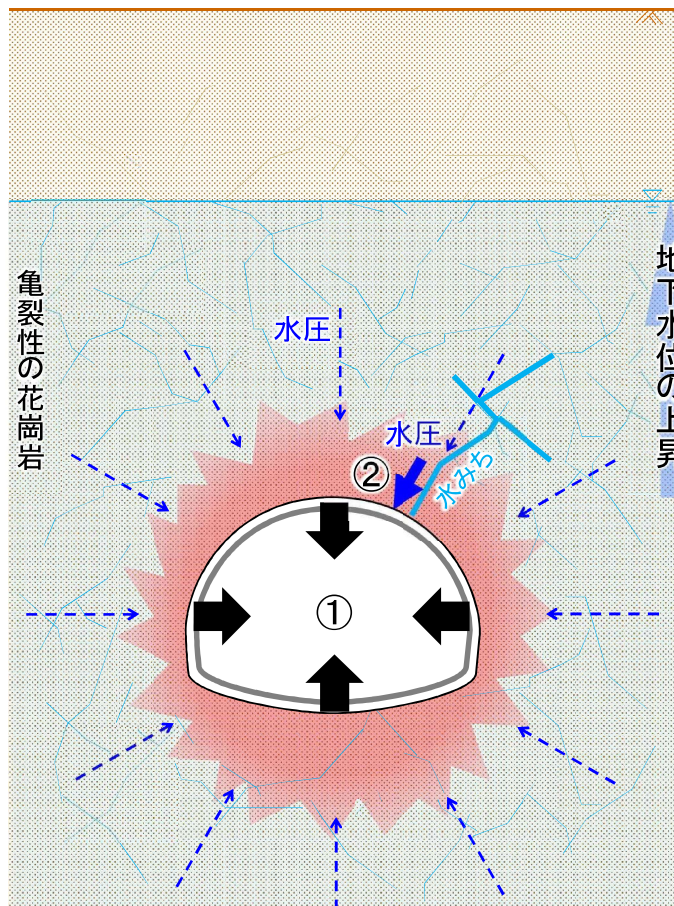
- ・カバーロック実施前後で水押し試験を実施した箇所の結果を比較しました。ルジオン値（水の通しやすさの指標）については、カバーロックにより、透水しにくい方向に改善されています。
- ・各断面（リング）ごとにルジオン値には差があります。また、同じ断面内においても場所によって差があり、地山が亀裂性の花崗岩であることから水の通しやすさにバラつきが発生しています。



断面図内の数値：ルジオン値

1ルジオン $\equiv$ 透水係数 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$

二次注入(本注入)によるリスク



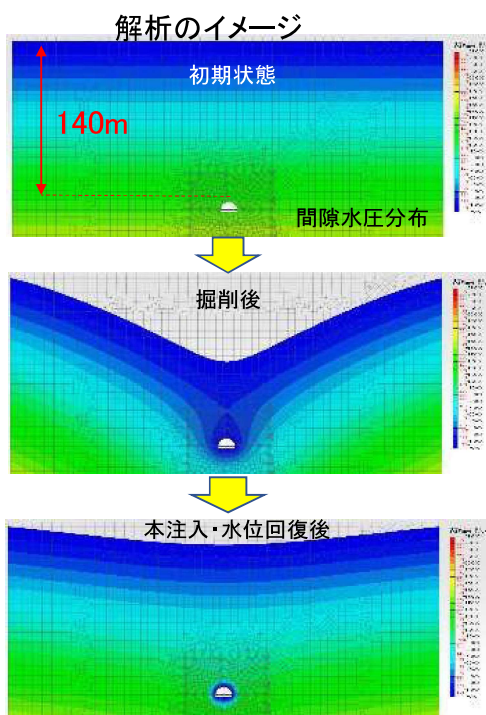
現地の岩の状況やカバーロックの実施結果を踏まえると、注入の入り方にバラつきが発生することとなり、

- ① 注入箇所外方の水圧上昇に伴い、構造物や周囲の地盤全体に不均一な圧力がかかり、坑内が変形することで、構造物及び地表面に影響を及ぼすリスク
- ② 残った水みちからトンネル外周の一部に高水圧湧水が集中することで、その構造物に水圧が作用し構造物ひいては地表面に影響を及ぼすリスク

上記により構造物及び地表面に影響を及ぼすことが考えられますが、地表面の陥没など避ける必要があります。

リスクの検証① 土水連成解析

- 掘削による地盤の挙動と、掘削・注入による水位変化と間隙水圧の挙動を一体的に解析し、結果を定量的に示す土水連成解析を行いました。



・解析の目的

注入による水位上昇に伴い、構造物が変形するなどのリスクの有無を確認するため

※ 水位回復によりこういった現象が起こり得るかを示すための解析であり、実際の水位回復量とは異なります

・解析水理条件

初期水位は土被り相当の140mとしました

設定した透水係数は下表のとおり

透水係数 (単位:m/s)

項目	数値	
地山	1×10^{-6}	
カバーロック	1×10^{-7}	トンネル周囲 0~3m
本注入	1×10^{-8}	トンネル周囲 0~6m

リスクの検証① 土水連成解析

地山物性値の設定方法

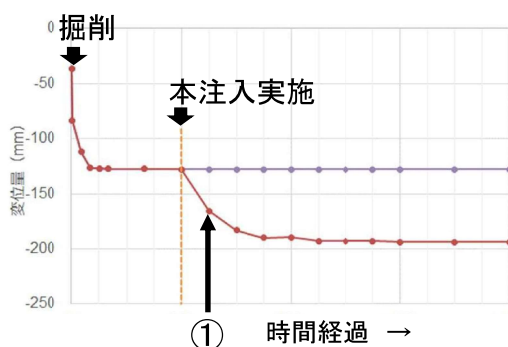
- ・当初計画時には注入箇所のトンネル変位を逆解析した地山物性値を算出し、山岳トンネル設計施工指針(鉄道・運輸機構)によるR5ランク相当と考えていました。
- ・参考事例において事象が発生したことから、地山物性値にはバラつきがあることや、設計上用いるには安全性を反映させる必要があるため、地山物性値を1ランク低いR4(右表)に設定し、解析に使用しました。

地山物性値	逆解析で設定		1ランク ダウン ➡	解析に使用	
	地山等級	R5 中硬岩: VN相当		R4 中硬岩: IVN相当	
	単位体積重量(kN/m ³)	23		21	
	初期変形係数(Mpa)	1,000		500	
	粘着力(Mpa)	1.0		0.5	
	内部摩擦角(°)	45		40	
	換算一軸圧縮強度(Mpa)	4.83		2.14	
	地山強度比h=150の場合	1.40		0.65	

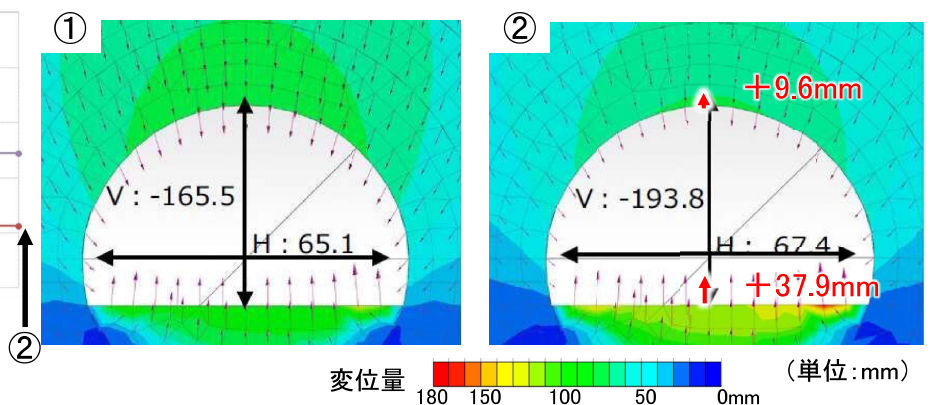
リスクの検証① 解析結果(変位)

- ・本注入では、実施後に変位の変動があり、支保及び構造物への影響が懸念されます。
- ・本注入実施後に構造物を構築すると、注入実施後の水位変動の影響を受け、トンネルが変形した場合、構造物(特に底盤部)に影響を及ぼします。
- ・トンネルの変形は、将来的に地表面に影響を及ぼすリスクとなり得ます。また、厳重な管理を必要とする軌道が変位するリスクとなり得ます。

鉛直相対変位量

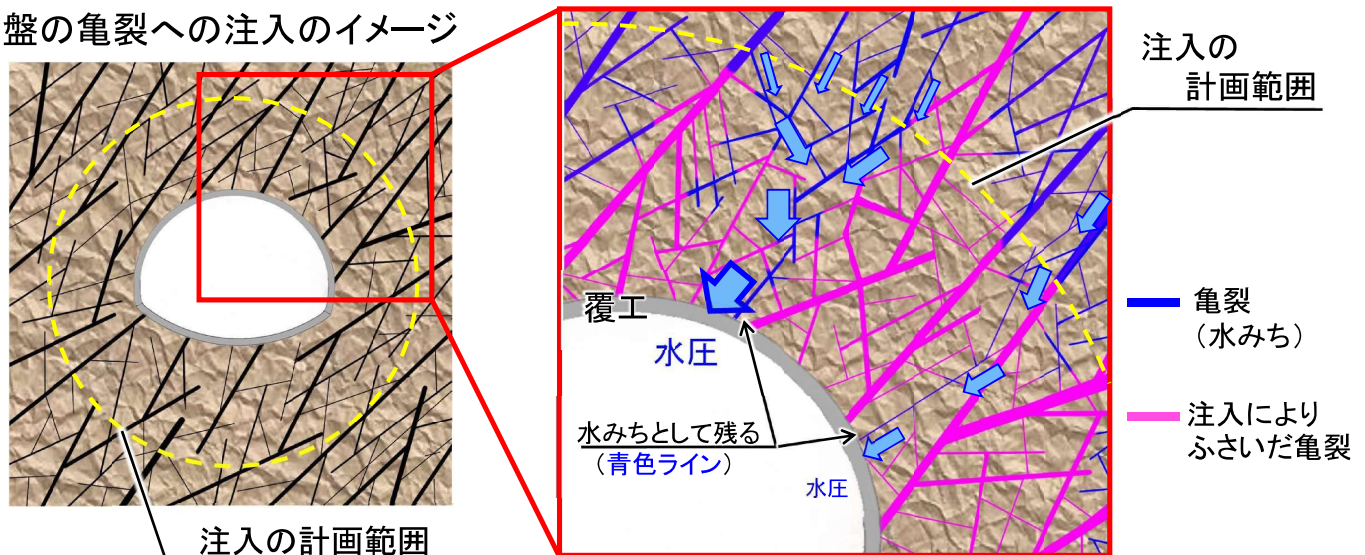


変位分布図



リスクの検証②

岩盤の亀裂への注入のイメージ



- ・ 現地の状況やカバーロックの結果を踏まえると、注入計画の区間は、亀裂性の花崗岩で、岩盤内には、様々な方向や長さ・幅の亀裂が存在するため、計画範囲を超えて注入材が浸透する箇所や計画範囲まで浸透しない箇所や入らないところがあると考えられます。
- ・ このように注入材の浸透範囲にバラつきが生じ、トンネル内への水みちが残り、ふさがきれなかった水みち(青色)に多量の水が集中(複数の青矢印)し、覆工等に水圧がかかることが考えられます。
- ・ 覆工に水圧が作用する場合のリスクの検討として構造解析を行った結果、覆工が鉄筋コンクリートの場合であっても、トンネルの壁面が変形したり、損傷することがわかりました。

リスクの検証②(水圧に対応するための覆工の補強の検討)

- ・ 局所的に作用する水圧に対する覆工の補強を検討をしました。
- ・ 覆工を補強する方法として、i コンクリート強度を上げることと、ii 鉄筋を入れることを想定し、それぞれ以下の場合を組み合わせる解析を行い、覆工が安全かどうか確認しました。
 - i : コンクリート強度 18N/mm²、21N/mm²、24N/mm²の3パターン
 - ii : 鉄筋の配置(2段) 無し、D16@250、D19@250、D22@250
- ・ トンネル上部のアーチ部と下部のインバート部それぞれで行いました。また、地下水位がトンネル左右で均等な場合と、異なる場合について行いました。

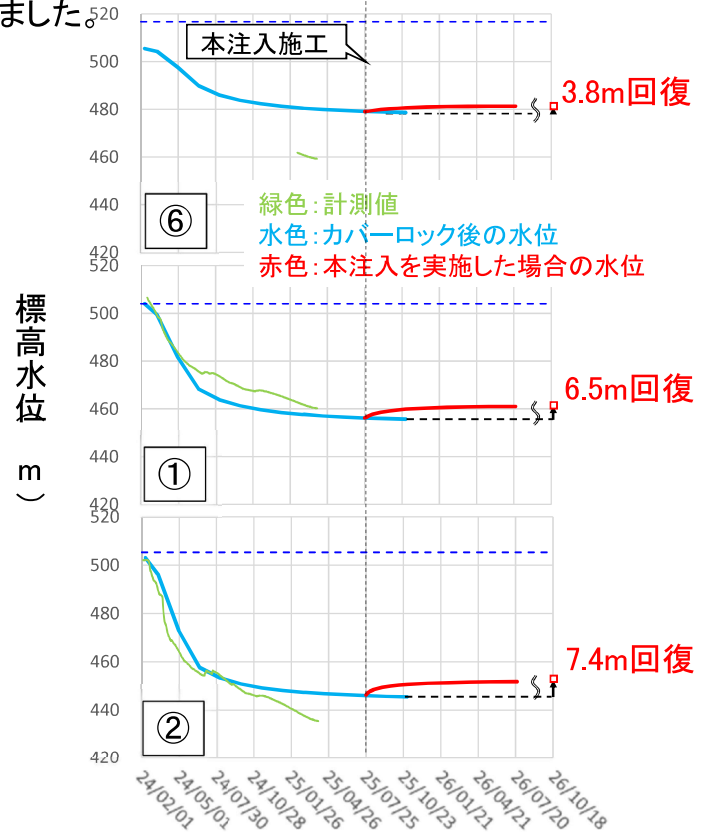
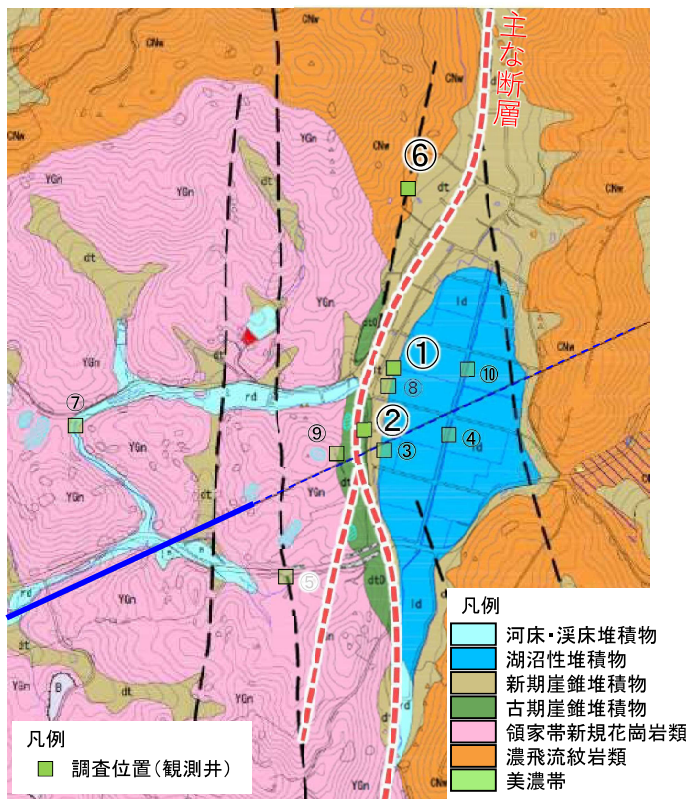
【解析結果】

- ・ 補強したとしても水位が数m回復する事で水圧により覆工が損傷してしまう結果となりました。
- ・ 水位の上昇により壁面に水圧が発生する事で構造物に影響を及ぼし、最終的に地表面低下を引き起こす可能性を払拭できませんでした。

	SLを0とした時の 水位(m)		コンクリート 強度	アーチ部 t300(mm)												インバート部 t450(mm)											
				fc18(N/mm2)				fc21(N/mm2)				fc24(N/mm2)				fc18(N/mm2)				fc21(N/mm2)				fc24(N/mm2)			
	トンネル 左側	トンネル 右側	鉄筋	なし	D16 @ 250	D19 @ 250	D22 @ 250	なし	D16 @ 250	D19 @ 250	D22 @ 250	なし	D16 @ 250	D19 @ 250	D22 @ 250	なし	D16 @ 250	D19 @ 250	D22 @ 250	なし	D16 @ 250	D19 @ 250	D22 @ 250	なし	D16 @ 250	D19 @ 250	D22 @ 250
均等	6	6		×	×	×	●	×	×	×	●	×	×	×	●	×	●	●	●	×	●	●	●	×	●	●	●
	9	9		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●	●	●	×	●	●	●	×	●	●	●
	12	12		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●	●	×	×	●	●	×	×	●	●
偏圧	0	8		×	●	●	●	×	●	●	●	×	●	●	●	×	●	●	●	×	●	●	●	×	●	●	●
	3	9		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●	●	●	×	●	●	●	×	●	●	●
	6	15		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●	●	×	×	●	●	×	×	●	●

本注入を実施した場合の効果

- ・ リスクの検証と合わせて、本注入を実施した場合の効果を、現在の状況下で求めました。
- ・ 結果、本注入をしたとしても、盆地内の地下水位は、定常的には3.8～7.4m程度回復するにとどまり、元の地下水位までの回復は望めないことが分かりました。



本注入リスクのまとめ

<リスク①>

- ・ トンネル周辺の水圧上昇に伴い、周囲の地盤に及び、坑内が変形し構造物と地表面に影響を及ぼすリスクがあります。

<リスク②>

- ・ カバーロック実施の結果「亀裂性の花崗岩では注入にバラつきがある」ため、構造物構築後の水位上昇により、トンネル外周の一部に高水圧湧水が集中することで、その構造物に水圧が作用し、構造物に影響を及ぼす恐れがあります。

以上リスク2点により、実施による大きなリスク(トンネル構造物の安全に支障をきたす可能性や地表面の陥没を引き起こす可能性)が想定されるため、本注入は取り止めさせていただきたいと考えております。

また、浸透流解析の結果、仮に計画通り本注入を行った場合でも、盆地内の地下水位が元の状態まで回復する可能性は極めて低い結果となりました。

トンネル湧水を低減する方策、地下水位を元に戻す方策は、見つかっておりません。よって、地域の皆様の生活に必要な水利用については、地域の皆様のご意見等をふまえながら、水資源を確保してまいります。

上記の判断については、客観的な立場からご評価をいただく観点も重要と考え、専門家にもご確認いただき、妥当であるとのご見解をいただいております。

3. 水資源確保の対応案

水資源確保への対応案

これまでの間、次の通り取り組んできました。

- 上水道の整備
→ 応急的な生活用水の確保
- 給水槽の増設、深井戸の設置に向けた準備
→ 神明・白山簡易水道組合の水源への代償措置
- 神田川の堰堤で土砂を取り除く浚渫作業
→ 農業用水の水量が不足した場合に備えた対策



増設した給水槽



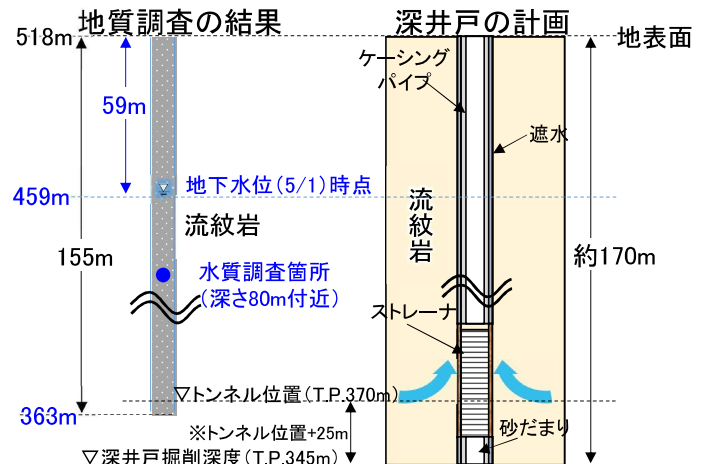
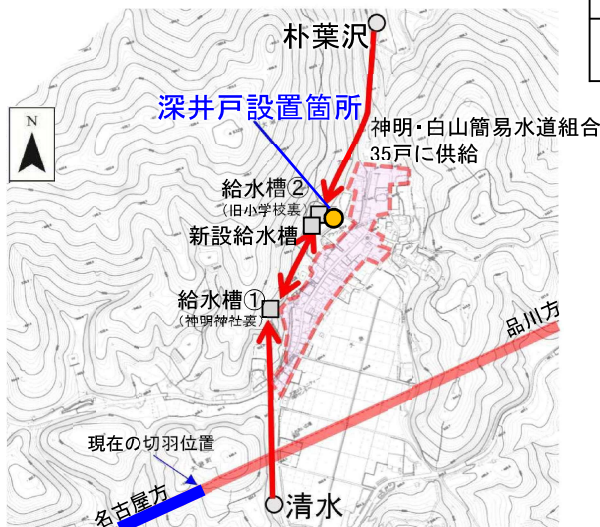
神田川堰堤付近浚渫後の状況(3/25)

深井戸の整備について

- ・ 環境の変化にも対応できるように、トンネル深さからさらに25m深い※約170mで整備します。
- ・ 水質調査の結果、飲料に使用できる見込みです。
- ・ 取水量は14L/minを計画しています。井戸設置後、揚水試験を実施し、周辺への影響等を調査します。（取水による周辺への影響範囲の試算結果は下表の通り）
- ・ 井戸整備後は、恒久的な井戸としてお使いいただけます。取扱方などについては、別途、地元の方と相談して決めてまいります。

掘削深さ170m、取水量14L/minとした場合の影響範囲

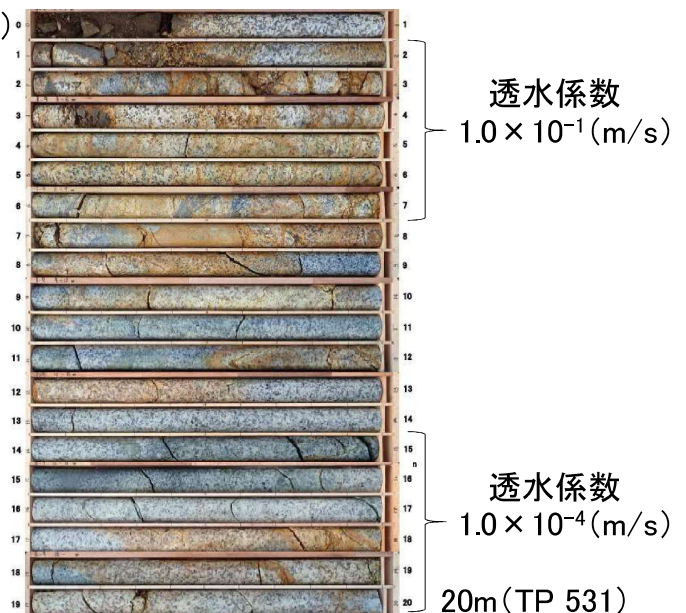
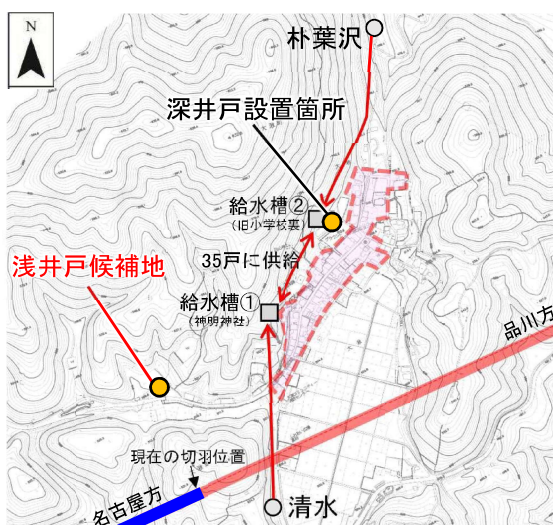
掘削深さ (m)	原地下水位 H(m)	透水系 k(m/s)	影響範囲 R(m)	備考
170	60	1×10^{-6} ※調査結果より	8.7	取水量14.0(L/min) 取水時の水位低下量1.44(m)



浅井戸の調査状況について

浅井戸候補地の近傍において、チェックボーリングを実施した。
調査結果は以下の通り。

0m (TP 511)



- ・ 掘削深さは20mで、深さ1.5mまでは未固結堆積物が続き、それ以降は花崗岩が続く。
- ・ 掘削完了後の孔内水位は深さ2m付近で、深さ2～7mと15～20mの2箇所で湧水圧試験を実施。
- ・ 深さ19m付近で採水を行ったが、濁度が大きいため、飲料用として不適と判断。

水資源確保への対応案

地域の水資源を確保するために、次の案を検討しました。

A案： キャンプ場跡地付近の水源を活用
(前回説明済)

B案： 立坑を掘り、坑内のトンネル湧水をポンプアップ
(前回説明済)

C案： 盆地西側～トンネル坑口の水みちに集水井を掘り、
地下水をポンプアップ
(今回新たに検討)

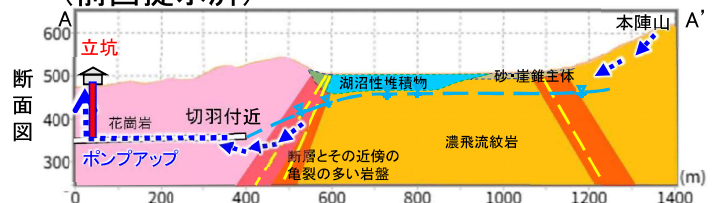
水資源確保への対応案

地域の水資源を確保する方法として、前回提示した2案(A案、B案)に加え、C案も含め、検討しました。

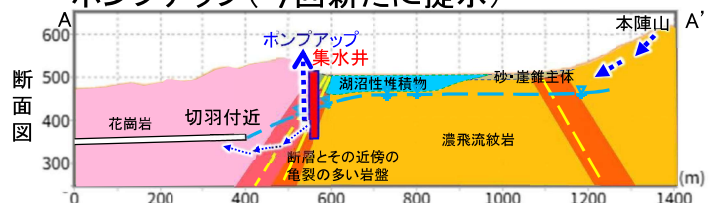
A案： キャンプ場跡地付近の水源を活用(前回提示済)



B案： 地上から立坑を掘り、トンネル湧水をポンプアップ
(前回提示済)



C案： 盆地西側の水みちに集水井を掘り、地下水を
ポンプアップ(今回新たに提示)



水資源確保への対応案の比較

水質・水量・提供までに要する期間の観点から、A～C案を比較評価しました。

○ A案: キャンプ場跡地付近の水源を活用(前回提示済)

- ・ 付近の水量について調査した結果によると、一定程度の水量が確保できる見込みです。
- ・ 従前、キャンプ場への水源として活用実績のある水源もあり、天然の水源として飲料用として活用できる見込みです。
- ・ 一部の水源からは自然流下で供給でき、整備工事が簡易なため、早期の整備が可能です。

○ B案: 立坑を掘り、坑内のトンネル湧水をポンプアップ(前回提示済)

- ・ 現在のトンネル湧水の状況によると、一定程度の水量が確保できる見込みです。
- ・ トンネル工事期間中は、飲料用として活用できない可能性があります。
- ・ B案は立坑の施工が必要となることから、A案と比較すると整備にかなりの期間を要します。

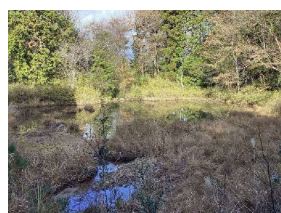
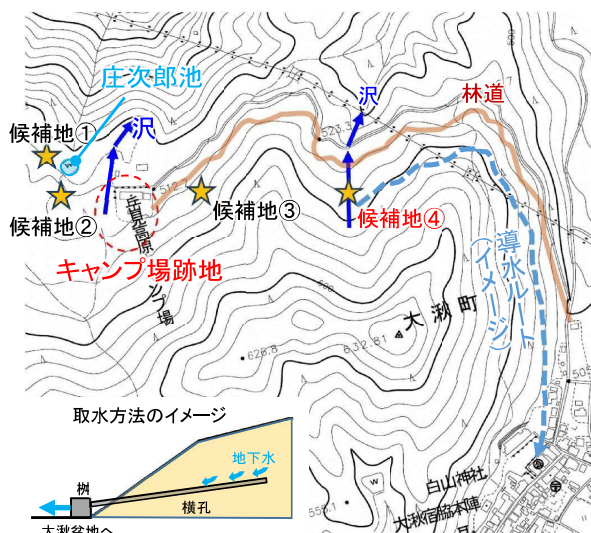
○ C案: 盆地からトンネルまでの水みちに集水井を掘り、地下水をポンプアップ(今回新たに提示)

- ・ トンネル内に流れ込む前の水みちを、的確に捉えきれない可能性があります。
- ・ 深井戸と同等の水質であると考えられ、飲料用として活用できると思われます。
- ・ C案は集水井の施工が必要となることから、A案と比較すると整備にかなりの期間を要します。

以上を踏まえ、A案を最有力な案とし、計画を深度化してまいります。

A案の検討状況

- ・ キャンプ場付近の水源候補地を4箇所選定し、各水源の水量・簡易水質を調査しました。
- ・ 候補地①、②は近傍の庄次郎池周辺に貴重な植物が存在すること、候補地③は冬季の流量が少ないことから、冬季も一定の流量(12.7リットル/min)が確認された候補地④を第一候補としました。
- ・ 複数本削孔した横孔から樹に集水することを考えており、取水量は10リットル/min程度を想定しています。なお、候補地④からは、高低差を利用した自然流下で大湫盆地まで導水できることを確認しています。なお、取水量が不足する場合は、付近の水源の活用も視野に入れていきます。
- ・ 必要な取水量や使用方法については、地下水位低下に伴う生活環境の変化等、皆様のご意見を伺いながら、安心してご生活いただけるようしっかり対応してまいります。



庄次郎池(候補地①、②付近)



候補地④付近

候補地	場所 (2/27に調査・採水)	気温 (°C)	流量 (L/min)	簡易水質						
				水温 (°C)	pH	EC (mS/m)	透視度 (cm)	濁度 (NTU)	DO (mg/L)	ORP (mV)
①	庄次郎池への流入	6.4	10.8	2.7	7.0	2.19	50	0.1	13.4	127
②	西方の池への流入	13.3	25.8	3.9	6.9	1.81	50	0.0	13.5	91
③	のり面からの湧水	7.0	1.2	4.0	6.9	2.13	50	2.3	13.7	95
④	キャンプ場東方の沢	7.4	12.7	2.7	6.9	2.01	50	1.0	14.0	161

今後のスケジュール

※ スケジュールについては、作業の進捗等により、今後変更の可能性があります

		5月	6月	7月	8月	9月以降
深井戸	資材搬入・準備工					
	掘削作業					
	各種試験 井戸設備設置					
A案	現地調査・水質調査					
	詳細検討・関係者調整 (取水量・配管ルート等)					
	施工					

- ・ 深井戸につきましては、準備ができ次第、掘削作業に入ります。各種試験や設備の設置を行い、秋頃を目途に整備してまいります。
- ・ A案につきましては、詳細な検討(環境に関する検討を含む)と関係者との調整を進め、9月以降に施工することを考えております。
- ・ 先にお示した深井戸については将来に亘り、水源として確保できる可能性が高いことから、A案と合わせて地域で必要な水量を確保してまいりたいと考えております。

6月3日に大湫町の皆様を対象とした説明会を開催し、

1. 発生原因と影響の予測について
2. 湧水低減対策としての本注入の実施可否
3. 水資源確保の対応案

について、説明いたしました。

- ・ 低下した地下水位を元に戻す方策は見つかっていないことから、地域の皆様の生活に必要な水利用にご不便を来すことのないよう、引き続きご意見を伺いながら、水資源の確保に取り組んでまいります。
- ・ また、当社工事が原因と考えられる家屋等の影響については、引き続き応急措置を行うとともに適切に補償を実施してまいります。

以上について、当社が責任を持って誠心誠意対応してまいります。