

# (1) 山岳トンネルにおける注入によるトンネル湧水低減対策の事例

トンネル名	施工時期	注入のタイミング	概要	結果
国道400号 下塩原第二 トンネル <sup>1)</sup>	2013	掘削完了後、 坑内より実施	水平ボーリング及び坑内の 路盤より湧水が発生  近接する温泉施設で湯量が 減少し、湧水発生箇所周辺 (幅3m×延長3.5m)にウレタ ン系による注入を実施	湧水量は合計で884L/min減少  温泉施設の湯量は現状維持、もしく は上昇
北薩横断道路 北薩トンネル <sup>2)</sup>	2015 ～ 2016	掘削完了後、 坑内より実施	環境基準値超のヒ素含有水 を低減させる目的でセメント 系によるトンネル断面全周 の注入(延長100m)を実施	区間湧水量は150t/h(2,500L/min) から40t/h(667L/min)へ減少  注入箇所周辺の地下水位は110m 上昇

- 1) 西村他、止水注入による減水対策で周辺地下水への影響を低減 -国道400号 下塩原第二トンネル-、トンネルと地下、日本トンネル技術協会誌、2015年4月、P7-13
- 2) 古田島他、北薩トンネルにおけるヒ素を含有するトンネル湧水の減水対策 -ダムグラウチング技術を適用した山岳トンネルの岩盤グラウチング-、地盤工学ジャーナル、Vol.12,No.4、P469-478

山岳トンネルにおける注入によるトンネル湧水低減対策の事例は少ないが、掘削完了後の坑内から注入を行い、効果が確認されている北薩トンネルの事例を参考にした。

## (2) 参考にした注入の施工事例(北薩トンネル)



図1 北薩横断道路計画図

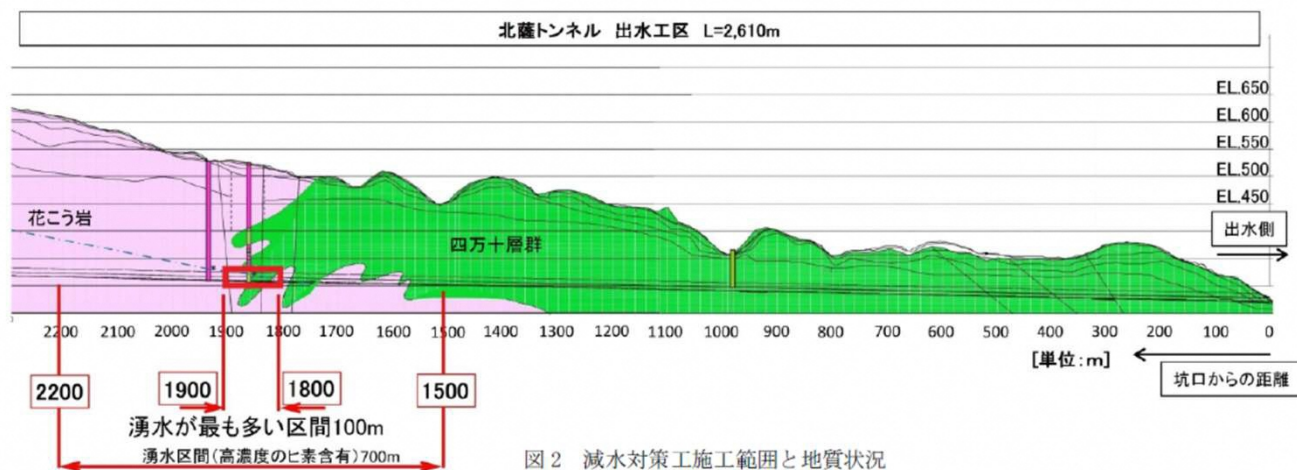
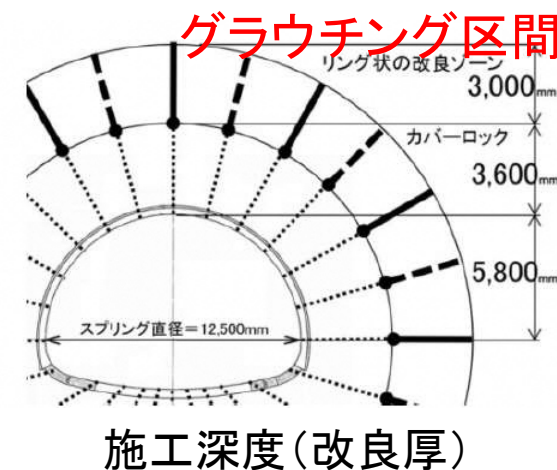


図2 減水対策工施工範囲と地質状況

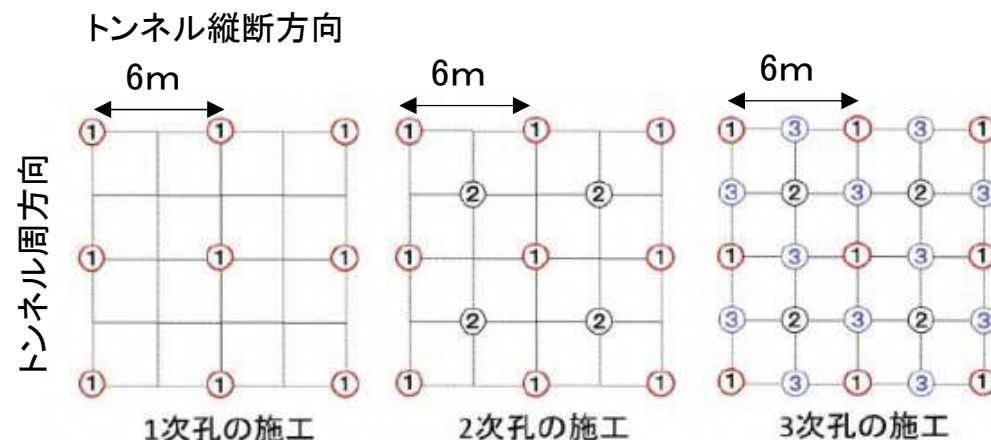
- ・ 北薩トンネルは、鹿児島県北薩地域と鹿児島空港を結ぶ北薩横断道路のうち、延長4,850mの山岳トンネル
- ・ 遮水性を改良しトンネル湧水の低減を目的として、ダム等で施工実績が多く信頼性の高いグラウチングをトンネル掘削完了後の坑内から実施
- ・ トンネル壁面からグラウチング区間まではカバーロックを実施し、その外側にグラウチングを実施することで、厚さ3.0mのリング状の改良ゾーンを形成する計画
- ・ 注入材料は従来のグラウチングの材料として使用されている高炉セメント(平均粒径 $10\mu\text{m}$ )や超微粒子セメント(平均粒径 $4\mu\text{m}$ )では、地山の目標改良値を達成出来ない可能性があり、極超微粒子セメント(平均粒径 $1.5\mu\text{m}$ )も使用
- ・ 試験施工により、施工手法や効果の確認方法を確立した上で施工を実施



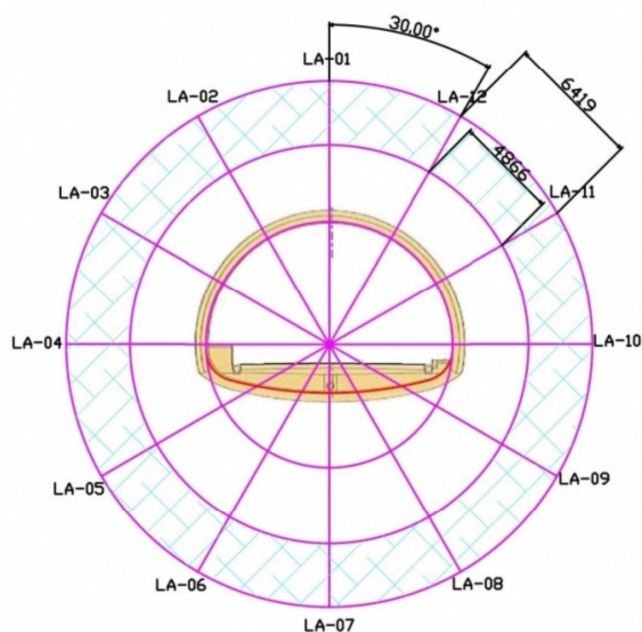
## (2) 参考にした注入の施工事例(北薩トンネル)

### 施工計画

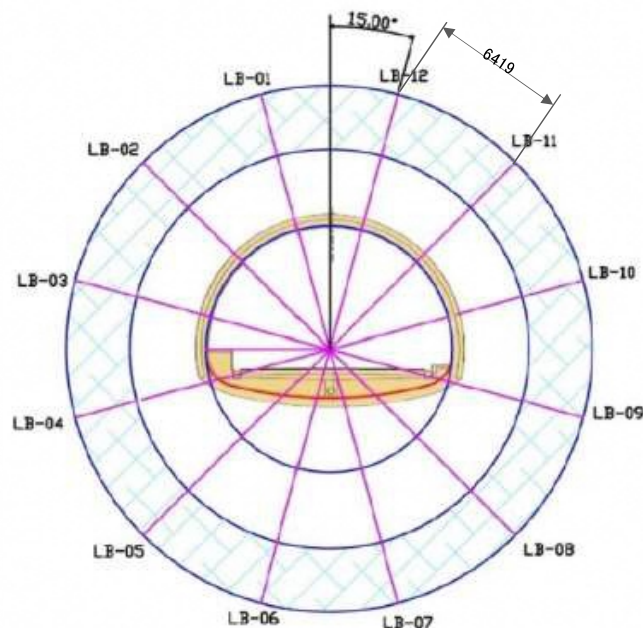
- グラウチングは1次孔から注入し、その内方を順次注入する中央内挿法を基本として施工
- 1次孔は6m四方で設定し、3次孔まで実施することで、3m四方で注入を行う
- 必要に応じて、4次孔を実施



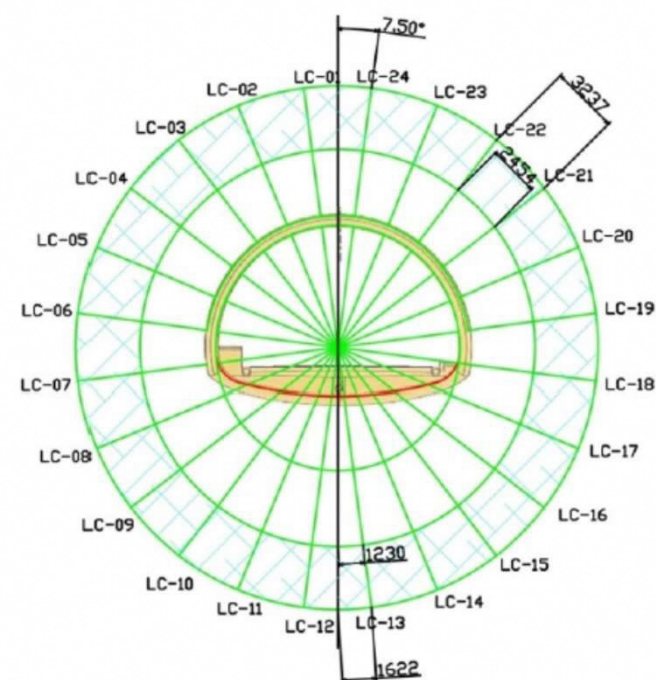
### 注入箇所



1次孔の断面配置



2次孔の断面配置



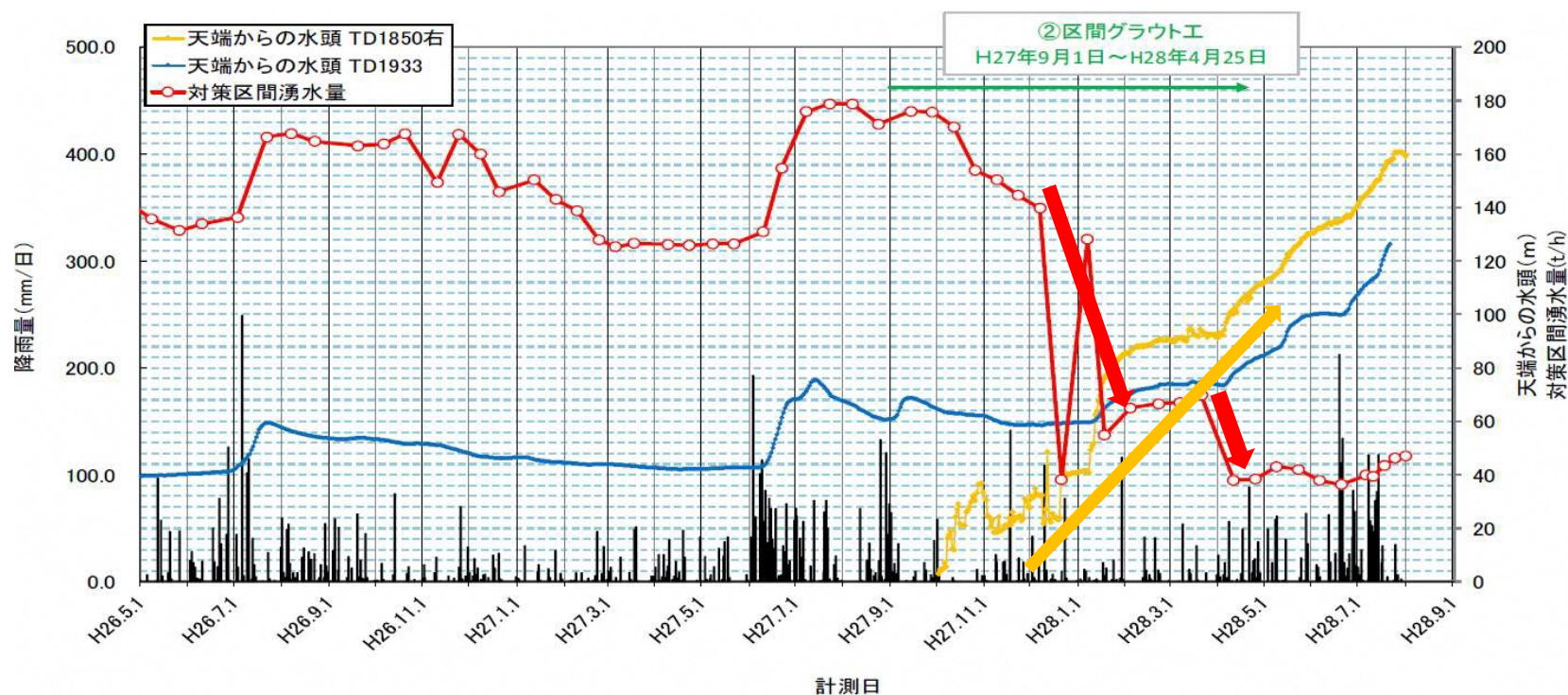
4次孔の断面配置



## (2) 参考にした注入の施工事例(北薩トンネル)

### 施工結果

- 3次孔が終了した平成28年1月中頃に急激に区間湧水量が減少  
(一部で行った4次孔が終了した4月初にも区間湧水量は減少)
- 施工を終了した4月末では、区間湧水量が約150t/h(42L/s)から約40t/h(11L/s)まで減少
- 地下水位は施工前と比較し、約110m上昇  
(その後、雨期の影響で更に上昇)

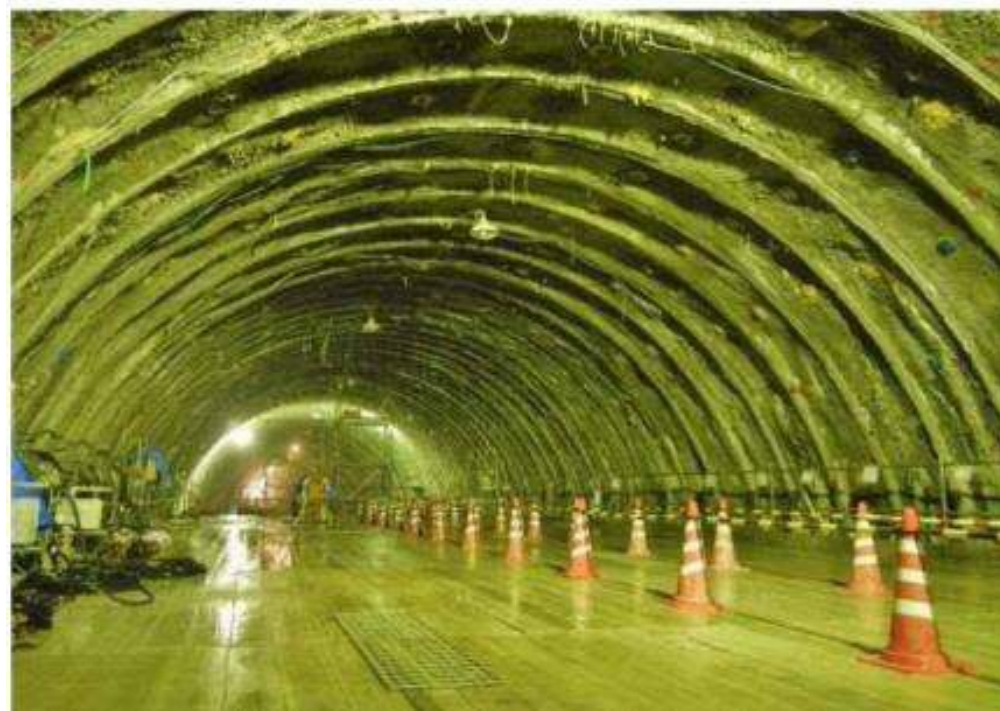


地下水位と区間湧水量の関係

## (2) 参考にした注入の施工事例(北薩トンネル)



施工前  
(作業時には雨合羽が必要であった)



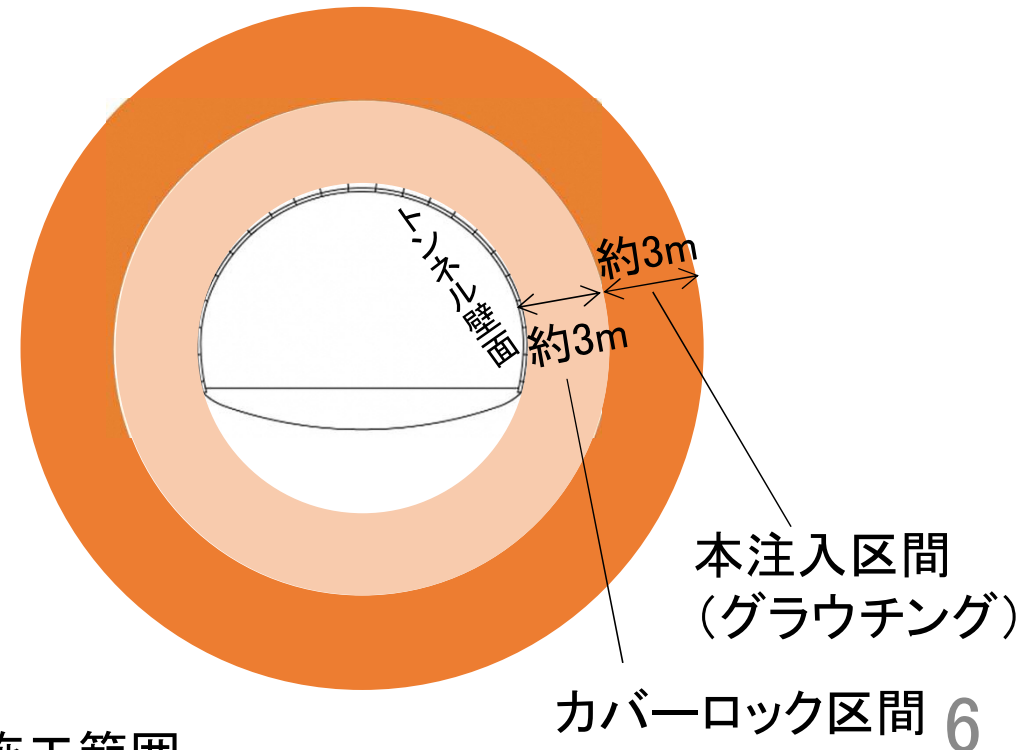
施工後  
(天端等からの湧水はほとんど見られない)

出典: 熊谷組HP  
([https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2017/pr\\_170125\\_1.html](https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2017/pr_170125_1.html))



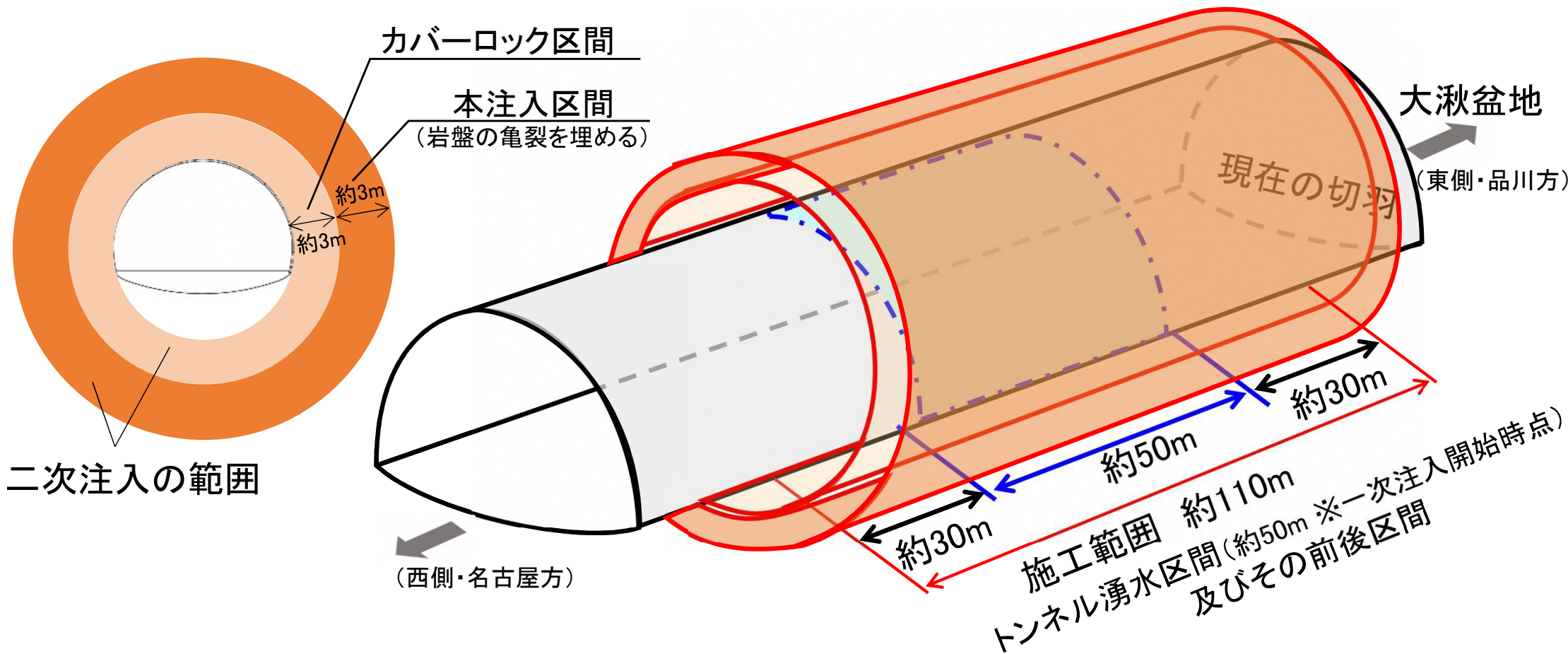
### (3) 本工事における二次注入の計画

- ・目的：トンネル湧水の低減
- ・範囲：トンネル湧水区間(一次注入開始時点)及びその前後区間(約110m)  
トンネル壁面から外周方向に約3m( )のカバーロック区間と、さらにその外側約3m( )の本注入区間
- ・概要：北薩トンネルと同様に、トンネル壁面から本注入区間まではカバーロックを実施し、その外側に岩盤の亀裂を埋めるための本注入(グラウチング)を実施することで、トンネル全周にリング状の改良ゾーンを形成  
本注入で使用する注入材(セメント系)の材料・成分は、一般的に使用されているセメントと同じ



二次注入の施工範囲

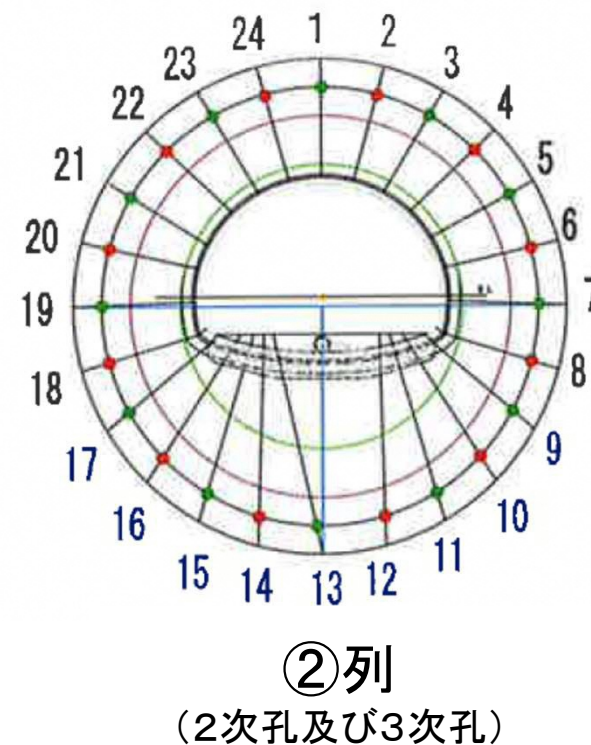
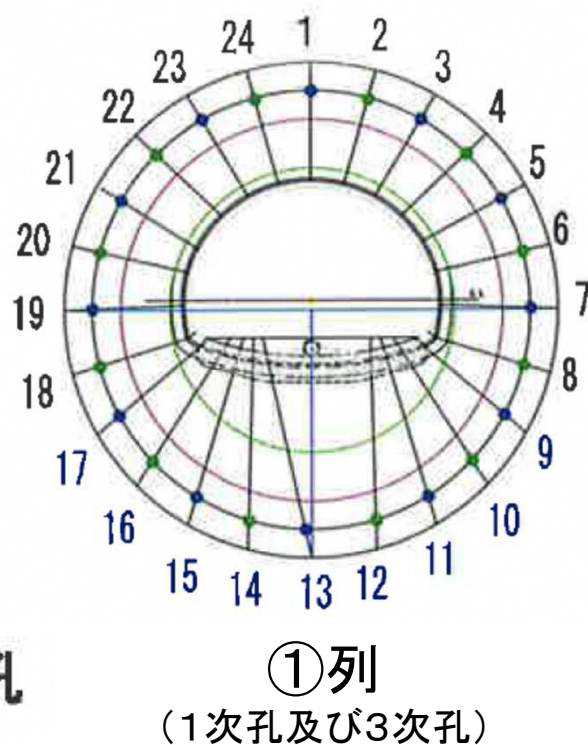
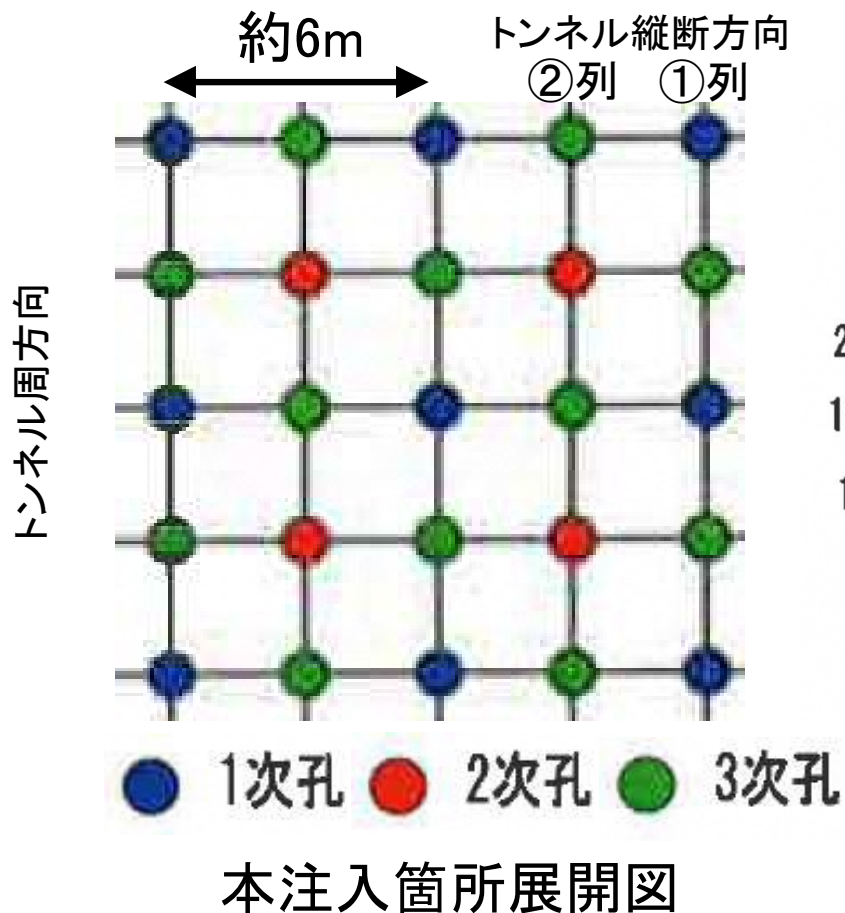
### (3) 本工事における二次注入の計画



	<p>■ : カバーロック</p>	<p>■ : 本注入</p>
<p>施工概要</p>	<p>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 外側へ本注入する際に、坑内への注入材の流入を防止する目的で実施</p>	<p>粒子の細かいセメント(極超微粒子セメントもしくは超微粒子セメント)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、湧水を低減する目的で実施</p>

※注入材が流動性を失い、粘性が急激に増加するまでの時間

### (3) 本工事における二次注入の計画



断面配置

- 本注入は外側から順次内側を注入する中央内挿法を基本として施工
- 約6m四方の1次孔の注入を実施する
- 1次孔⇒2次孔⇒3次孔の順で注入を実施する
- 各孔施工後、次の孔の注入前に、注入効果(湧水量)の確認を実施する



# (4) 二次注入(本注入)施工時の監視体制

監視体制を整備したうえで、細かな岩盤の亀裂を埋める本注入(試験施工を含む)を実施  
セメント系の材料を使用するため、pHを測定することで、注入材の影響の検知が可能

pH測定 (○:地下水、△:表流水)

- 《測定箇所のお考え方》
- ・共同水源の確認※1 : 山の神、北組(井戸)
  - ・観測井の確認※1 : 観測井2、観測井4
  - ・注入区間西側への影響の確認 : 個人井戸※2
  - ・周辺河川への影響の確認※1  
: 御湯川1・2、小牧沢川1・2+2箇所(追加)
- ※1 pH計測器を設置(自動計測)  
※2 井戸に蓋がされ計測器を設置できないので、採水し測定

巡回確認  
JR、JV職員による巡回確認  
(本注入実施日に1回)



異常時の対応 (pHの上昇を検知した場合)

- ・ただちに作業を中止
- ・地元、市及び県へ速報
- ・異常を検知した測定箇所において水質検査を実施

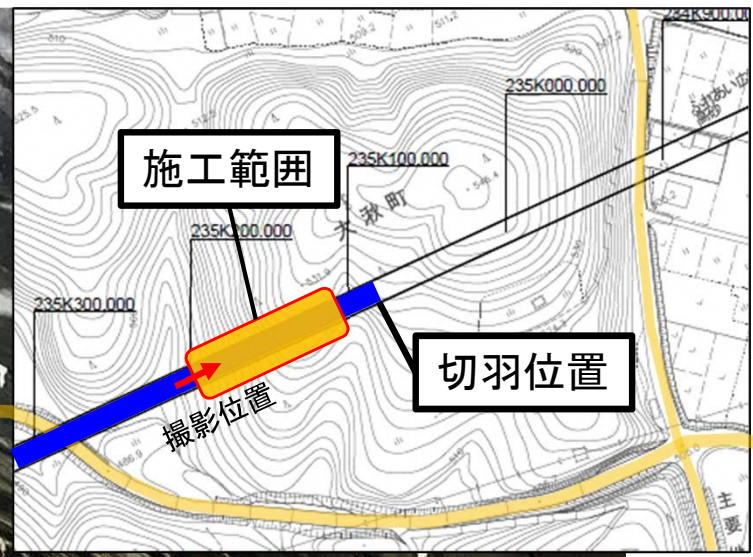
# (4) 二次注入(本注入)のスケジュール

	5月	6月	7月以降
一次注入	5/20から開始 ■■■■■	6/6完了	
二次注入		6/11から開始 ■■■■■	
カバールック			■■■■■
試験施工			■■■■ ※ 必要に応じて適宜実施 注入材料や注入圧力などの調整 カバールックの効果の検証
本注入			■■■■■
監視			■■■■■



# (参考) 一次注入の施工後の状況

## 一次注入施工箇所拡大



撮影日: 6/7



# 二次注入(カバーロック)の施工状況



注入準備作業



注入作業中の漏出確認



注入量と圧力値の確認



注入作業中における確認