

# 第3回 国道121号日光地区 防災検討会資料

宇都宮国道事務所

平成31年3月6日

# 目次

1. 第2回国道121号日光地区防災検討会の結果	1
2. 技術的課題の対応策検討	
2-1. 技術的課題(1)：近接施工による既設トンネルへの影響	
① 地質の状況	2
② 既設トンネルの状況	4
③ FEM解析結果	5
④ 対応方針(案)	6
⑤ 対応策(案)(補助工法・モニタリング)	7
2-2. 技術的課題(2)：湧水によるダム水位への影響及びトンネル施工への影響	
① 地下水の状況	10
② 2次元浸透流解析結果	11
③ 対応方針(案)	12
④ 対応策(案)(補助工法・モニタリング)	13
3. 技術的課題への対応策のまとめ	14

# **1. 第2回国道121号日光地区防災検討会の結果**

○ 新設トンネル計画地周辺の状況(既設トンネルとの位置関係、地質、地下水)を踏まえ整理した技術的課題(案)を宇都宮国道事務所が提示し、技術的な課題は以下のとおりとすることを確認した。

技術的課題(1)：近接施工による既設トンネルへの影響

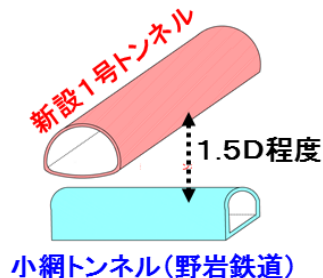
技術的課題(2)：湧水によるダム水位への影響及びトンネル施工への影響

○ 今後、宇都宮国道事務所において、過去の施工実績を踏まえ技術的課題への対応策検討を進めることとした。

## 技術的課題(1)：近接施工による既設トンネルへの影響

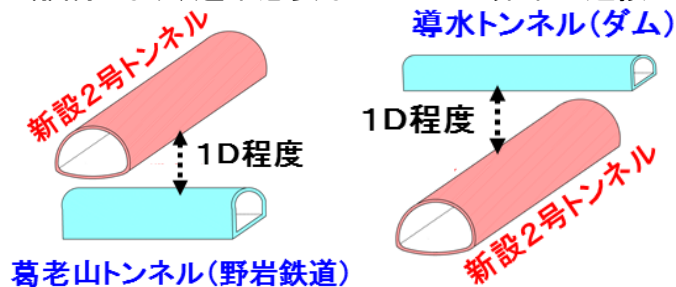
### 【新設1号トンネル】

- ・ 小網トンネル(野岩鉄道)と1.5D程度の離隔となり、通常必要な2Dに比べ非常に近接した交差となる



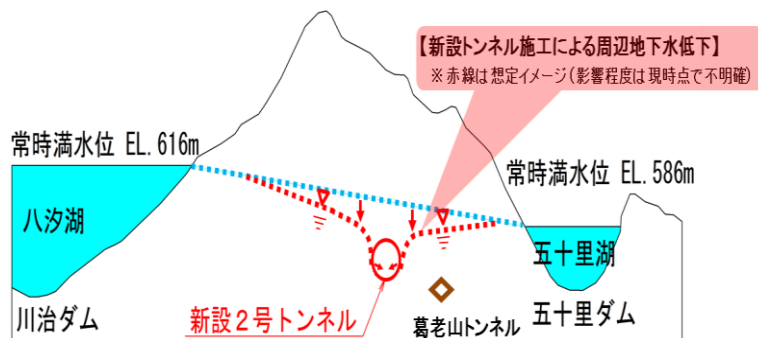
### 【新設2号トンネル】

- ・ 葛老山トンネル(野岩鉄道)と導水トンネル(ダム)と2つの既設トンネルと1D程度の離隔となり、通常必要な2Dに比べ非常に近接した交差となる



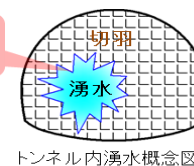
## 技術的課題(2)：湧水によるダム水位への影響及びトンネル施工への影響

### 新設2号トンネルによる地下水影響、ダム水位への影響懸念



### 新設2号トンネル施工時の湧水懸念

【新設トンネル施工時のトンネル内への湧水の発生】



【葛老山トンネルの施工実績『野岩線工事誌 S62.3 日本鉄道建設公団』より】  
野岩鉄道葛老山トンネル施工においては、新設2号トンネルとの交差位置より北側に離れた凝灰角礫岩の箇所では7.5m<sup>3</sup>/分を最高にかなりの湧水に遭遇した。

## 2. 技術的課題の対応策検討

### 2-1. 技術的課題(1)：近接施工による既設トンネルへの影響

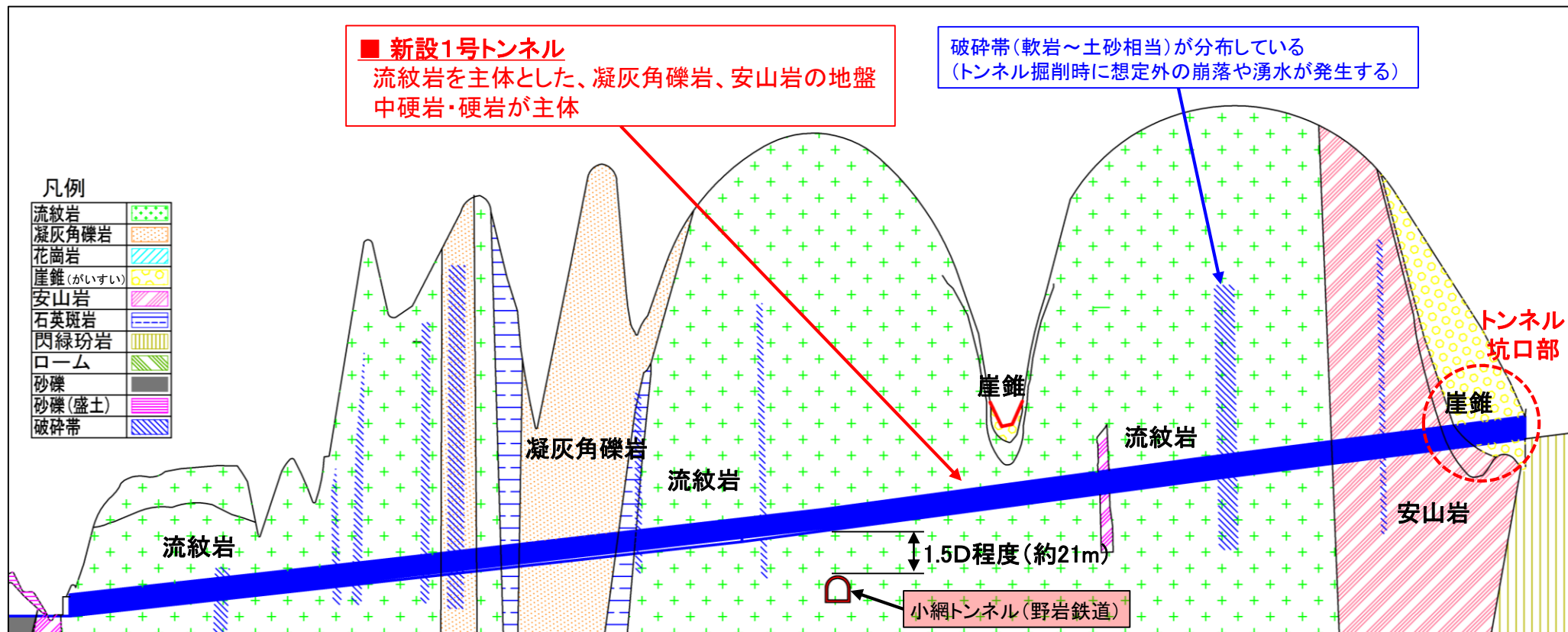
① 地質の状況	.....	2
② 既設トンネルの状況	.....	4
③ FEM解析結果	.....	5
④ 対応方針(案)	.....	6
⑤ 対応策(案) (補助工法、モニタリング)	.....	7

### ○ 新設1号トンネルと既設トンネルの交差位置の地山の状況

- 既設トンネルの施工時の地質状況記録から、新設1号トンネルのルート上は中硬岩・硬岩が主体の岩盤であると考えられるが、**破碎帯も不規則に分布しトンネル坑口部付近には未固結層(崖錐(がいすい))も存在**している。

### ◆ 新設1号トンネルの想定地質縦断面図

(野岩鉄道 小網トンネルの地山状況断面図(野岩線工事誌)より推定)

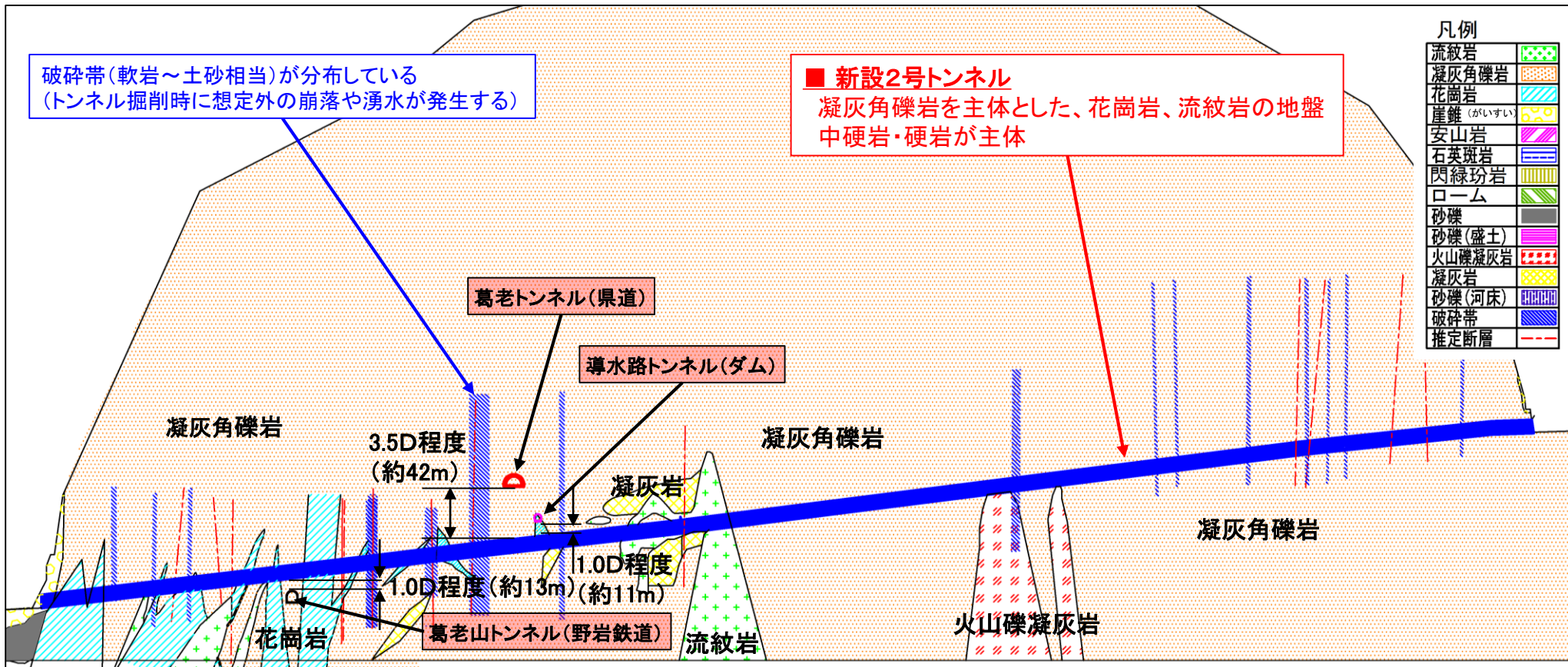


## ○ 新設2号トンネルと既設トンネルの交差位置の地山の状況

- ・ 既設トンネルの施工時の地質状況記録から、新設2号トンネルのルート上は、中硬岩・硬岩が主体の岩盤であると考えられるが、**破碎帯も不規則に分布**している。

## ◆ 新設2号トンネルの想定地質縦断面図

(野岩鉄道 葛老山トンネルの地山状況断面図(野岩線工事誌)より推定)



## ○ 既設トンネルの状況

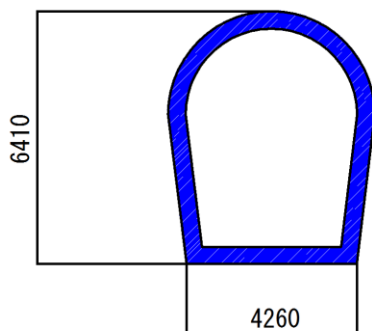
- ・ 新設トンネルが近接交差する鉄道トンネル及び導水トンネルの現地調査を実施(H30年12月調査実施)
- ・ トンネルの利用状況及び建設後の経過状況を考慮した検討を行う必要があることを確認

### ■ 鉄道トンネル

野岩鉄道(単線) 日運行本数:36本

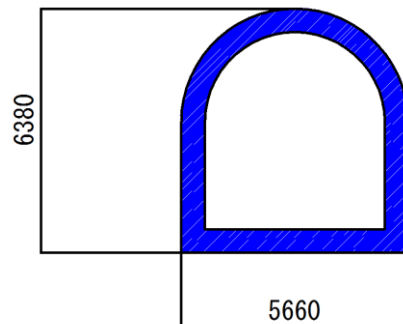
#### 小網トンネル

- ・ NATM
- ・ 昭和60年竣工  
(建設後34年経過)



#### 葛老山トンネル

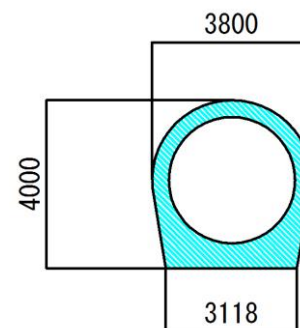
- ・ 在来工法(矢板)
- ・ 昭和57年竣工  
(建設後37年経過)



### ■ 導水トンネル

五十里ダム湖と川治ダム湖を結び水量調整を行っている圧送管

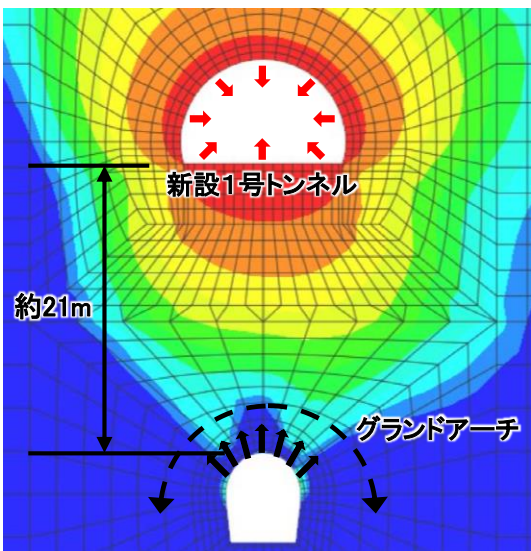
- ・ NATM
- ・ コンクリートトンネル  
+ コンクリート巻き立て鋼板トンネル
- ・ 平成17年竣工(建設後14年経過)





- FEM解析の目的：新設トンネル施工時における既設トンネルの構造への影響の度合いを確認し、既設トンネルの構造に影響を及ぼす可能性がある場合は、対策を検討
- FEM解析の条件：既設トンネルの施工時の地質状況記録に基づき設定

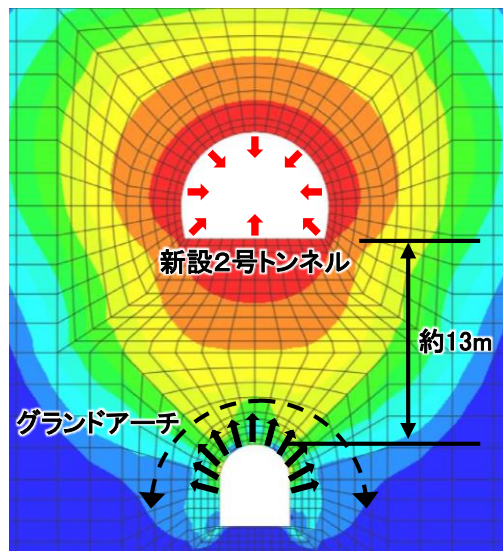
新設1号トンネルが既設トンネルに与える影響



小網トンネル(野岩鉄道)

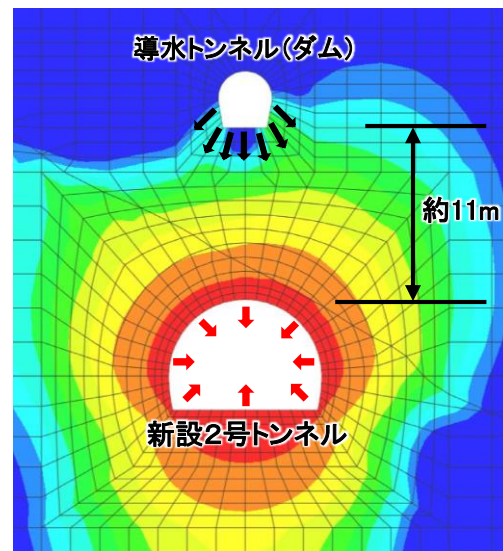
・地山が新設1号トンネル側に引張られることにより、グラウンドアーチ部に緩みが生じ、小網トンネルの天端部覆工に**応力変化が生じる(許容応力以下)**  
 ⇒ 将来的にトンネル構造に影響を及ぼす可能性があるため、**対策の検討が必要**

新設2号トンネルが既設トンネルに与える影響

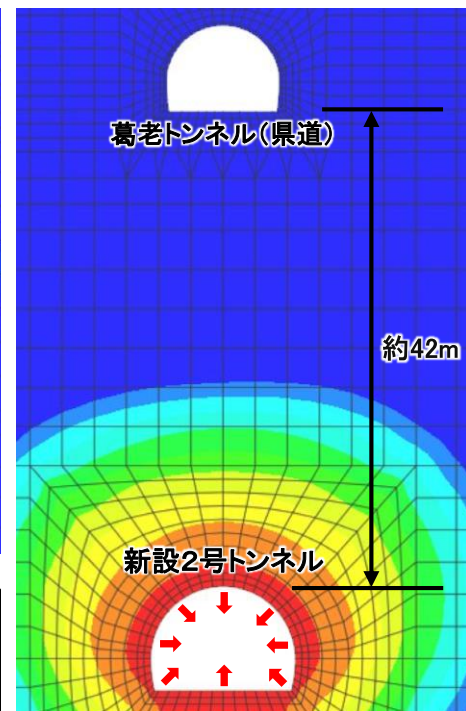


葛老山トンネル(野岩鉄道)

・地山が新設2号トンネル側に引張られることにより、グラウンドアーチ部に緩みが生じ、葛老山トンネルの天端部覆工に**応力変化が生じる(天端部が許容応力以上)**  
 ⇒ 施工時にトンネル構造に影響を及ぼす可能性があることから、**対策の検討が必要**



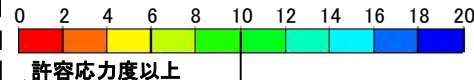
・地山が新設2号トンネル側に引張られることにより、導水トンネルの底版部覆工に**応力変化が生じる(許容応力以下)**  
 ⇒ 将来的にトンネル構造に影響を及ぼす可能性があるため、**対策の検討が必要**



・**既設トンネルへの影響は無いと考えられることから、対策は必要ない**と想定

※ 局所安全率 = 地山が破壊に至る応力状態 ÷ 新設トンネル掘削により地山に発生している応力状態 【局所安全率】

【既設トンネルの応力度】



	新設1号トンネル	新設2号トンネル
地質条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設トンネルとの交差位置は比較的硬質な岩盤</li> <li>トンネル区間には破砕帯、坑口部付近に未固結層も存在</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設トンネルとの交差位置は比較的硬質な岩盤</li> <li>トンネル区間には破砕帯が存在</li> </ul>
既設トンネルの状況	<p>&lt;小網トンネル(野岩鉄道)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>野岩鉄道が運行中</li> <li>竣工から34年が経過(竣工:昭和60年)</li> </ul>	<p>&lt;葛老山トンネル(野岩鉄道)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>野岩鉄道が運行中</li> <li>竣工から37年が経過(竣工:昭和57年)</li> </ul> <p>&lt;導水トンネル&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>圧力導水路(ダム湖間の水量調整に利用)</li> </ul>

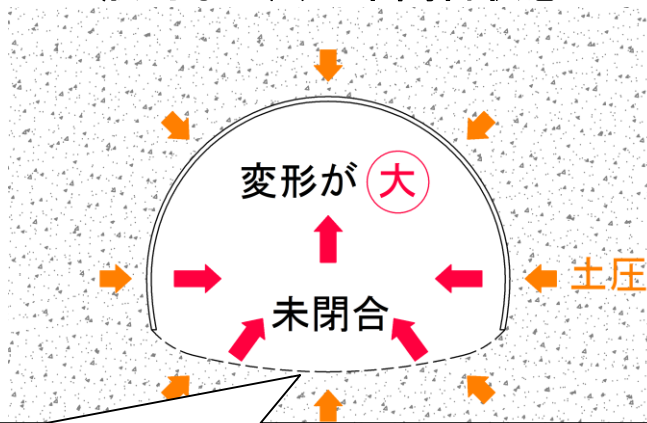
近接影響解析結果(FEM解析結果)	<p>&lt;小網トンネル(野岩鉄道)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘削時に地山応力が開放され、地山が新設1号トンネル側に引っ張られることにより、<b>応力変化が生じる(許容応力以下)</b></li> <li>⇒トンネル構造に影響を及ぼす可能性があることから、対策の検討が必要</li> </ul>	<p>&lt;葛老山トンネル(野岩鉄道)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘削時の地山応力が開放され、地山が新設2号トンネル側に引っ張られることにより、<b>応力変化が生じる(許容応力以上)</b></li> <li>⇒トンネル構造に影響を及ぼすことから、対策の検討が必要</li> </ul> <p>&lt;導水トンネル&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掘削時の地山応力が開放され、地山が新設2号トンネル側に引っ張られることにより、<b>応力変化が生じる(許容応力以下)</b></li> <li>⇒トンネル構造に影響を及ぼす可能性があることから、対策の検討が必要</li> </ul>
-------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

対応方針(案)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 掘削時のトンネル内側に向かう変形を抑え、地山の変位を抑制する<b>補助工法を検討</b></li> <li>○ 施工時の小網トンネルの構造及び軌道の変位及び地山の変位を確認する<b>モニタリング手法を検討</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 掘削時のトンネル内側に向かう変形を抑え、地山の変位を抑制する<b>補助工法を検討</b></li> <li>○ 施工時の葛老山トンネルの構造及び軌道、導水トンネルの構造の変位及び地山の変位を確認する<b>モニタリング手法を検討</b></li> </ul>
---------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

※ 現時点では概略検討のため、今後、詳細な地質調査結果を踏まえた検討を行うことが必要

## 掘削時のトンネル内側に向かう変形を抑える対策工法例

### 一般的な工法の未閉合状態



インバートを施工するまでの間に地盤変位・応力変化が生じる

### 早期閉合工法



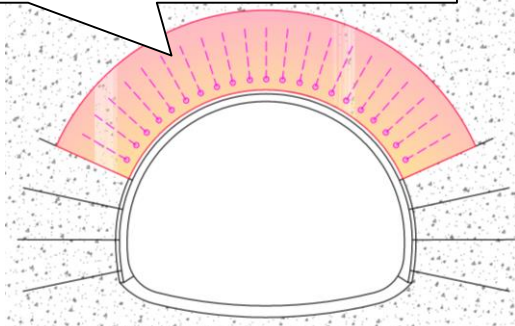
早期閉合時には、切羽天端安定のために長尺鋼管フォアパイリングなどの補助工法を併用する。

コンクリート吹きつけなどでインバート(一次)を同時に施工することで地盤変位・応力変化を防ぐ

## 地山の変位を抑制する補助工法例

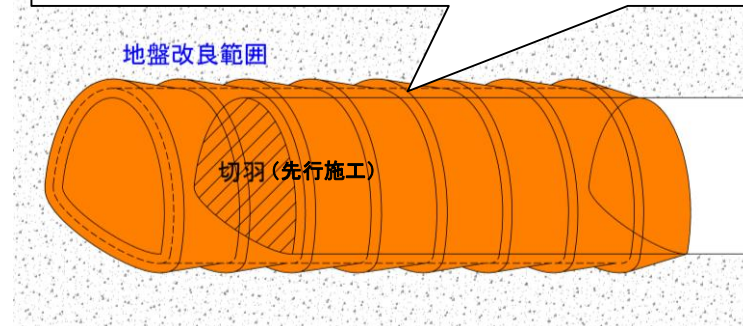
### 長尺鋼管フォアパイリング (鋼管径: 70mm~120mm程度)

トンネル掘削前に鋼管を前方に向けて挿入し地山を拘束する



### 地盤改良工法 (先行施工)

地盤改良材をトンネル断面全周に注入することで、周辺地盤の緩み、強度低下を回避する

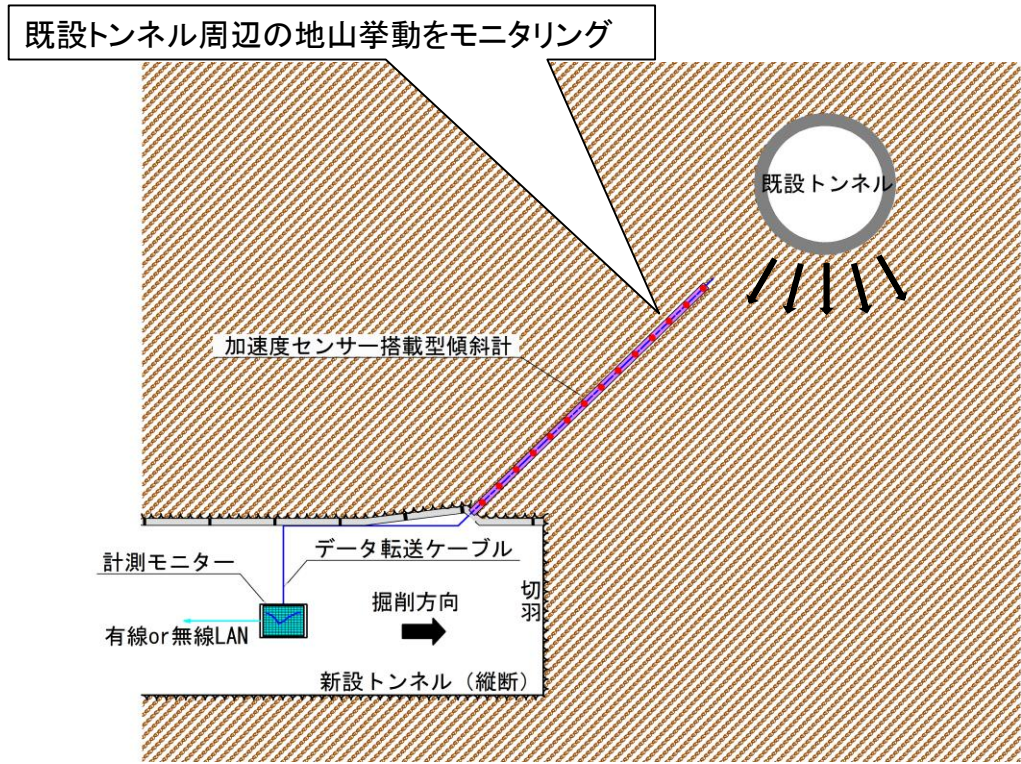


## 施工時に既設トンネルの構造及び軌道、圧送管の構造の変位を確認するモニタリング手法例

### 新設トンネルから地山の変位を計測するモニタリング手法例

#### 地山の先行変位計測

新設トンネル坑内から切羽前方約20mに向かって「加速度センサー搭載型傾斜計」を設置し、新設トンネル掘削により、前方地山が新設トンネル側に引張られる挙動のモニタリングを行う。

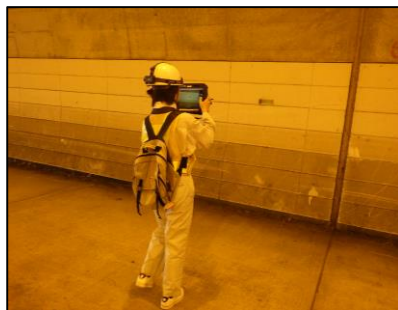


## 施工時に既設トンネルの構造及び軌道、圧送管の構造の変位を確認するモニタリング手法例

### 既設トンネルで計測するモニタリング手法例

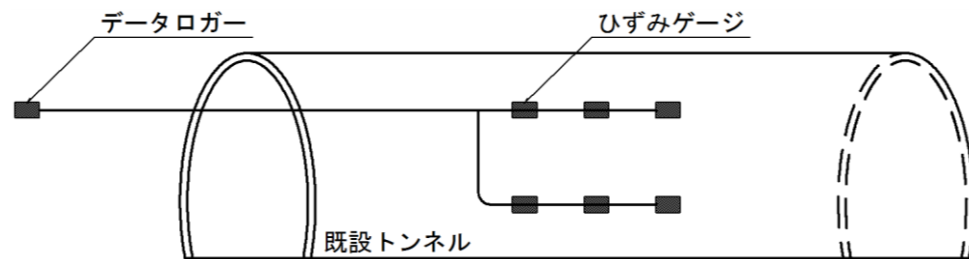
#### トンネル覆工目視調査及び打音検査

既設トンネルの覆工変状状況を「新設トンネル掘削前」、「新設トンネル掘削中」、「新設トンネル掘削後」の各段階で目視確認及び打音検査を実施し、新設トンネル掘削にともなう影響を確認する。



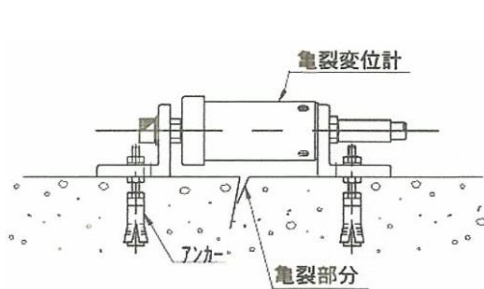
#### 覆工ひずみ計測

新設トンネル交差付近の既設トンネル覆工表面にひずみゲージを設置し、新設トンネル掘削によるひずみ発生状況を確認する。

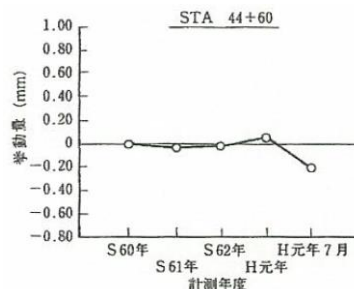


#### ひび割れ計測

新設トンネルとの交差付近に発生しているひび割れに「クラックゲージ」を設置し、「新設トンネル掘削前～掘削後」のひび割れ開口幅を計測することで、新設トンネル掘削にともなう影響を確認する。



ひび割れ計測器(イメージ)



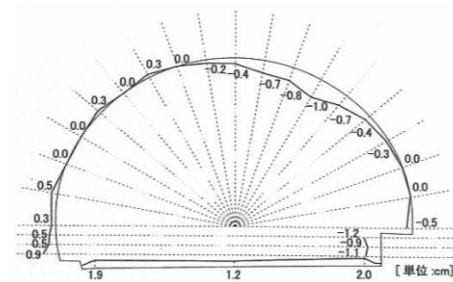
ひび割れ計測データ(イメージ)

#### 内空断面測定

新設トンネル交差付近において、「定置式レーザースキャナー」、「走行型レーザー計測機」等により既設トンネルの内空断面を計測し、新設トンネル掘削による既設トンネル変形モードを確認する。



定置式レーザースキャナー(イメージ)



断面測定結果(イメージ)

## 2. 技術的課題の対応策検討

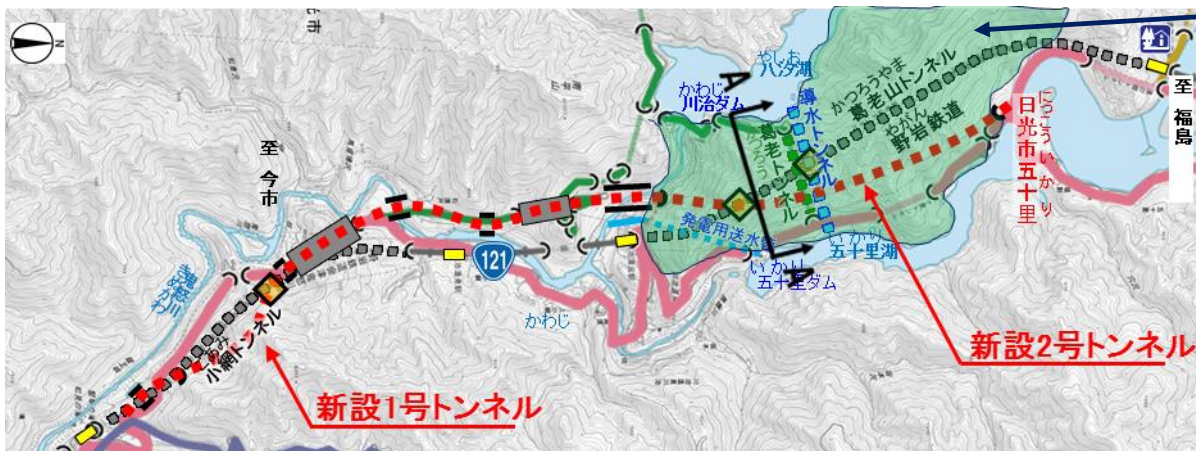
### 2-2. 技術的課題(2)：湧水によるダム水位への影響及びトンネル施工への影響

① 地下水の状況	10
② 2次元浸透流解析結果	11
③ 対応方針(案)	12
④ 対応策(案) (補助工法、モニタリング)	13

### ○ 新設トンネル計画高さ(想定)と地下水高さ(想定)の関係

- ・ 新設1号トンネルは、地下水高よりも高いことから、湧水等の懸念は少ない。
- ・ 新設2号トンネルは、**ダム湖水位よりも低い位置にあり、施工時に湧水の課題や周辺地下水の集水によるダム湖の水位低下を引き起こす可能性がある。**
- ・ 新設2号トンネルは、地質的にも**透水性が低い層と高い層が混在している**と考えられる。

### 新設トンネルの位置が地下水位以下となる範囲



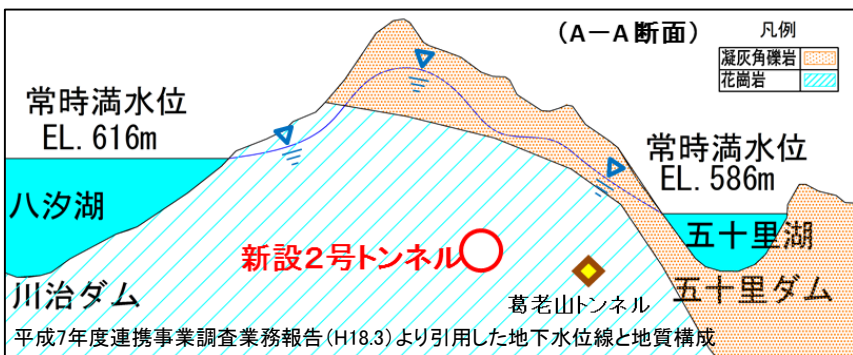
川治ダム湖と五十里ダム湖に囲まれた範囲は計画路線よりも地下水位が高い

### ◆ 既設トンネルの工事記録・現況から確認される湧水課題

- ・ 葛老山トンネル施工時に大量湧水記録 (7.5m<sup>3</sup>/分程度)
- ・ 葛老山トンネル施工時に川治ダムが湛水を開始した段階において大量の湧水あり
- ・ 現在、葛老山トンネル内に地山から入ってきている水をダム湖に戻している状況

### ◆ 過去の周辺地質調査資料から確認される地山状況

- ・ 凝灰角礫岩が分布する地域の透水性は高く、花崗岩が分布する地域の透水性は低い。
  - ・ 弾性波速度5.0km/sの岩盤(良質)は透水性低いが、3.7km/s層(風化岩)は亀裂が多い。
- ⇒ **透水性の高い地山が混在している状況**



※ 五十里ダム及び川治ダム常時満水位は、国交省関東地整HP「五十里ダムと川治ダムのネットワーク図」を引用(URL: <http://www.ktr.mlit.go.jp/kinudamu/kinudamu00019.html>)

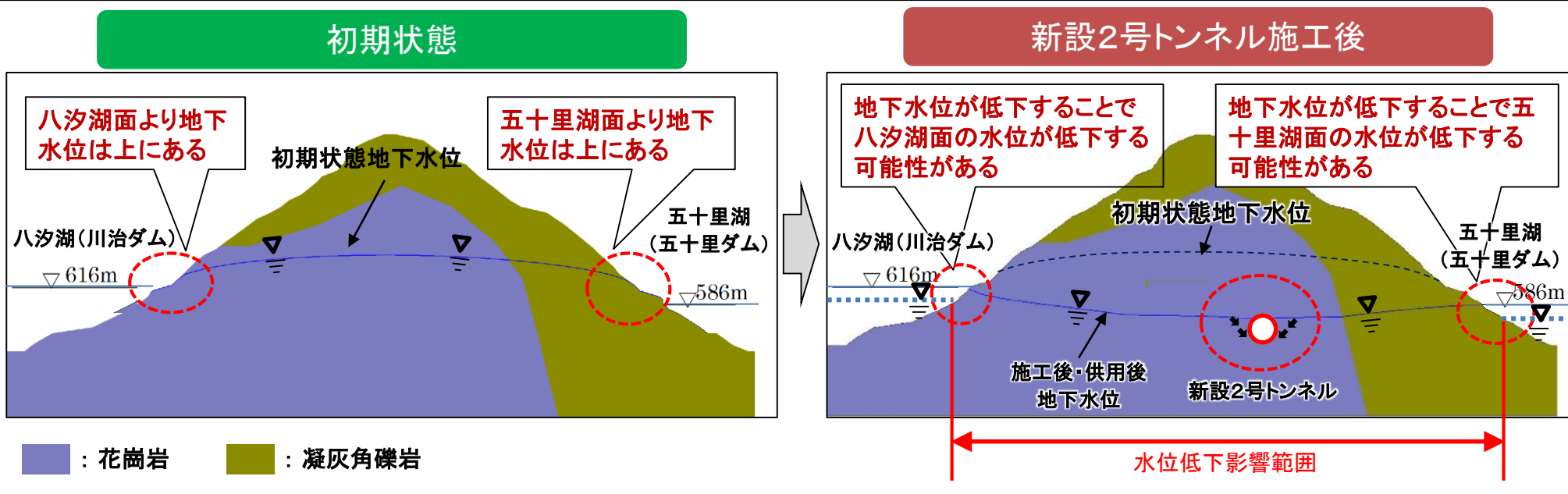
2次元浸透流解析の目的：新設2号トンネル施工による周辺地下水の集水によるダム湖水位への影響を確認し、ダム湖水位に影響する可能性がある場合は、対策を検討

2次元浸透流解析の条件：既設トンネル施工時の地質状況記録に基づき設定

### 2次元浸透流解析の結果

- ・新設2号トンネルの掘削により地下水がトンネル内に引込まれ、周辺の地下水位の低下が生じる。
  - ・ダム湖の水は雨水と周辺地山の地下水からも供給されており、ダム湖の水位が低下する可能性がある。
- ⇒ **ダム湖の水位が施工後に低下する可能性があることから対策の検討が必要**

### 新設2号トンネル施工による影響





## 地下水の状況

## 新設2号トンネル

- ・ 新設2号トンネルは、場合によっては地下水位がトンネル上方にある
- ・ 透水性の異なる層が存在しており、地下水が複雑な挙動を示す可能性がある
- ・ 葛老山トンネル施工時には大規模な湧水が発生した実績あり(最大7.5m<sup>3</sup>/分)

湧水によるダム水位への  
影響検討結果  
(2次元浸透流解析結果)

- ・ 新設2号トンネル周辺の地山に破砕帯が分布していることから、透水係数が高いと考えられるため、施工後に周辺地下水を集水し、ダム湖の水位が大幅に低下することが懸念されることから対策の検討が必要

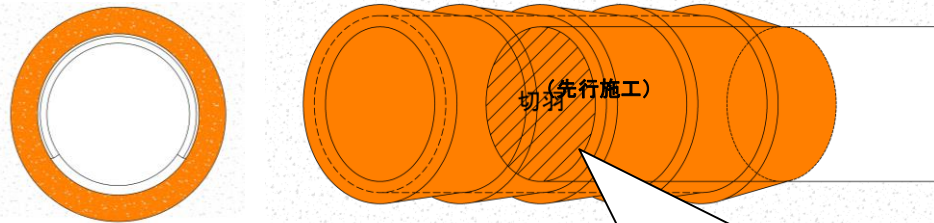
## 対応方針(案)

- 周辺地山の透水性を低減及び施工後に地下水を低下させない補助工法を検討
- 施工時におけるダム水位及び地下水位を確認するモニタリング手法を検討

周辺地山の透水性を低減及び施工後に地下水を低下させない補助工法例

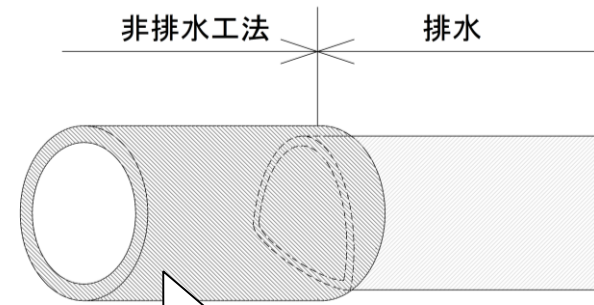
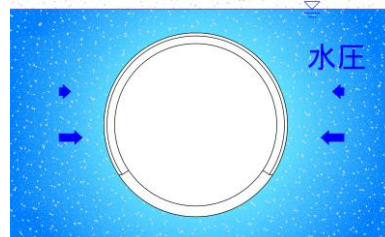
止水注入工法  
(先行施工)

地盤改良範囲



トンネル断面全周に止水注入することで、  
周辺地盤の透水係数を低減させる

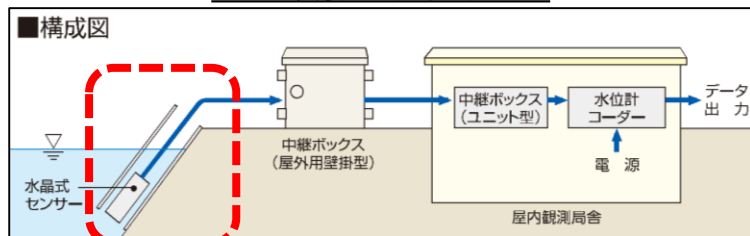
非排水工法



トンネルを防水構造とし、周辺地  
下水への影響を抑制する

施工時におけるダム水位及び地下水位を確認するモニタリング手法例

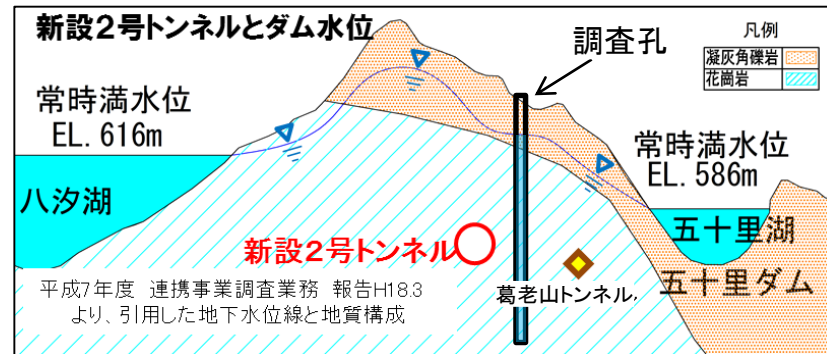
ダム湖面水位計測



水晶式センサーの設置例(イメージ)

調査ボーリング孔を用いた水位計測

・調査ボーリング孔を利用して、孔内水位を計測する。



### **3. 技術的課題への対応策のまとめ**

## ○ 技術的課題への対応策(案)として以下が想定される

### 技術的課題(1)：近接施工による既設トンネルへの影響

- ・ 掘削時のトンネル内側に向かう変形を抑える対策工法  
⇒ 早期閉合工法(長尺鋼管フォアパイリングなどの補助工法を併用)
- ・ 地山の変位を抑制する補助工法 ⇒ 長尺鋼管フォアパイリング、地盤改良工法
- ・ 施工時の既設トンネルの構造及び軌道の変位を確認するモニタリング手法  
新設トンネル ⇒ 先行変位計測  
既設トンネル ⇒ トンネル覆工目視調査及び打音検査、覆工ひずみ計測、ひび割れ計測、内空断面測定

### 技術的課題(2)：湧水によるダム水位への影響及びトンネル施工への影響

- ・ 周辺地山の透水性を低減及び施工後に地下水を低下させない補助工法 ⇒ 止水注入工法、非排水工法
- ・ 施工時におけるダム水位及び地下水位を確認するモニタリング手法  
⇒ ダム湖面水位計測調査ボーリング孔を用いた水位計測

○ 今後、現地での地質調査結果を踏まえ、詳細な補助工法及びモニタリング手法の検討を行うことが必要であり、補助工法や施工管理において、高度な技術を活用することにより事業実施が可能となる。

○ 新設2号トンネルと交差する葛老山トンネル(野岩鉄道)において、現時点で得られている地山の情報でのFEM解析結果によると、掘削にともない許容応力以上の応力変化が生じる恐れのある結果が得られたことから、葛老山トンネル(野岩鉄道)に影響を及ぼさないようにより慎重な補助工法の施工及びモニタリングが必要であり、より施工期間も要するものと想定される。