

## 第34回研究報告会

# 廃棄物処分坑道の掘削影響による岩盤損傷と 水理特性への影響について

令和5年3月27日

原子力規制委員会原子力規制庁  
長官官房技術基盤グループ  
放射線・廃棄物研究部門  
廣田 明成



# 目次

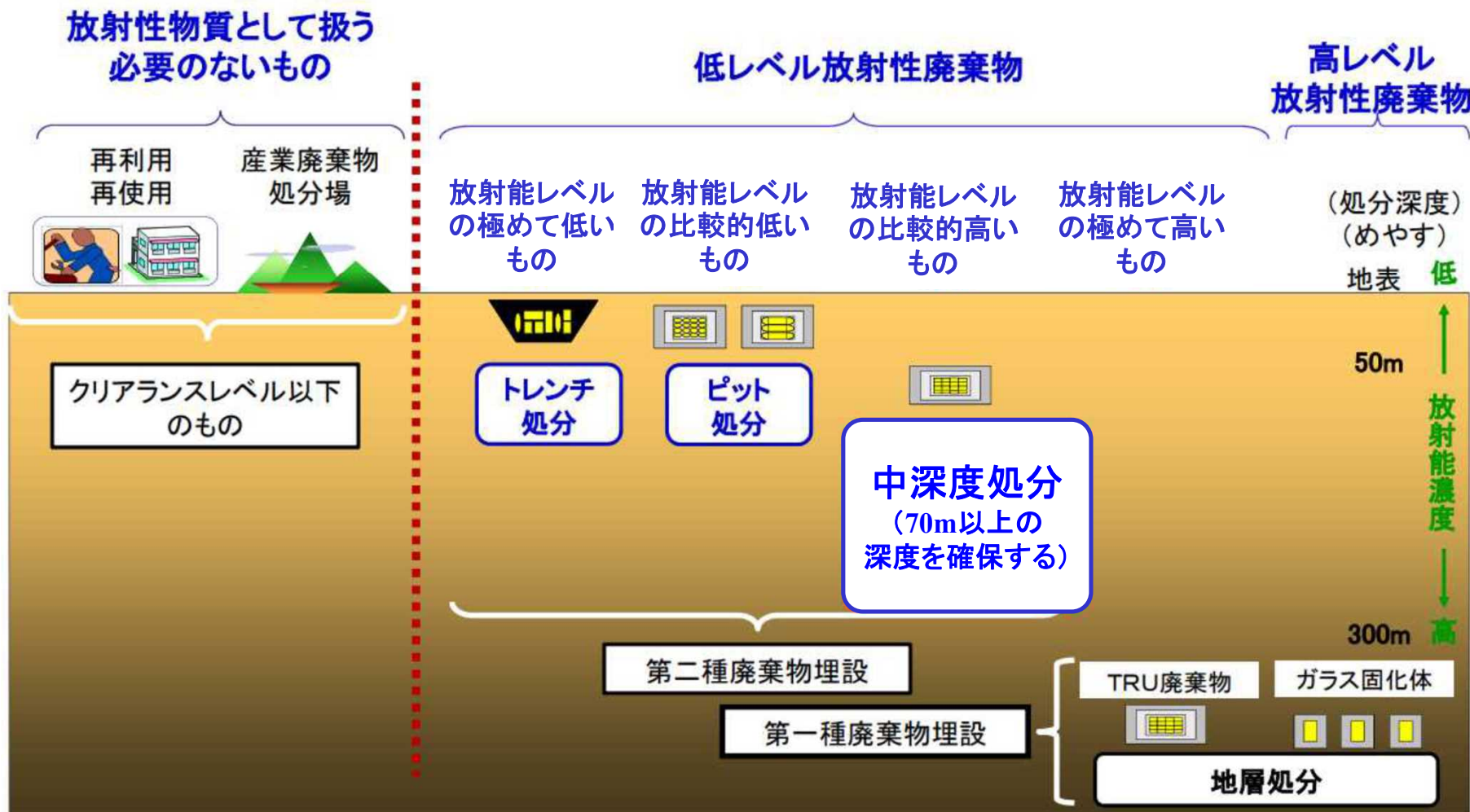
---

---

- I 背景
- II 目的及び研究概要
- III 調査地点
- IV 調査手法
- V 原位置試験
  - ① 弾性波探査試験
  - ② 比抵抗探査試験
  - ③ ボーリング孔観察(BTV試験)
  - ④ 透水試験
- VI 考察とまとめ
- VII 今後の課題



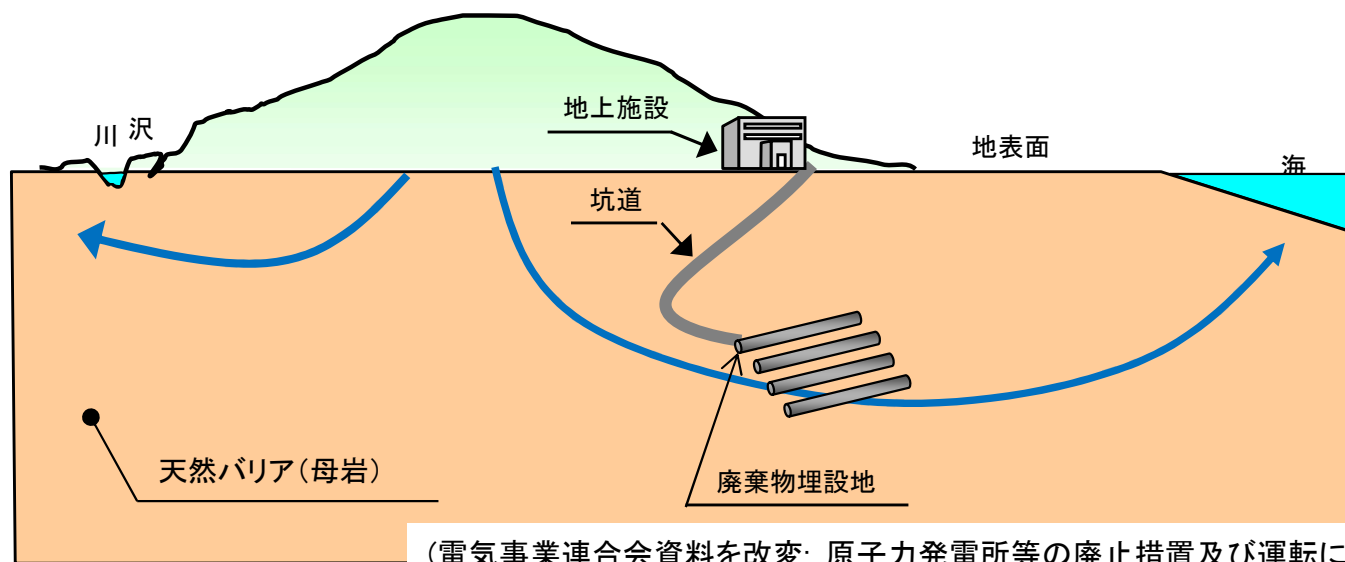
# I 背景 ～放射性廃棄物の処分概念～



- 放射性廃棄物に含まれる放射性物質のリスクから公衆と生活環境を防護するため、廃棄物の種類や放射能濃度に応じた埋設の方法による処分を行う。
- 中深度処分は70m以上の深度確保(第二種廃棄物埋設の事業に関する規則)
- 地層処分は300m以上に埋設する(最終処分法)



# I 背景 ～放射性廃棄物処分と地下水～

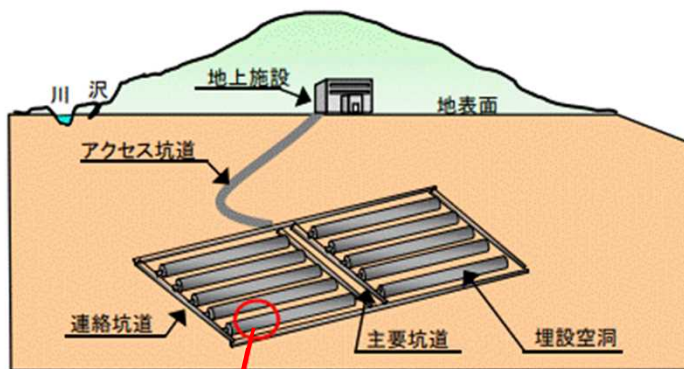


(電気事業連合会資料を改変: 原子力発電所等の廃止措置及び運転に伴い発生する放射性廃棄物の処分について、廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム第2回会合, 資料 2-1, 平成 27 年 2 月 12 日, 2015)

- 放射性廃棄物が処分された廃棄物埋設地から漏出した一部の放射性核種は、地下水の流れによって移行し、生活環境に運ばれる可能性がある。廃棄物埋設地の安全性を示すには、生活環境に達した放射性核種による人間の被ばくを評価する必要がある。以上から核種を移行させる**地下水流動の評価が重要**となる。
- 中深度処分および地層処分では、地下深部に処分用の坑道が建設される。坑道の周囲の岩盤には、応力の開放等、掘削に伴う力学的な影響によって損傷を受けた領域(掘削損傷領域: Excavation Damaged Zone、以下「EDZ」という。)が形成される可能性がある。EDZは、**割れ目の発生および割れ目の開口等**の変化によって、健全な岩盤に比べて透水性が高まる(Tsang et al., 2005)。

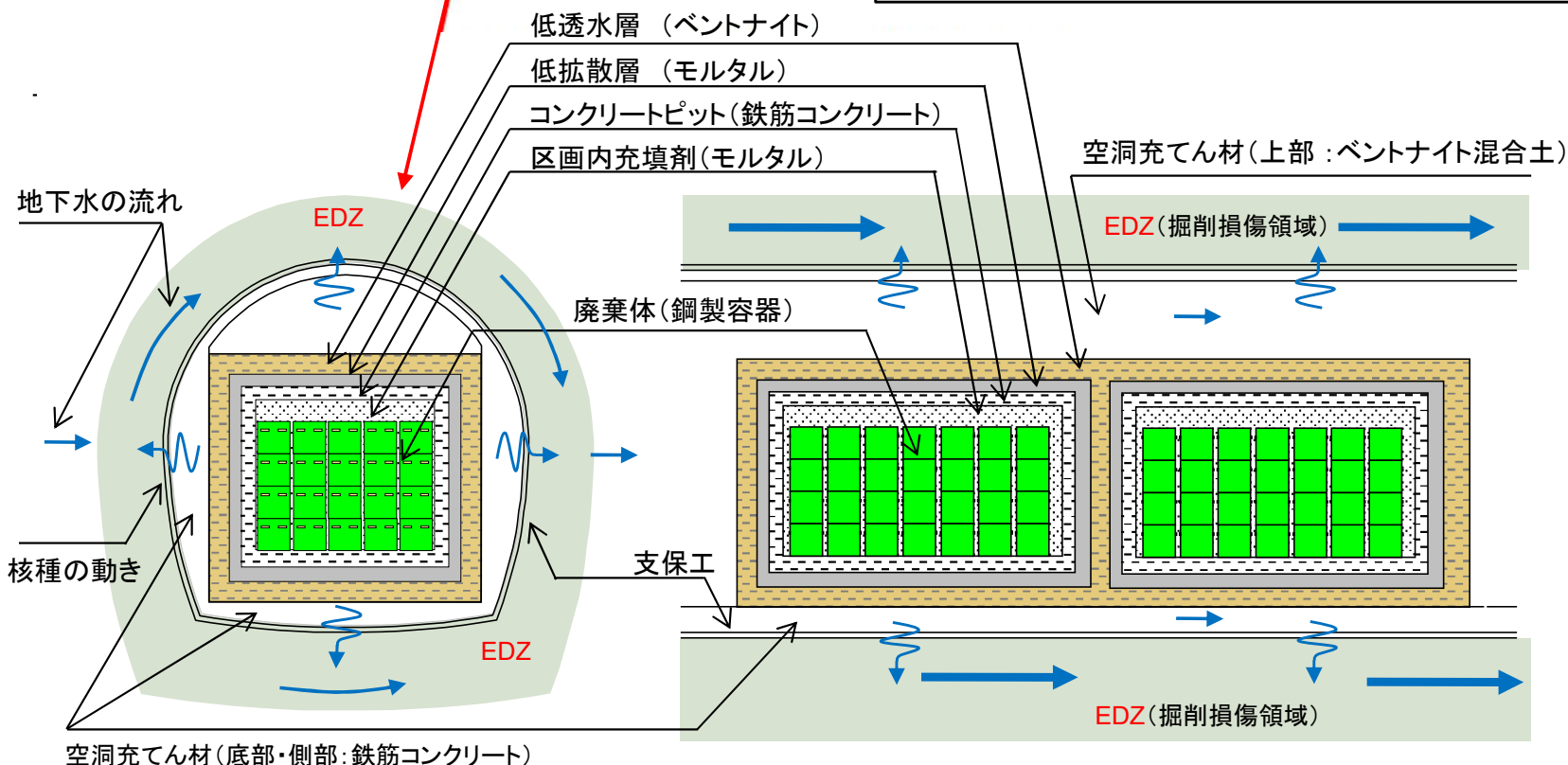


# I 背景 ～放射性廃棄物処分とEDZ～



## 中深度処分の廃棄物埋設地を例にしたEDZのイメージ図

(電気事業連合会資料を改変: 原子力発電所等の廃止措置及び運転に伴い発生する放射性廃棄物の処分について. 廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム第2回会合, 資料 2-1, 平成 27 年 2 月 12 日, 2015)



健岩部に比べて透水性が高いEDZ領域が坑壁に沿って広がる。この領域が水みちとして機能して地下水流動及び核種移行に影響を与える懸念がある。



## Ⅱ 目的及び研究概要

---

- 我が国における地下研究施設を使ったEDZの透水性とその影響範囲の調査は多孔質媒体である新第三紀堆積岩では実施されているが、結晶質岩の亀裂性媒体(割れ目が主要な地下水移行経路となる岩盤)では実施されていない。

我が国の主要な基盤岩の一つである**結晶質岩**における**EDZの状態を把握**することを目的に、本研究を実施する

- 結晶質岩での原位置調査のため、土岐花崗岩に設置されているJAEA瑞浪超深地層研究所の深度300m坑道を使って亀裂性媒体におけるEDZの透水性およびその広がりを調査した。



## Ⅱ 目的及び研究概要～研究の枠組み～

### 廃棄物埋設の坑道閉鎖措置確認に係る共同研究

原子力規制庁長官官房  
技術基盤グループ  
核燃料廃棄物研究部門  
(現 放射線・廃棄物研究部門)



日本原子力研究開発機構  
安全研究センター  
廃棄物安全研究グループ

### 原位置試験実施場所

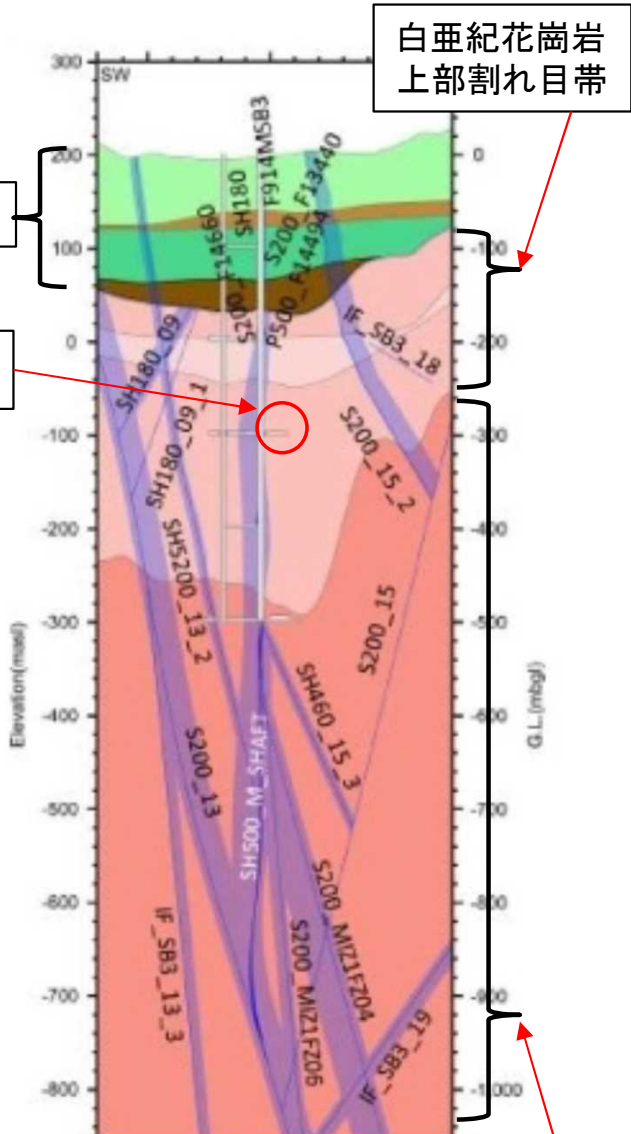
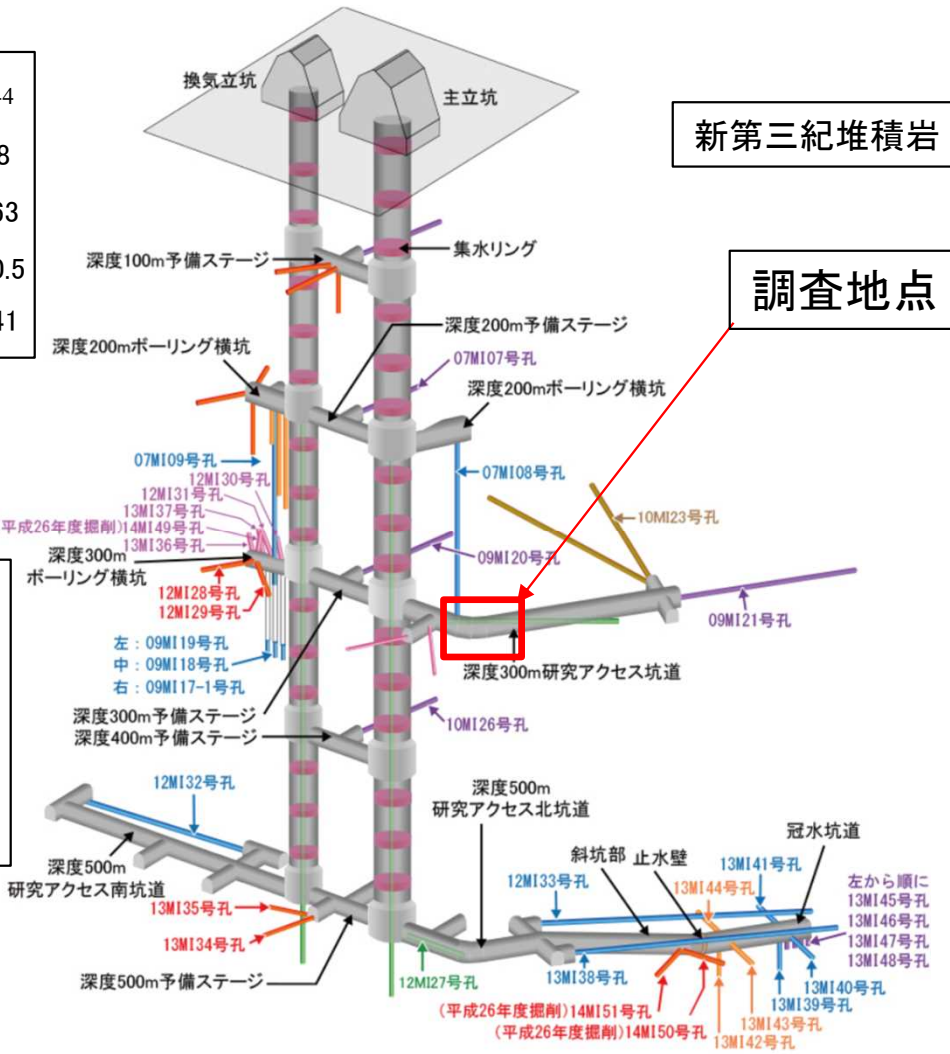
岐阜県、瑞浪市  
日本原子力研究開発機構  
東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所  
深度300m 研究アクセス坑道



# Ⅲ 調査地点

岩石物性値 JAEA-Research 2013-044	
有効間隙率(%)	0.99-1.58
比重(乾燥)	2.61 - 2.63
一軸圧縮強度(MPa)	194.1 ± 20.5
P派速度(km/s)	4.74 - 5.41

地下水年代及び同位体比 (超深地層研究所計画で得られた研究成果: 5_1 地下水環境データベース)	
<sup>14</sup> C (year B.P.)	約1万年
δ <sup>18</sup> O(‰)	-8.5 ± 0.2
δ D(‰)	-56.6 ± 1.1



瑞浪超深地層研究所深度300mアクセス坑道において、令和元年に原位置試験を試験を実施した。

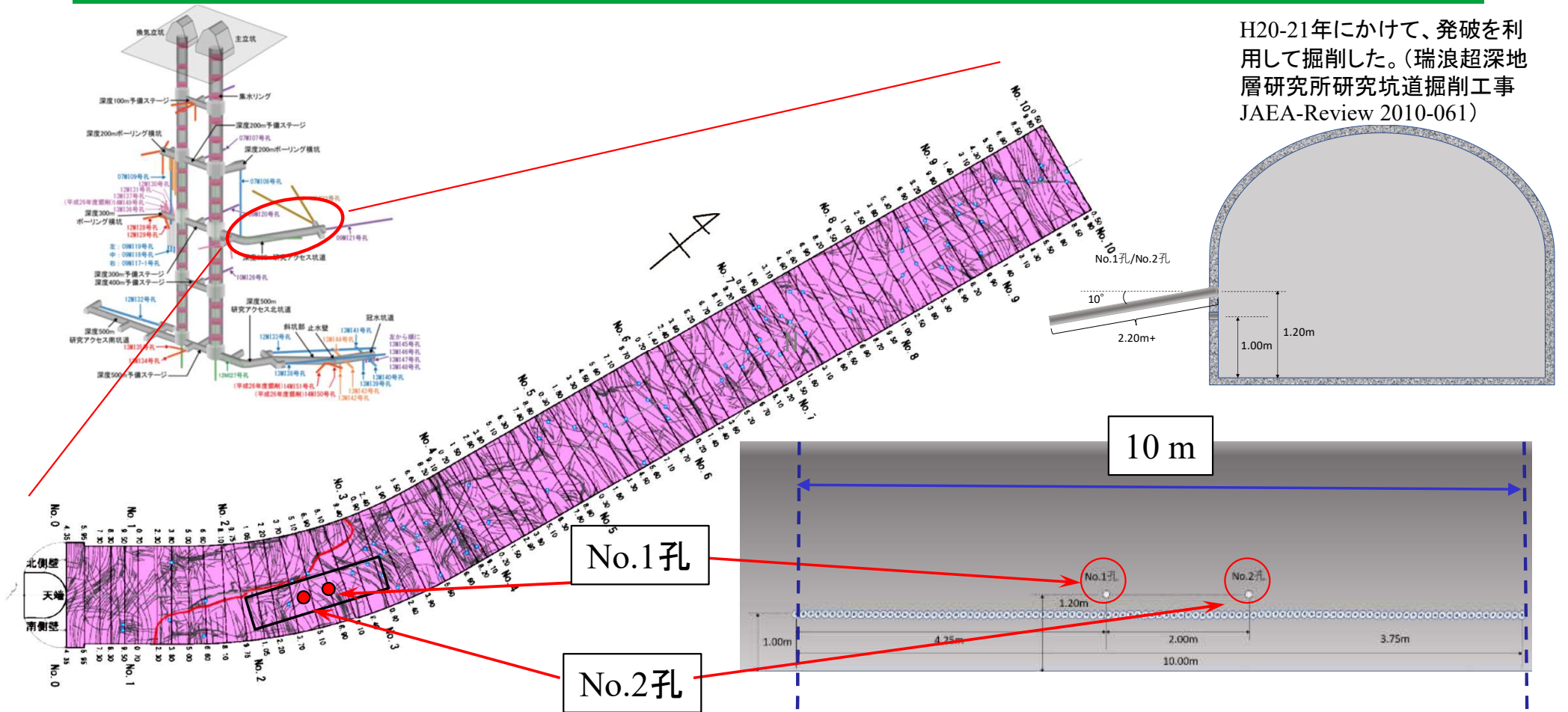
白亜紀花崗岩 下部低密度割れ目帯





# Ⅲ 調査地点

H20-21年にかけて、発破を利用して掘削した。(瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事 JAEA-Review 2010-061)



坑道壁面に水平から10° 下向きに、2本のボーリング孔(約2m, 66φ)を掘削、両側(幅10m)に弾性波探査試験及び比抵抗探査試験のため、壁面の吹付コンクリート除去(間隔10cm)



## IV 調査手法

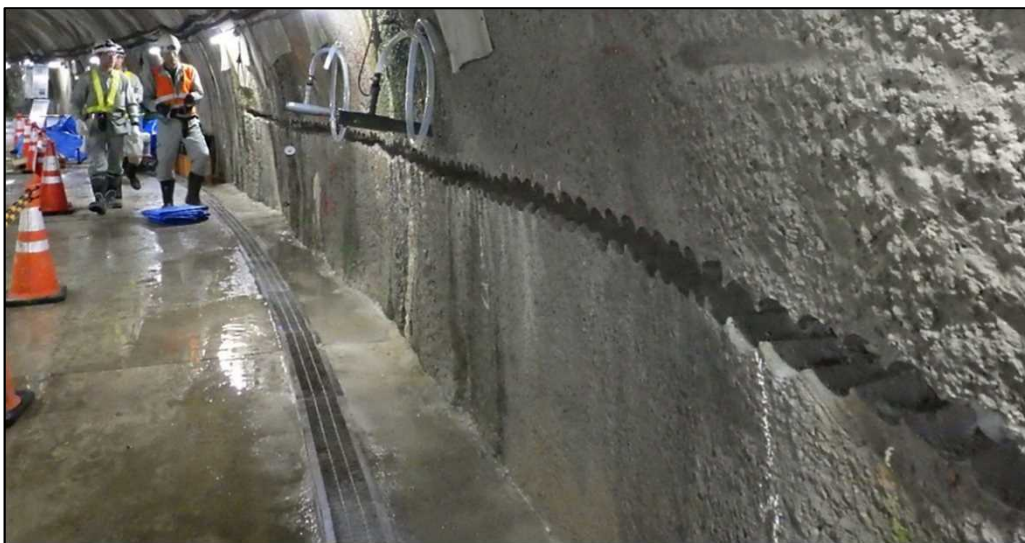
手法		シグナル	解釈
①	弾性波探査試験	弾性波速度	弾性波速度構造 高速→間隙率小 低速→間隙率大 坑壁周辺情報
②	比抵抗探査試験	電位差	比抵抗構造 高比抵抗→間隙率小 低比抵抗→間隙率大 坑壁周辺情報
③	BTV試験 (Borehole Televiewer Test)	孔壁イメージ	割れ目分布・性状（走向・傾斜・開口幅） 開口幅大→水が流れやすい 開口幅小→水が流れにくい ボーリング孔地点での情報
④	透水試験	水圧応答 注水量	透水係数を直接的に測定可能 透水係数大→水が流れやすい 透水係数小→水が流れにくい ボーリング孔地点での情報



調査結果の評価



# V 原位置試験 ～①弾性波探査試験～



測定の様子



坑壁発振の打撃



打撃用のハンマー

弾性波速度：高速→間隙率小（岩盤） 低速→間隙率大（間隙、地下水）

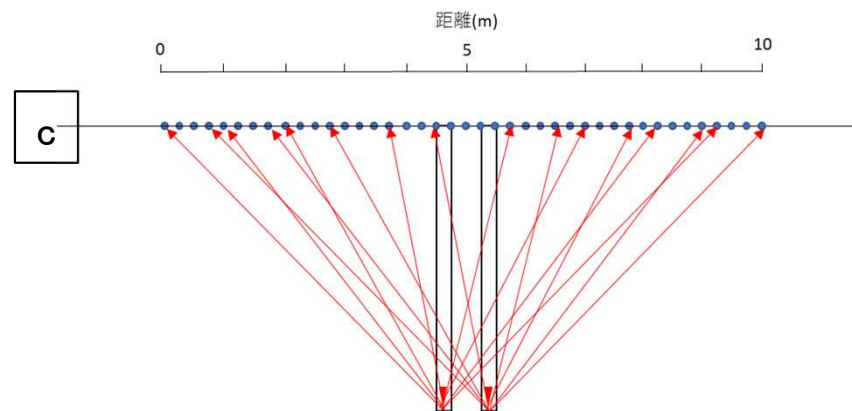
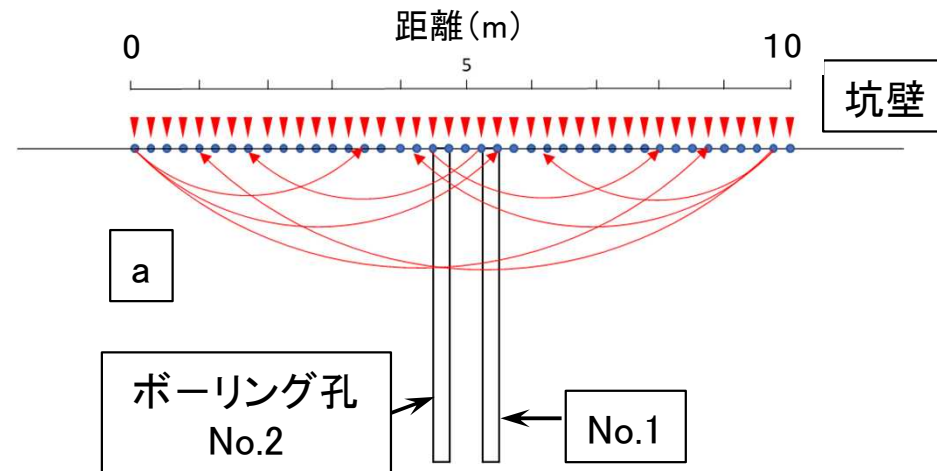
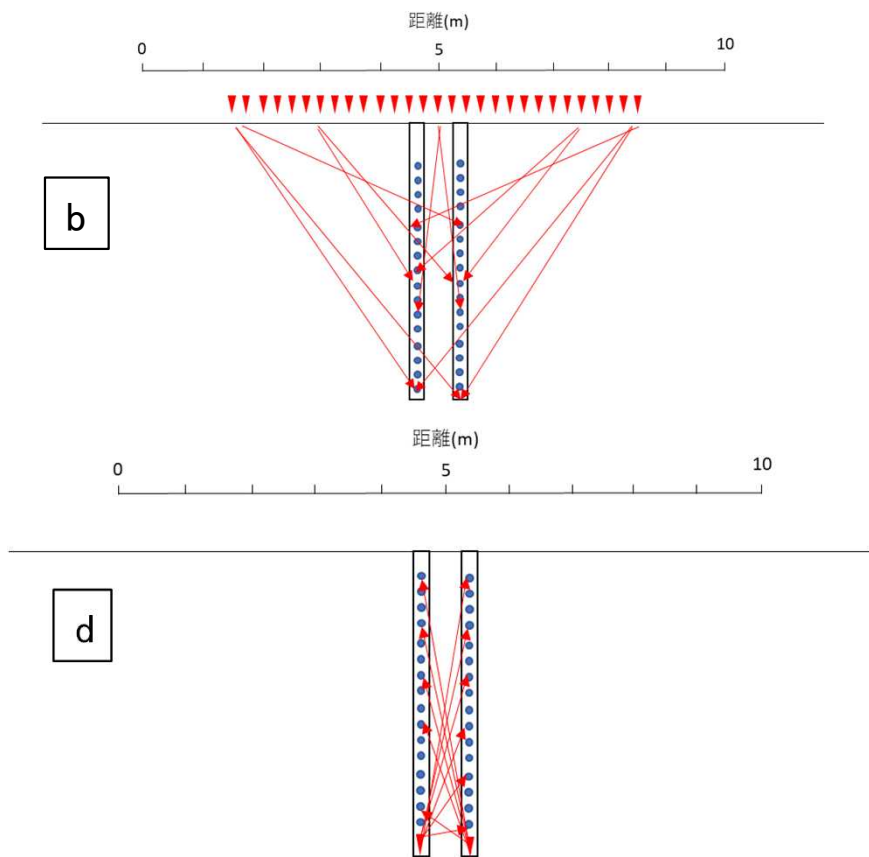


# V 原位置試験 ～①弾性波探査試験(配置)～

## 坑道と周囲岩盤中の発振及び受振の配置

- a 坑道壁面発振-坑道壁面受振(打撃)
- b 坑道壁面発振-ボーリング孔内受振(打撃)
- c ボーリング孔底発振-坑道壁面受振(打撃)
- d ボーリング孔底発振-ボーリング孔内受振(打撃)

上から見た図



▼ 発振点  
● 受振点



# V 原位置試験 ～①弾性波探査試験(打撃)～

- ・ 弾性波速度分布から、坑壁付近に沿って低速度領域が広がっている
- ・ 坑道壁面からはなれた奥側では比較的弾性波速度が速い領域が広がっている

EDZ影響によって間隙が多い領域が坑壁付近に沿って広がっていると考えられる



# V 原位置試験 ～②比抵抗探査試験～

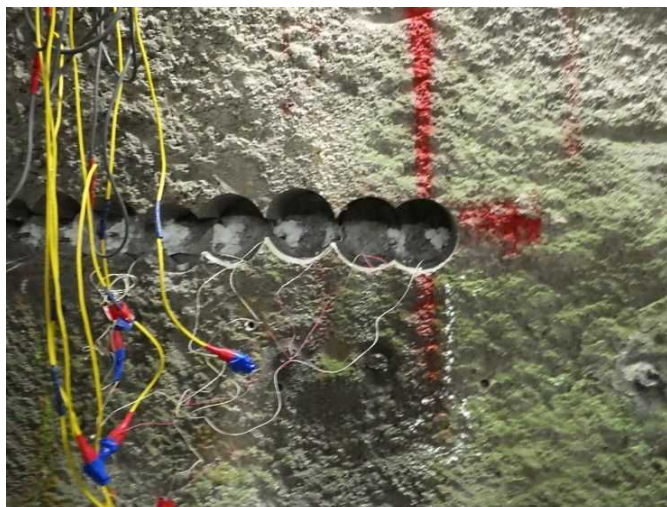


坑壁に設置した電極

比抵抗探査試験を実施  
(孔内発信一坑壁受信)



ボーリング孔内に設置した電極



坑壁に電極を設置



比抵抗探査試験:

高比抵抗→間隙率小(岩盤) 低比抵抗→間隙率大(間隙+地下水)

\* 間隙が不飽和の場合は、比抵抗が大きくなる



## V 原位置試験 ～②比抵抗探査試験～

- 低比抵抗の領域が坑壁に沿って広がっている。
- 坑壁奥側には比較的高比抵抗の領域が広がっている

EDZ影響によって間隙が多い領域が坑壁付近に沿って広がっていると考えられる。

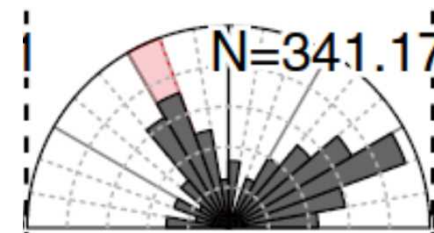
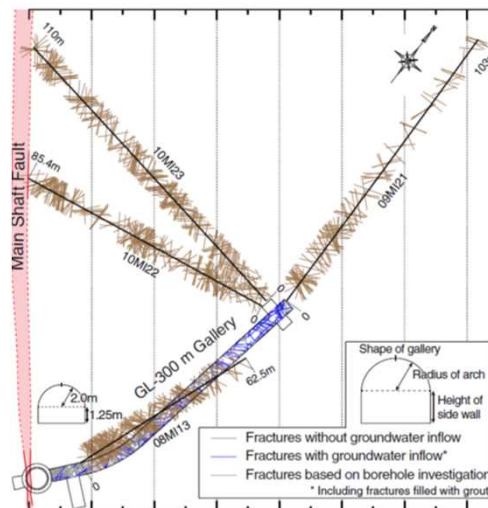


# V 原位置試験 ～③ボーリング孔観察(BTV試験)～

ボーリング孔壁の画像から割れ目の分布と性状(走向、傾斜、開口幅)を解析

→ No.1: 坑壁付近で5本の割れ目が確認(開口割れ目3本)。割れ目の走向が坑道とほぼ平行(北北東)であることから、坑道と平行のEDZ影響で形成された割れ目と推定

No.2: 坑壁付近には割れ目が少なく走向は坑道方向と異なる。既存研究における調査地点付近の既存割れ目の走向と一致し、割れ目から充填鉱物(緑泥石)が確認されたことから、既存割れ目と推定できる。

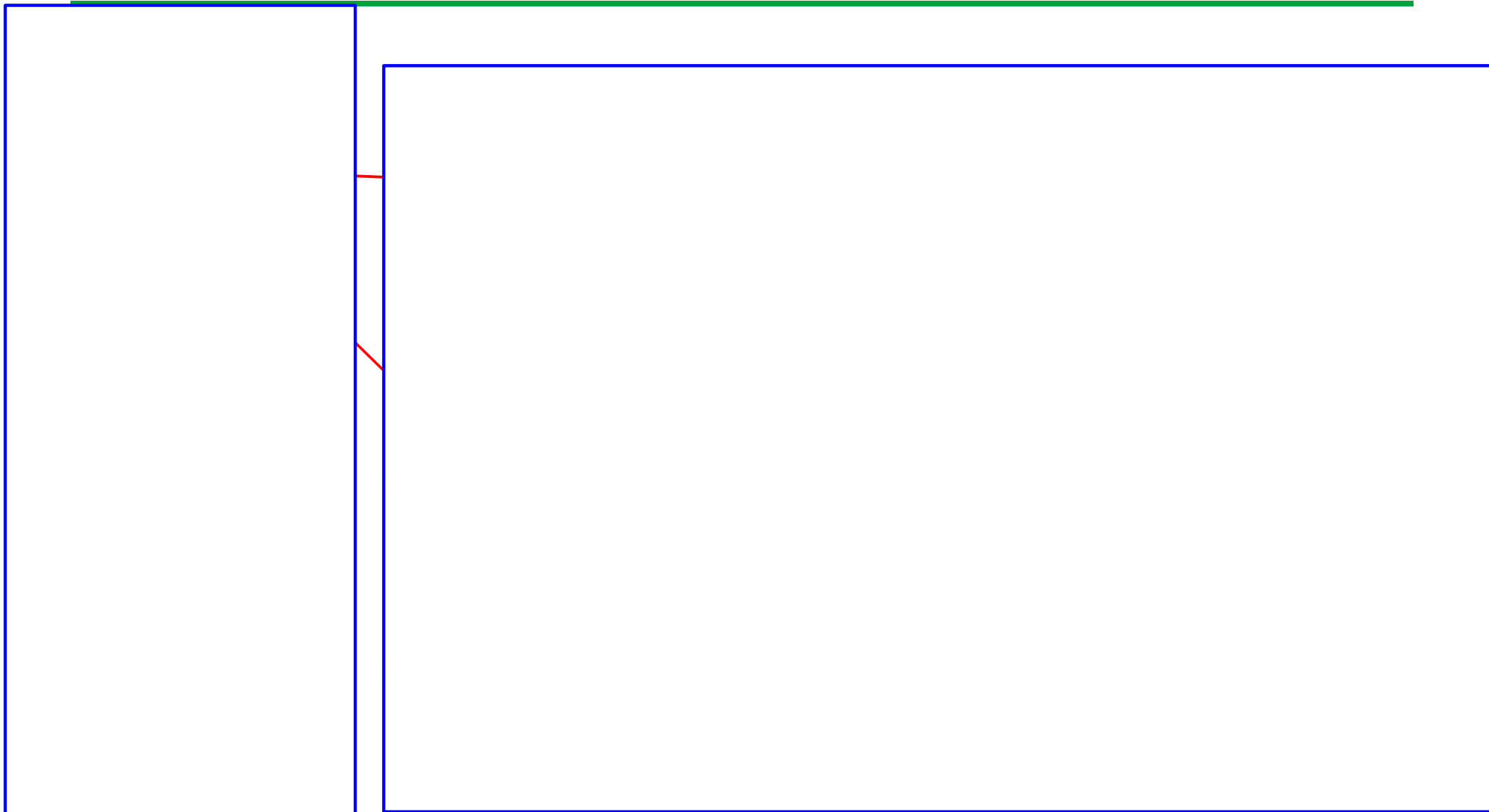


既存研究のボーリング調査の結果、調査地点付近の割れ目の方向は北北西、もしくは東北東方向に卓越している(Ishibashi et al.,2016)





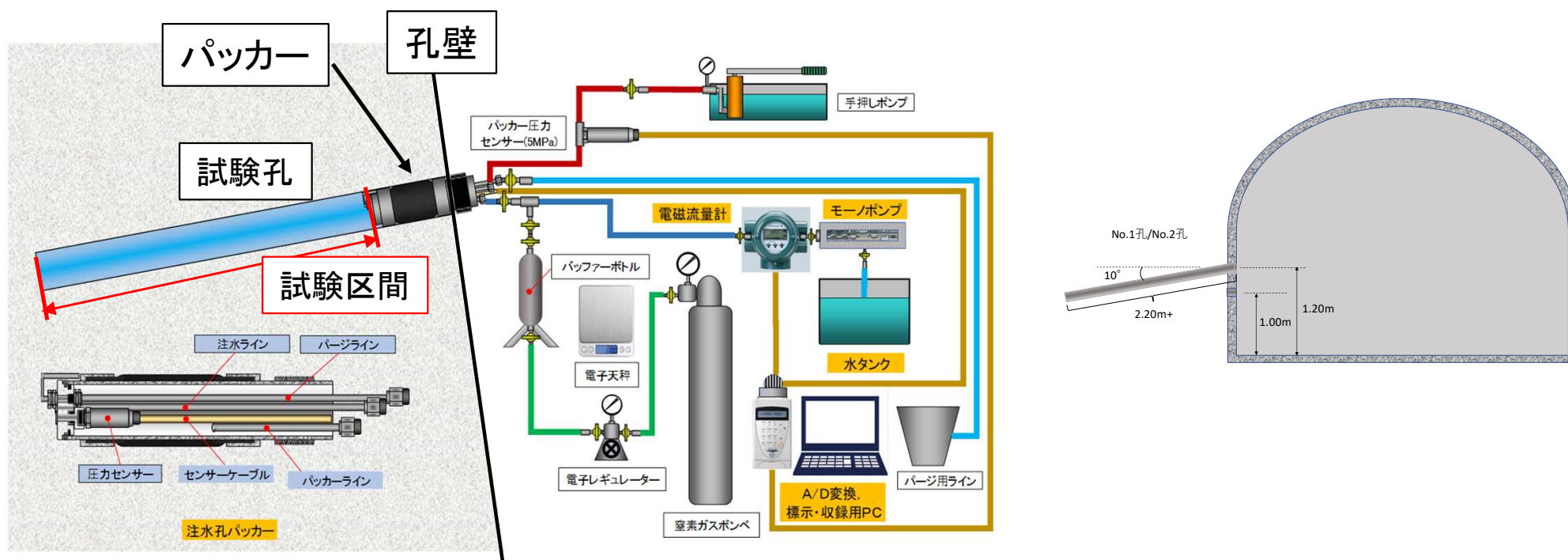
## V 原位置試験 ～③ボーリング孔観察(拡大図)～



No.1孔のEDZ割れ目の開口割れ目(赤線)を画像で確認可能  
No.2孔の既存割れ目はNo.1孔と比べてして閉じている



# V 原位置試験 ～④透水試験～



- 孔壁から掘削されたボーリング孔にパッカーを設置
- パッカーで区切られた試験区間に注水して水圧応答、流量を測定し、透水係数を計算する
- パッカーをずらして、複数回透水試験を実施することで、異なる試験区間の透水係数を求める



# V 原位置試験 ～④透水試験～

## No.1孔

- 坑壁側では水圧上がらず**透水試験が不成立**、EDZ割れ目による極めて高い**透水性**
- 試験が成立した区間での透水係数( $10^{-9} \sim 10^{-11}$  m/s)は健岩部とほぼ同じ

## No.2孔

- 坑壁に近いところでも透水試験が成立 (No.1孔と異なる結果)
- 試験が成立した坑壁側の区間(0.27—0.8m)で、健岩部より高い透水係数( $10^{-7}$  m/s)
- 区間(0.27—0.8m)は**EDZの影響により既存割れ目が開口して透水係数が増大**



## VI 考察とまとめ

### 坑壁周辺の情報

- ・弾性波探査試験  
→坑壁付近で間隙の多い領域と想定
- ・比抵抗探査試験  
→坑壁付近で間隙の多い領域と想定



### ボーリング孔地点での情報

- ・BTV試験  
→坑壁付近でEDZ割れ目の形成が確認
- ・透水試験  
→坑壁付近で透水係数増大を確認、及び既存割れ目の開口の可能性が想定



掘削影響で坑壁付近に割れ目の形成及び既存割れ目の開口によって、間隙が多く透水係数の高い領域が広がっていると考えられる。

既存の調査手法を組み合わせることで、結晶質岩におけるEDZの状態を把握した。



## VII 今後の課題

---

---

- 長期的なEDZの状態変化を推定するため、割れ目中での二次鉱物の生成や閉鎖後環境を模擬した室内試験等を実施する必要がある。(幌延深地層研究センターを利用したJAEAとの共同研究で実施予定)
- EDZが形成されるメカニズムを調査するため、岩盤力学の室内試験等を実施する必要がある。(埼玉大学、産総研との共同研究で実施予定)