第13回URL検討委員会
資料13-3(H24.11.26)

深地層の研究施設計画検討委員会（第13回）

超深地層研究所計画

－平成24年度までの進捗と今後の展開－

平成24年11月26日

東濃地科学研究ユニット

本日の報告内容

１．超深地層研究所計画の概要

２．第1段階の調査研究の成果

３．研究開発の現状

・平成24年度の主な調査研究

・第2段階の調査研究

・第3段階の調査研究

４．第2期中期計画期間における成果の取りまとめに向けた今後の取り組み

1．超深地層研究所計画の概要

【全体目標】

- 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
- 深地層における工学技術の基盤の整備

【段階目標】

- 第１段階（地表からの調査予測研究段階）
  - ①地表からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道建設前の深部地質環境の状態の把握
  - ②研究坑道の詳細設計および施工計画の策定
  - ③第２段階の調査研究計画の策定
- 第２段階（研究坑道の掘削を伴う研究段階）
  - ①研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握
  - ②研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認
  - ③第３段階の調査研究計画の策定
- 第３段階（研究坑道を利用した研究段階）
  - ①研究坑道を利用した調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道拡張による深部地質環境の変化の把握
  - ②深地層における工学技術の有効性の確認

1．超深地層研究所計画の概要

平成8年度−平成16年度

第１段階
【地表からの調査予測研究段階】

反射法弾性波探査

ボーリング調査

平成16年度−実施中

第２段階
【研究坑道の掘削を伴う研究段階】

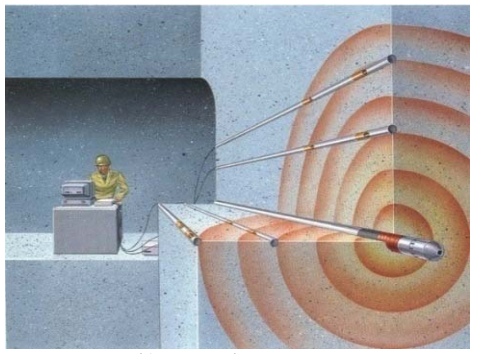
壁面地質調査

地下水モニタリング

平成22年度−実施中

第３段階
【研究坑道を利用した研究段階】

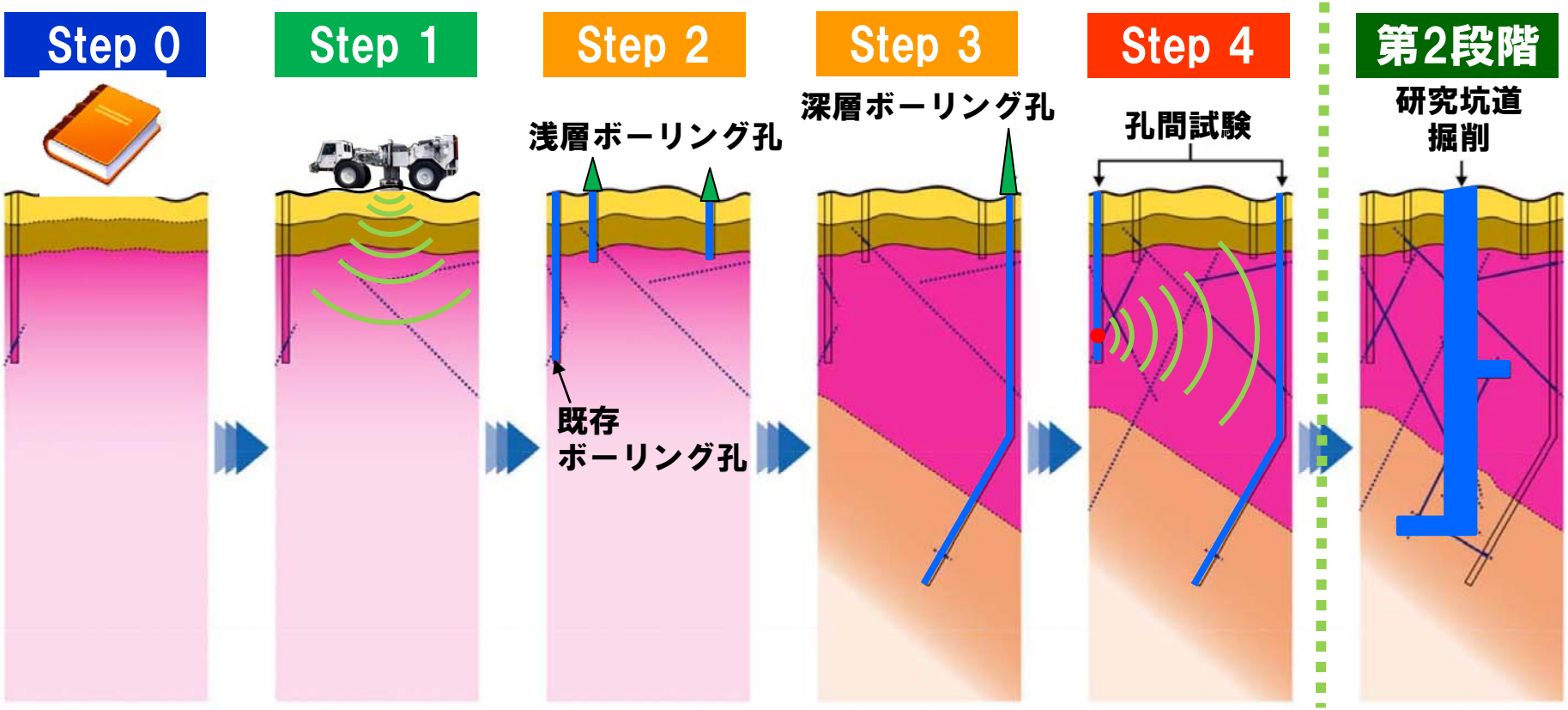
物質移動に関する
調査研究のための
ボーリング調査



坑道を利用した
調査研究
（イメージ）

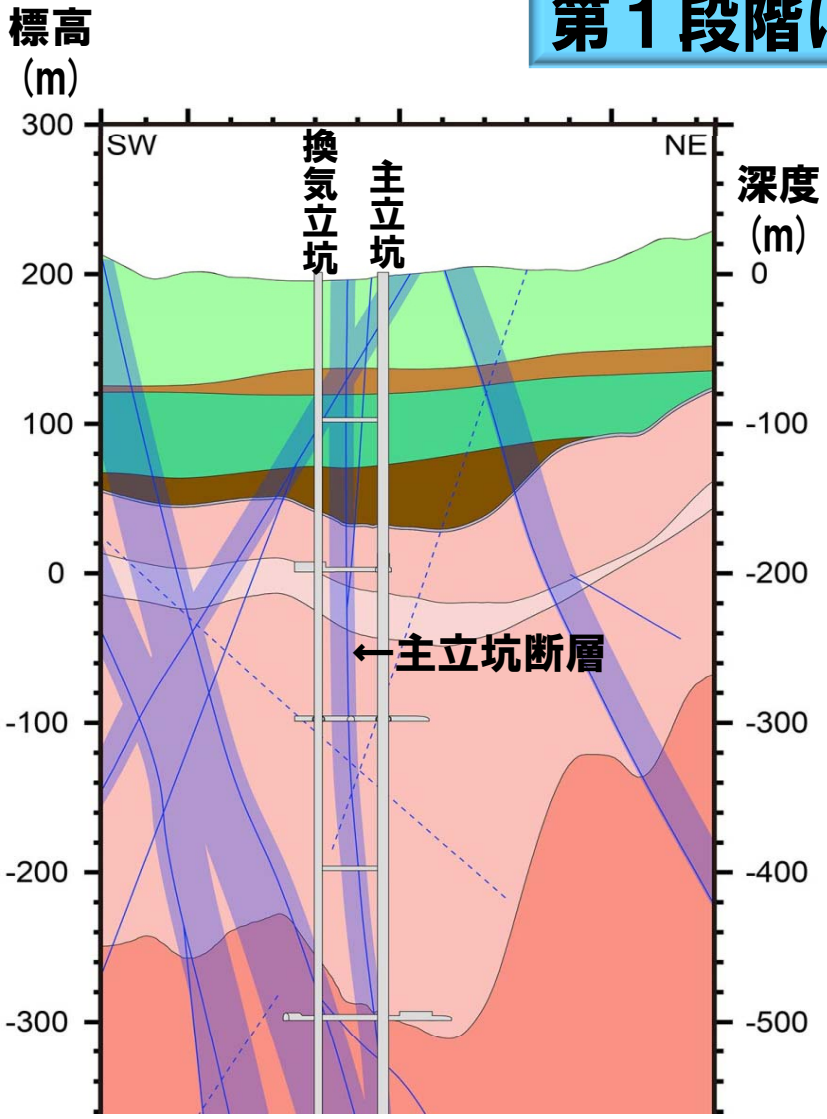
2. 第1段階の調査研究の成果

第１段階における調査研究の進め方

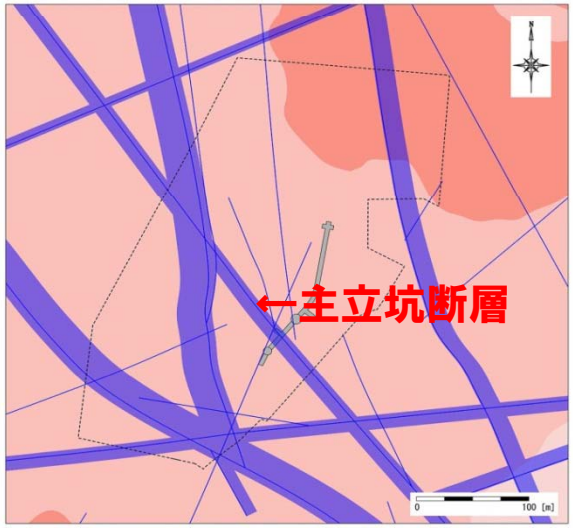


2. 第1段階の調査研究の成果

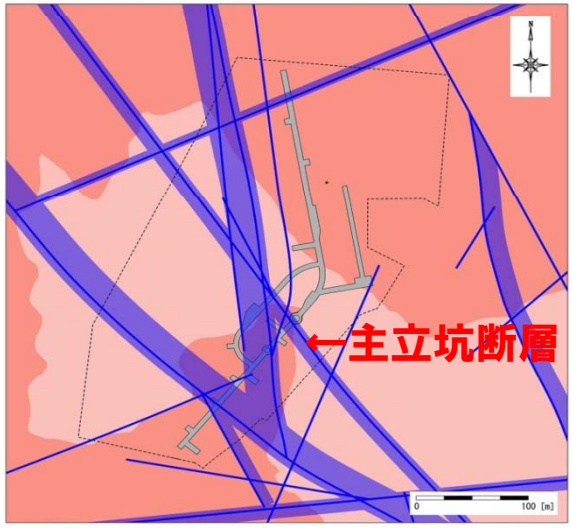
第１段階における地質構造モデル



垂直断面図



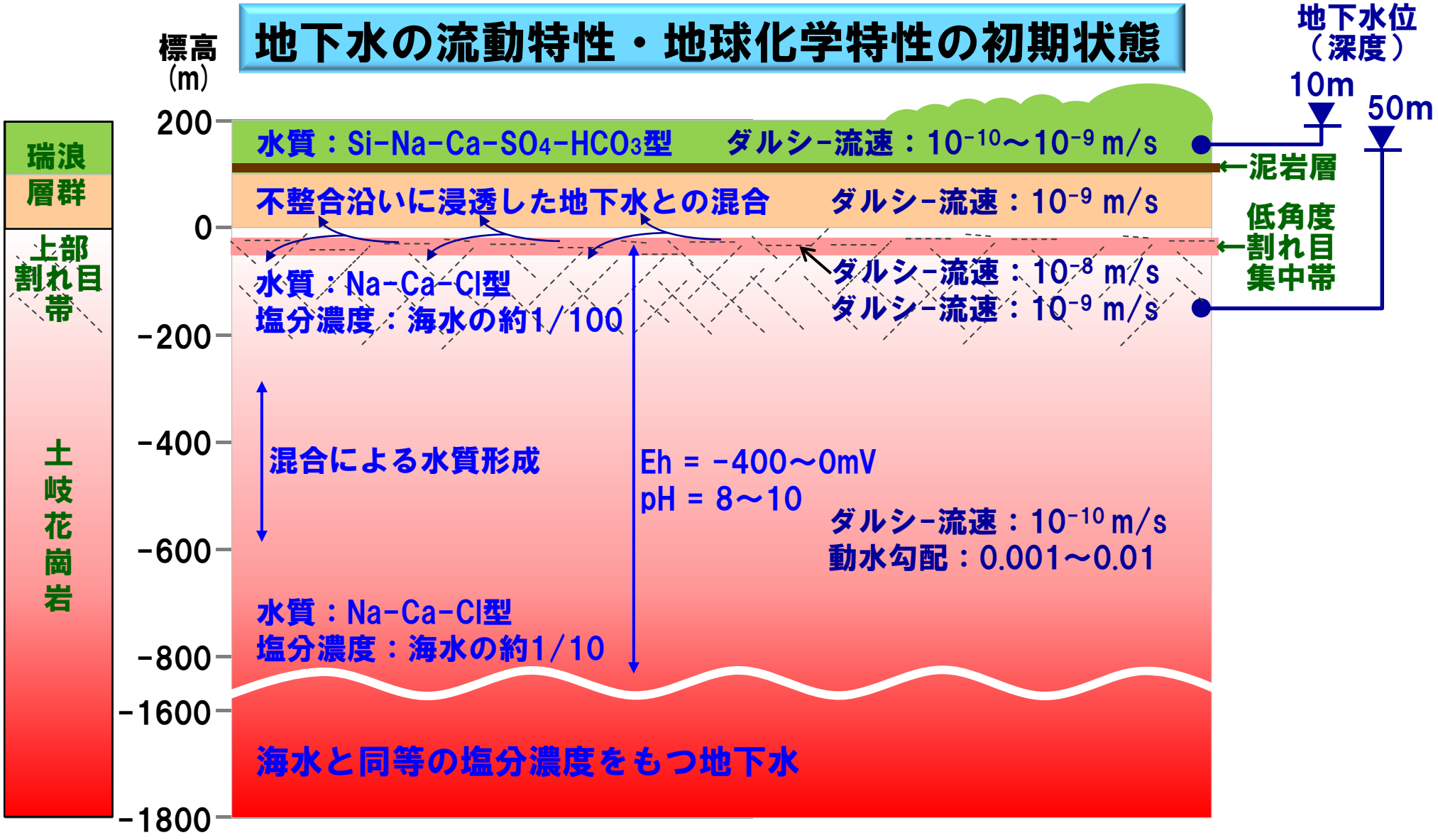
深度300m水平断面



深度500m水平断面

- 瑞浪層群（明世累層/本郷累層）
- 瑞浪層群（明世累層/本郷累層基底礫岩層）
- 瑞浪層群（土岐夾炭累層）
- 瑞浪層群（土岐夾炭累層基底礫岩層）
- 土岐花崗岩（風化帯）
- 土岐花崗岩（上部割れ目帯）
- 土岐花崗岩（低角度割れ目集中帯）
- 土岐花崗岩（下部割れ目低密度帯）
- 断層主要部およびダメージゾーン

2. 第1段階の調査研究の成果



3．研究開発の現状

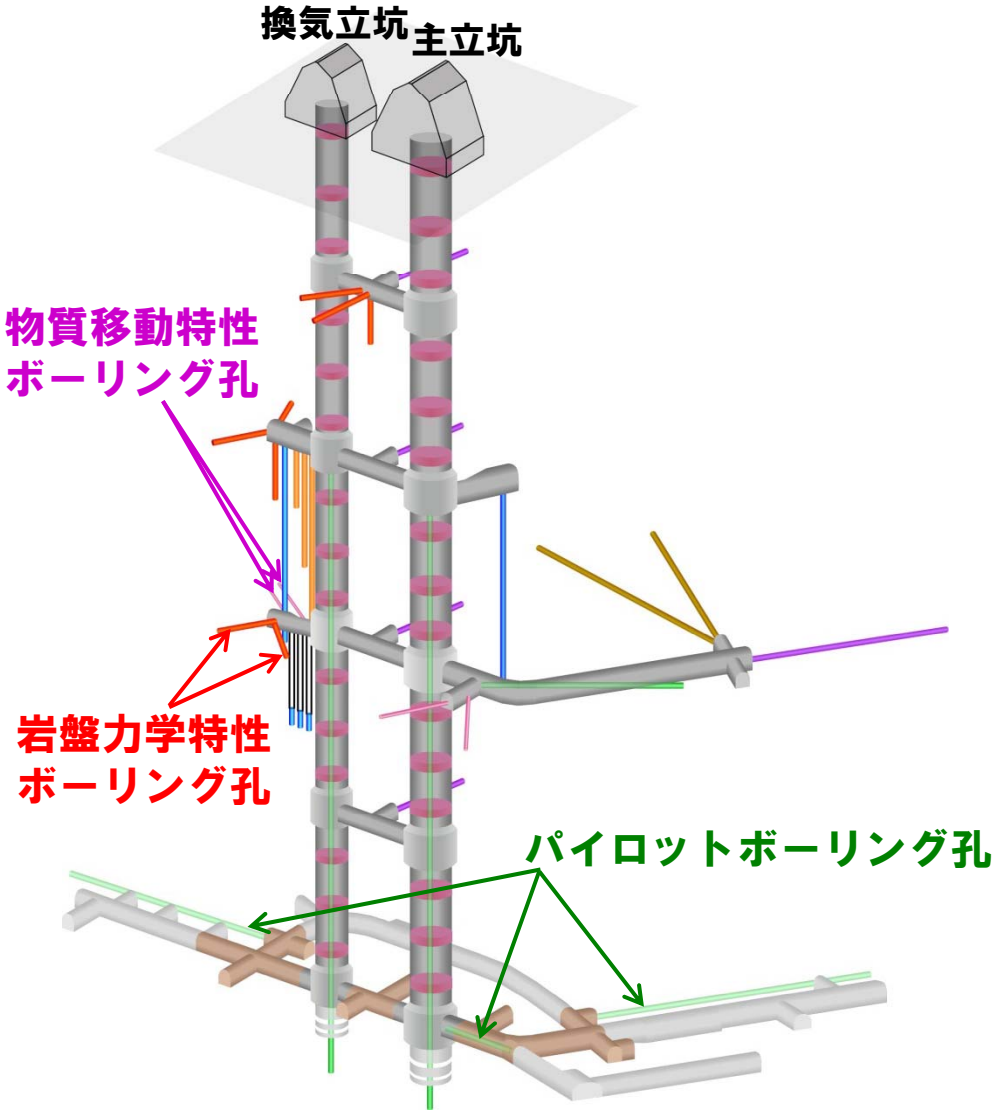
平成24年度の主な調査・試験

第2段階	➢地質構造モデルの構築・更新 ・深度300mボーリング横坑（換気立坑）でのボーリング調査* ・物理探査（逆VSP探査，自然電位測定） ・研究坑道の壁面地質調査および壁面物性計測 ➢水理地質構造モデルの構築・更新 ・深度300mボーリング横坑（換気立坑）でのボーリング調査* ・立坑の集水リングを用いた湧水量計測 ・既存（地表/研究坑道）のボーリング孔での地下水の水圧モニタリング ・表層水理観測 ➢地球化学モデルの構築・更新 ・深度300mボーリング横坑（換気立坑）でのボーリング調査* ・立坑壁面および集水リングを用いた坑内湧水の採水・分析 ・既存（地表/研究坑道）のボーリング孔での地下水水質観測 ➢岩盤力学モデルの構築・更新 ・深度300mボーリング横坑でのボーリング調査（初期応力測定） ・ボーリングコア等を用いた岩盤物性，初期応力等の測定・分析 ・岩盤の長期挙動評価手法の構築
第3段階	➢物質移動概念モデルの構築及び予察的な物質移動解析 ・深度300mボーリング横坑でのボーリング調査（電中研との共研） ・コアを用いた室内試験

＊：深度500m換気立坑側のパイロットボーリング調査で代替

3．研究開発の現状

平成24年度の主なボーリング調査



◆ **断層に関する調査研究**
- 深度300mのボーリング横坑
  （換気立坑側：約170m：1孔）

→換気立坑側の**パイロットボーリング調査**で代替

◆ **物質移動特性に関する調査研究**
- 深度300mのボーリング横坑
  換気立坑側：約30m×2孔（掘削済み）

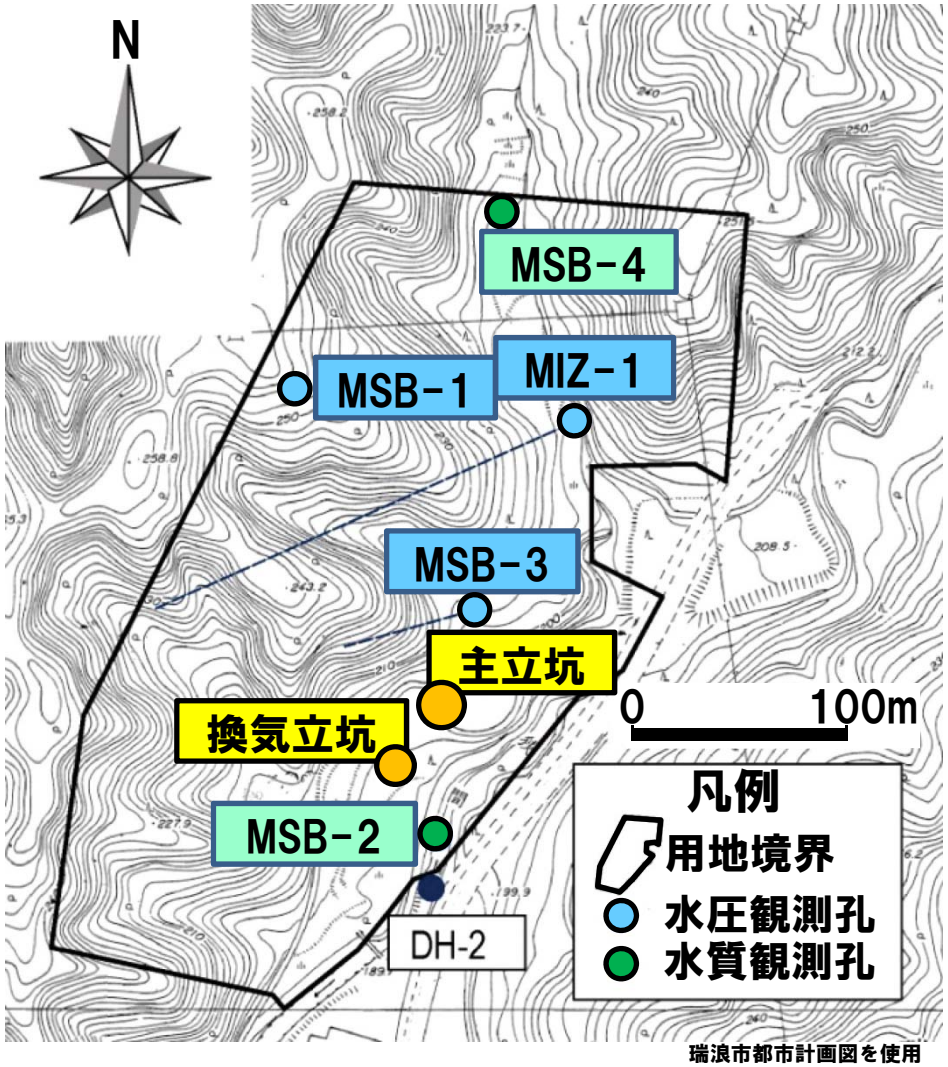
◆ **岩盤力学特性（初期応力）に関する調査研究**
- 深度300mのボーリング横坑
  換気立坑側：約20m×2孔（掘削済み）

◆ **パイロットボーリング調査**

深度500mステージ
- 主立坑側　約35m：1孔（掘削済み）
  約105m：1孔
- 換気立坑側　約105m：1孔

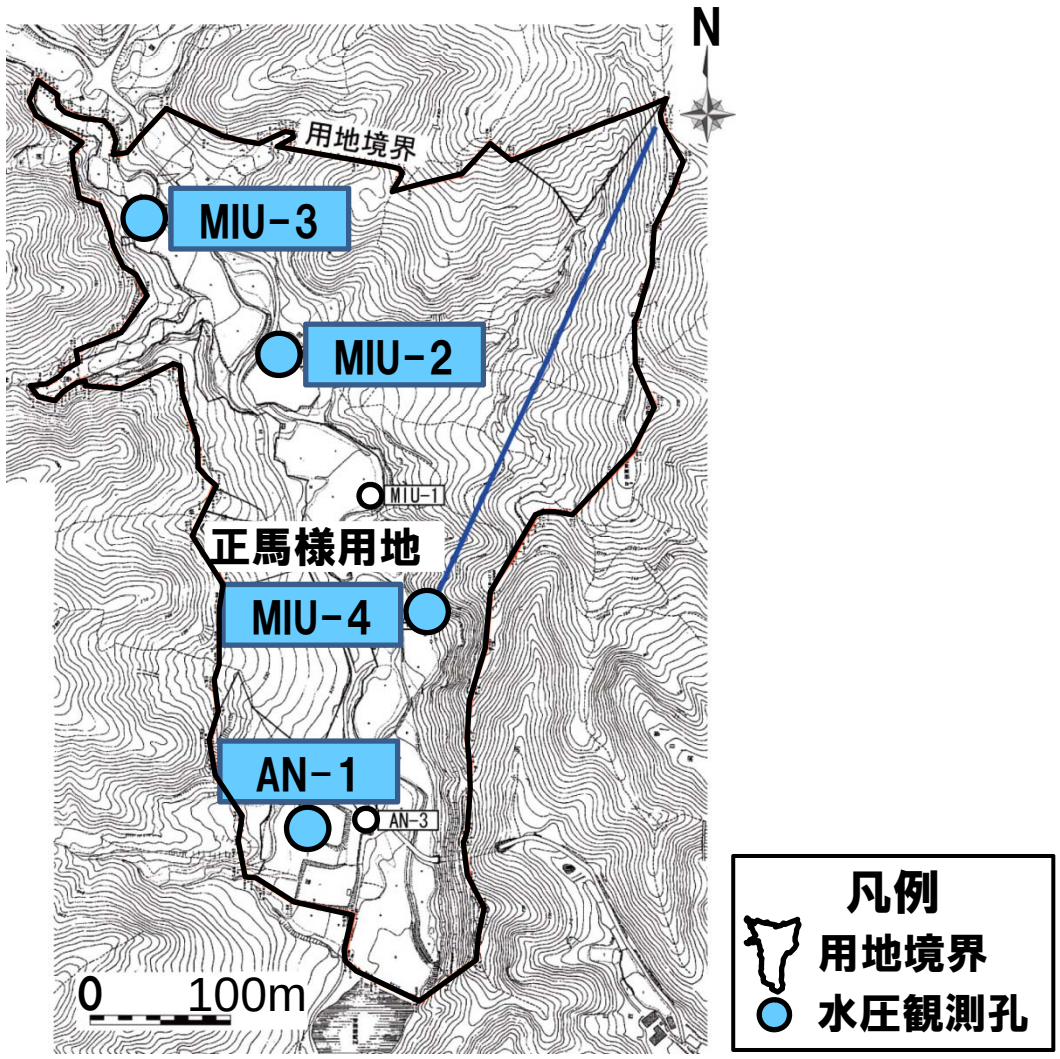
3．研究開発の現状

坑道掘削影響の把握のための地下水の水圧・水質観測（地上）



瑞浪市都市計画図を使用

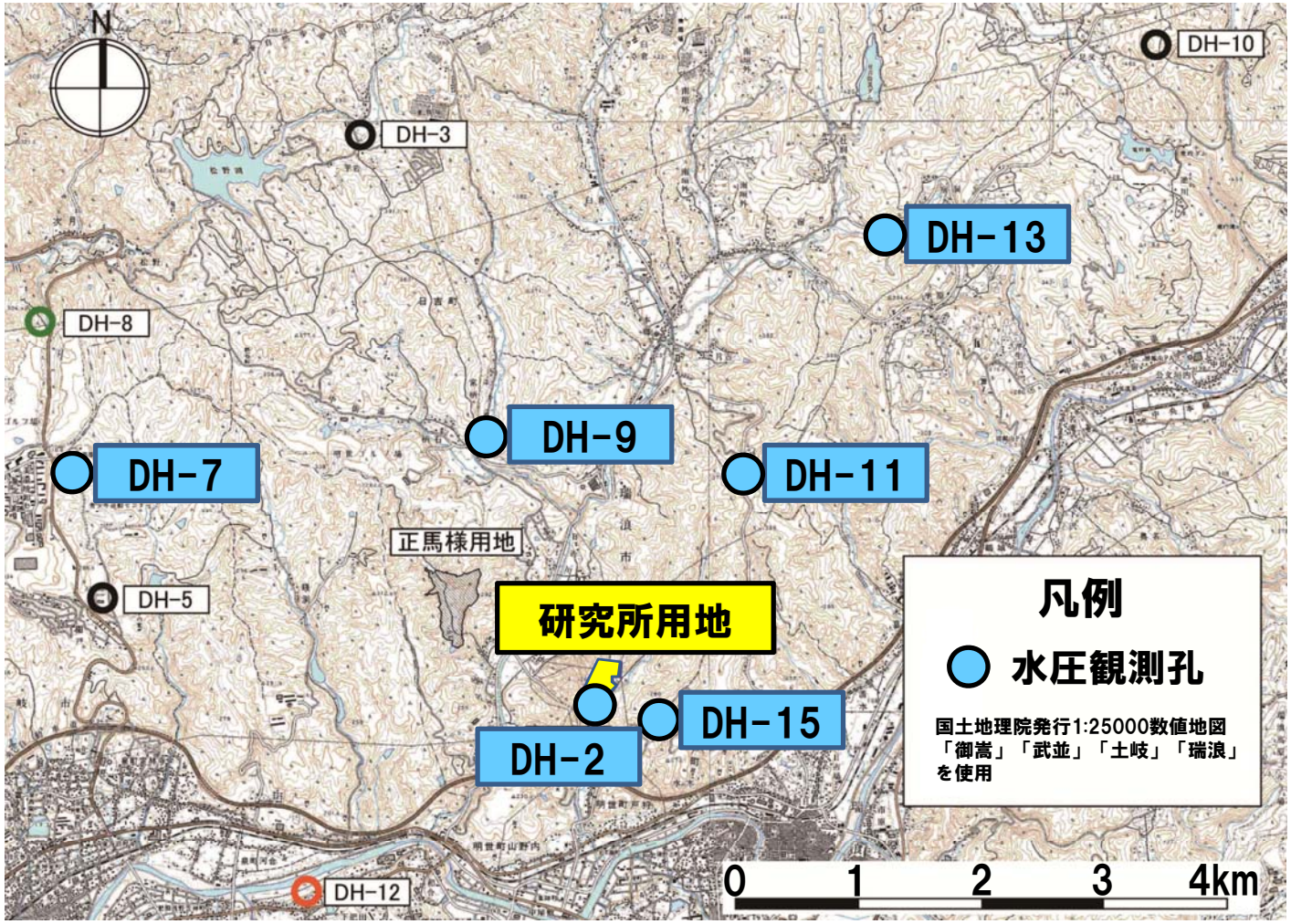
研究所用地内の地上観測孔



正馬様用地内の地上観測孔

3. 研究開発の現状

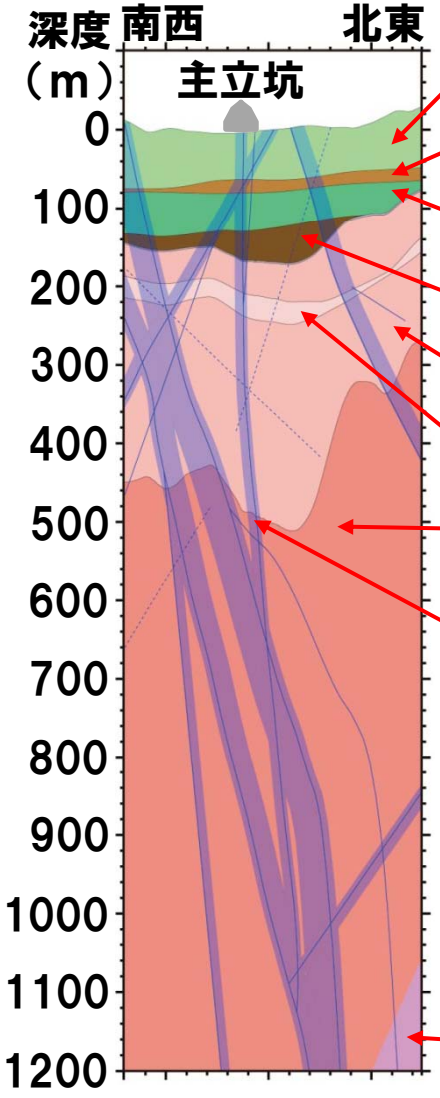
坑道掘削影響の把握のための地下水の水圧・水質観測（地上）



広域地下水流動研究における観測孔

3．研究開発の現状（第2段階）

第1段階で推定された地質・地質構造



新第三紀中新統 瑞浪層群 明世累層／本郷累層

〃明世累層／本郷累層基底礫岩層

〃土岐夾炭累層

〃土岐夾炭累層基底礫岩層

土岐花崗岩 上部割れ目帯

〃低角度割れ目集中帯

〃下部割れ目低密度帯

主立坑断層

月吉断層

第1段階での調査試験項目

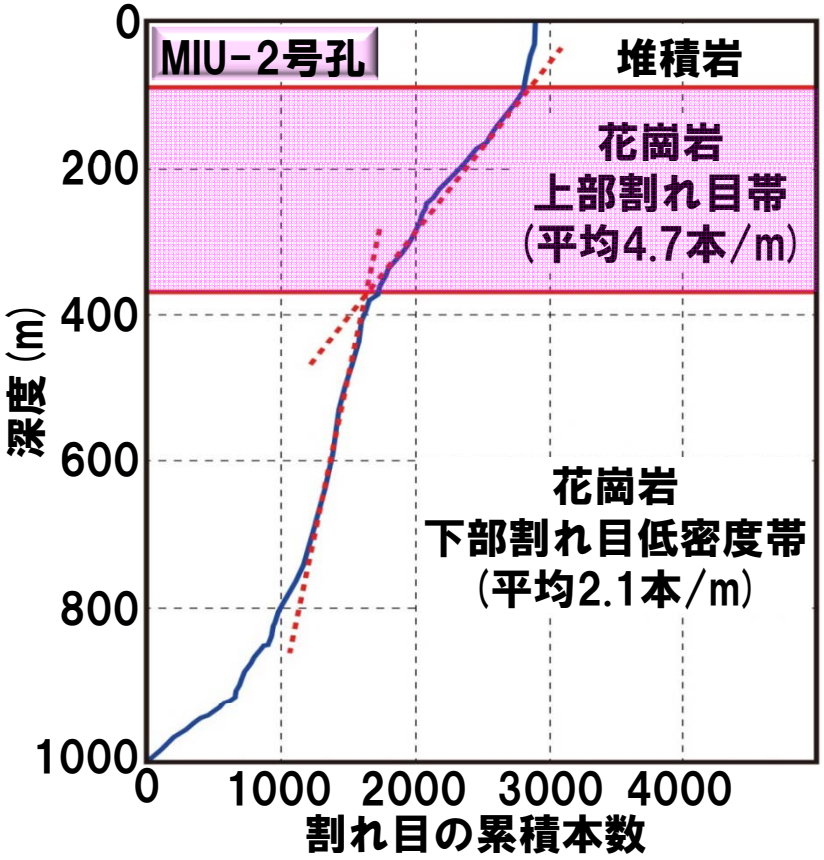
- 地表踏査、地上物理探査（反射法弾性波探査）
- 既存・浅層ボーリング調査
- 深層ボーリング調査、孔内物理探査（VSP）
- 孔間試験（水理試験、弾性波トモグラフィ）

3．研究開発の現状（第2段階）

第1段階での上部割れ目帯の厚さの推定方法

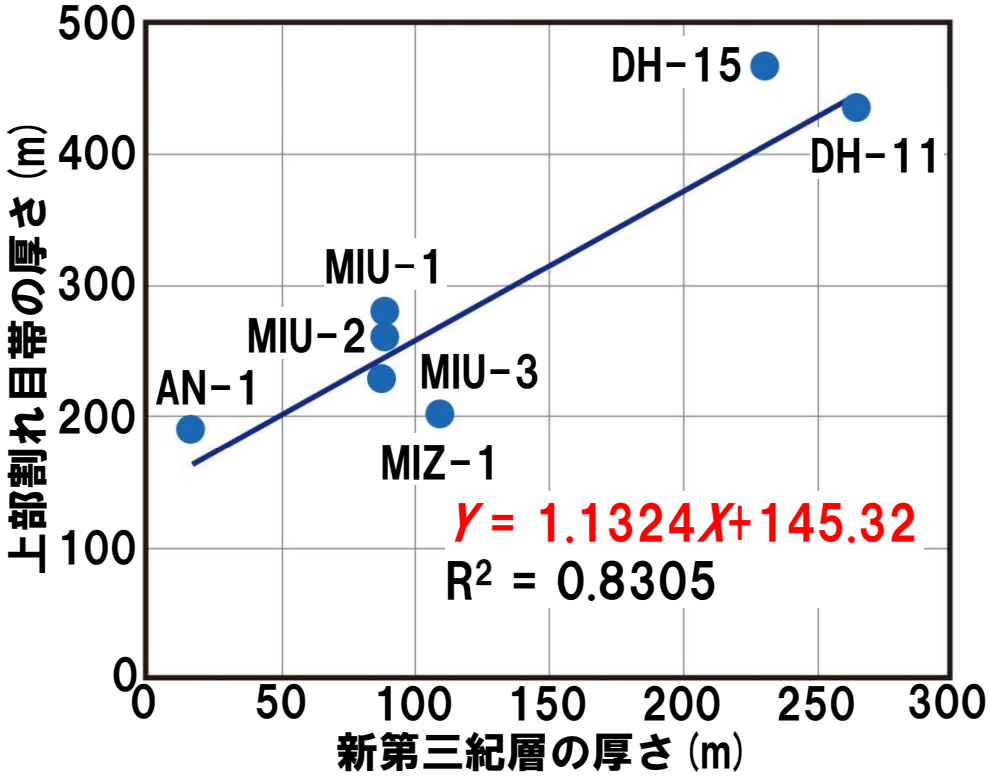
●上部割れ目帯の定義

花崗岩の上部に分布する低角度割れ目（30°未満）の分布密度が高く相対的に透水性の高い領域



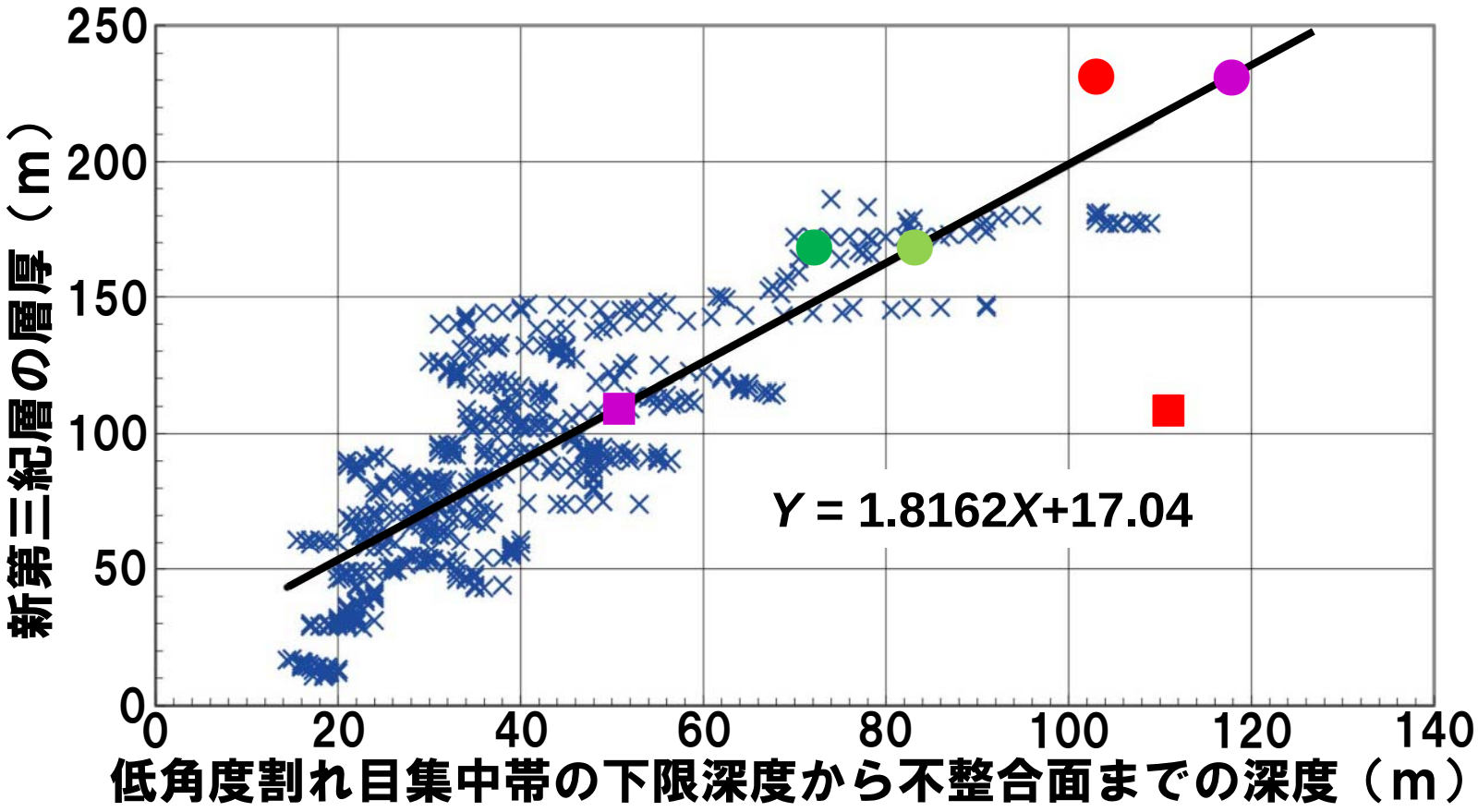
●上部割れ目帯の厚さの推定

上部割れ目帯の厚さと新第三紀層の層厚との関係から得られる**回帰式**により、推定したい位置の新第三紀層の層厚（*X*）から上部割れ目帯の厚さ（*Y*）を推定



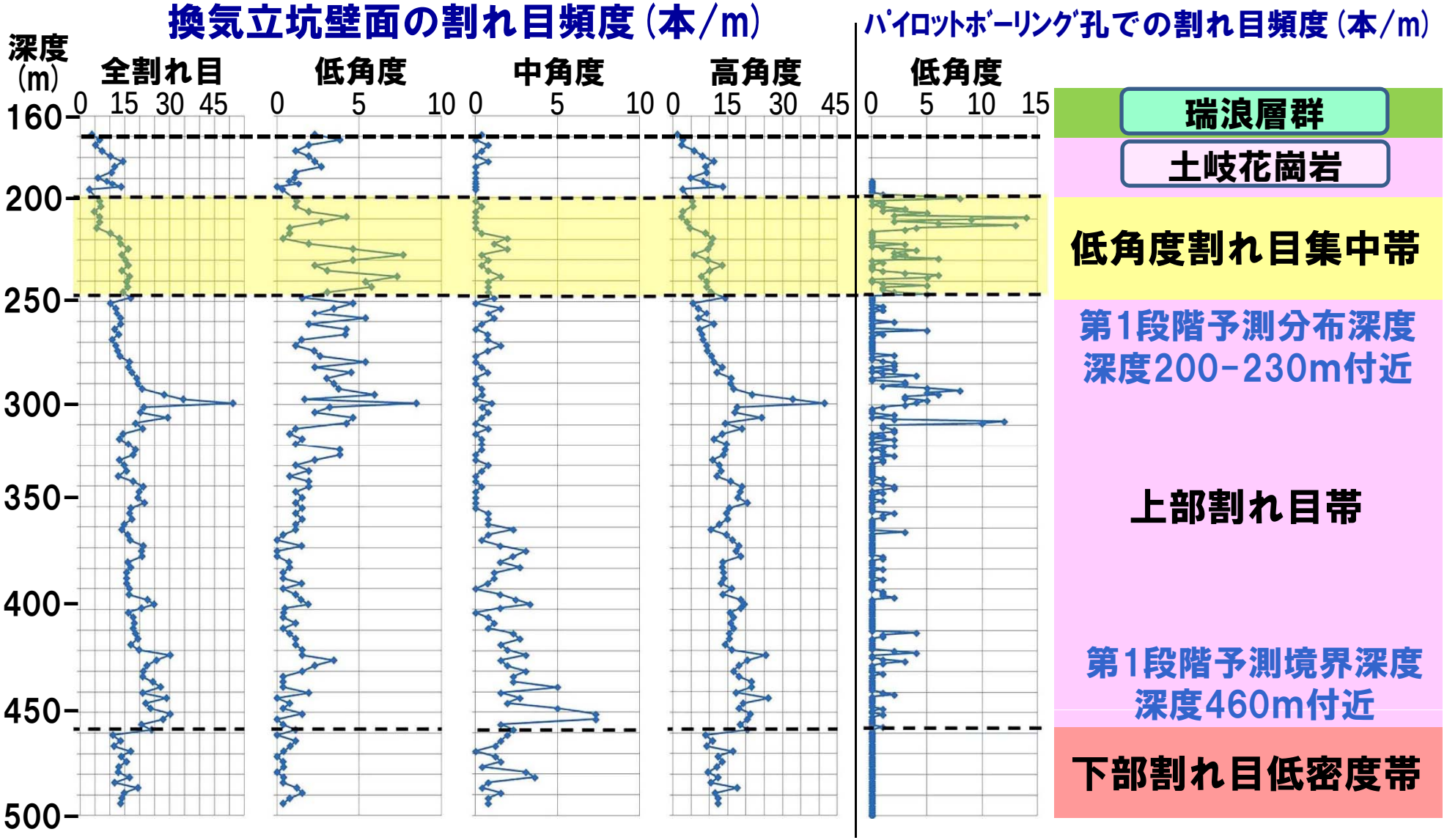
3．研究開発の現状（第2段階）

第1段階における低角度割れ目集中帯の下限深度の推定方法



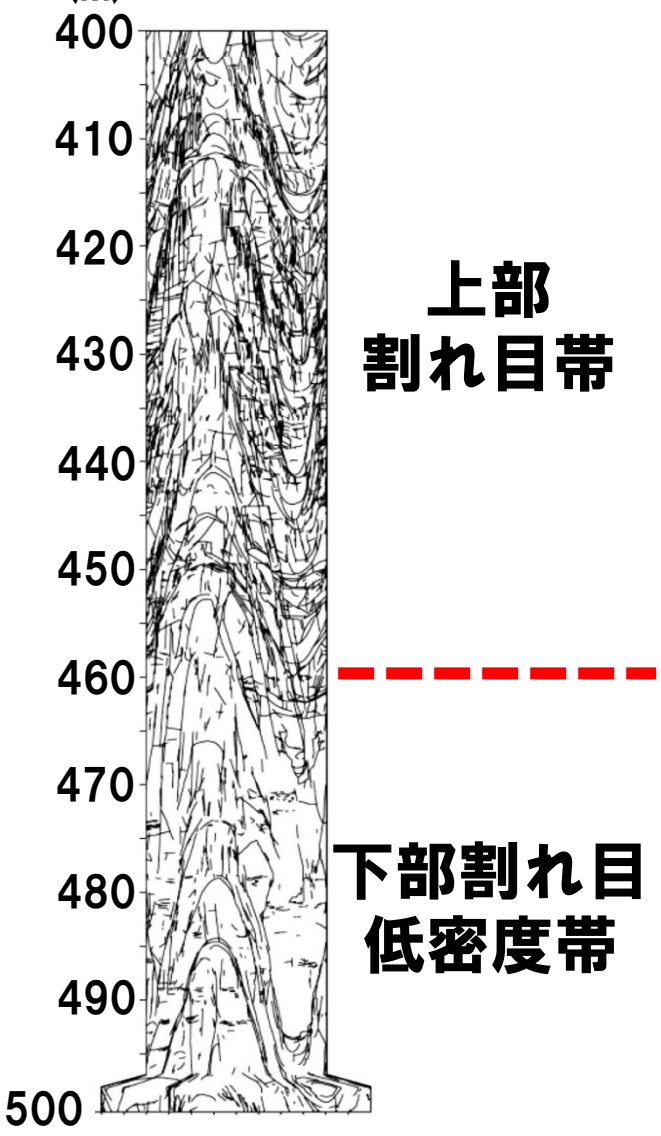
3．研究開発の現状（第2段階）

上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯の境界（深度方向）



3．研究開発の現状（第2段階）

上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯の境界（深度方向）



換気立坑壁面地質調査結果

●割れ目密度

- 低角度割れ目の密度は深度300m以浅で高い
- 高角度割れ目の密度は深度250m以深から深度とともに増加する
- 割れ目密度は深度460m以深で顕著に低下する

●卓越方向

- 高角度割れ目は深度300m付近を境に浅部は北北西走向が卓越し、深部は北東走向が卓越する

●切断関係

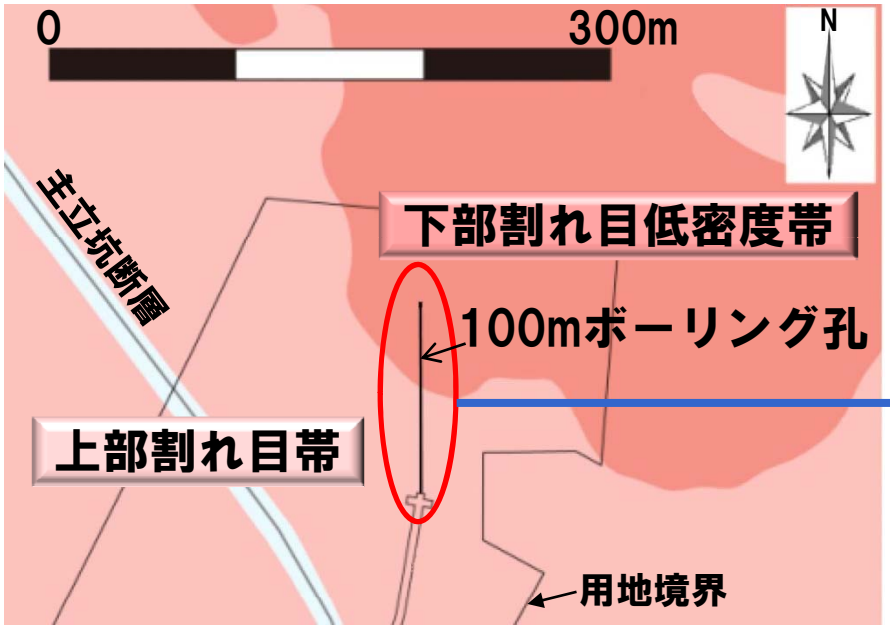
- 低角度割れ目は高角度割れ目を切断しない場合が多い

●充填鉱物

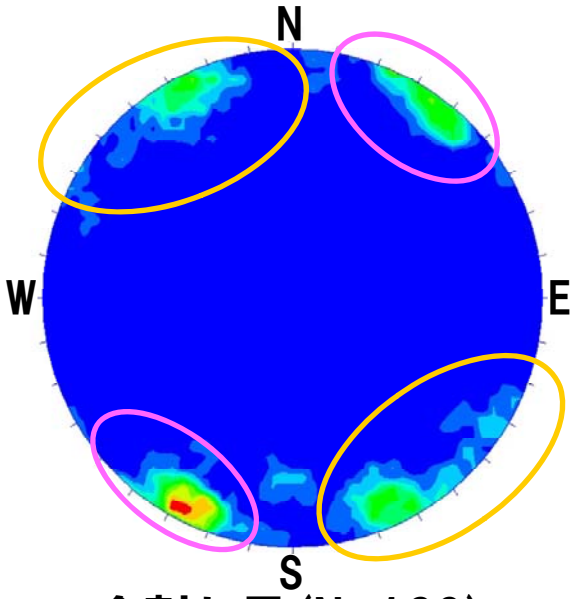
- 低角度割れ目は充填鉱物がみられない、あるいは炭酸塩鉱物の場合が多い
- 高角度割れ目は充填鉱物として炭酸塩鉱物と粘土鉱物の両方を含む場合が多い

3．研究開発の現状（第2段階）

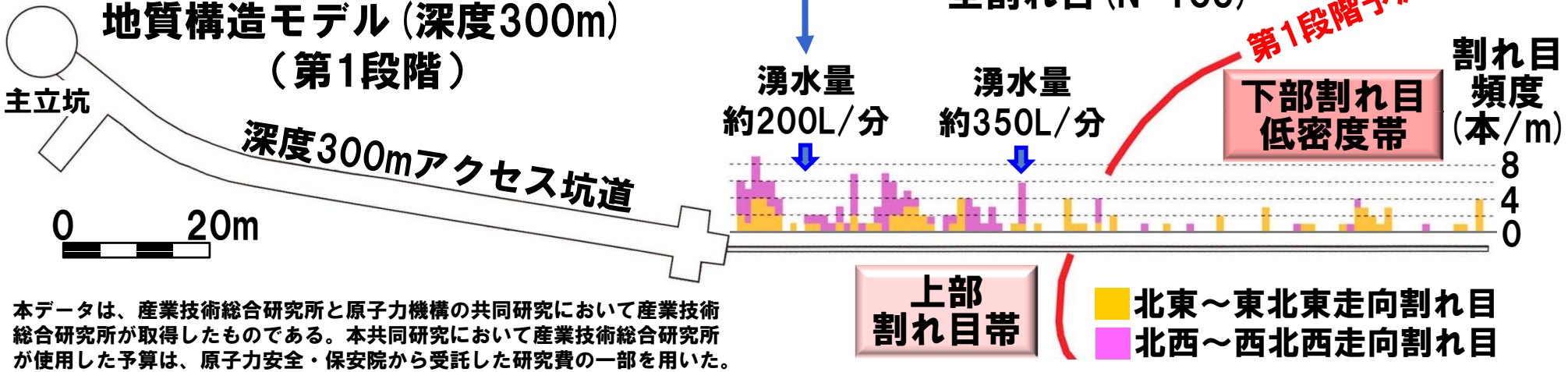
上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯の境界（水平方向）



地質構造モデル（深度300m）
（第1段階）



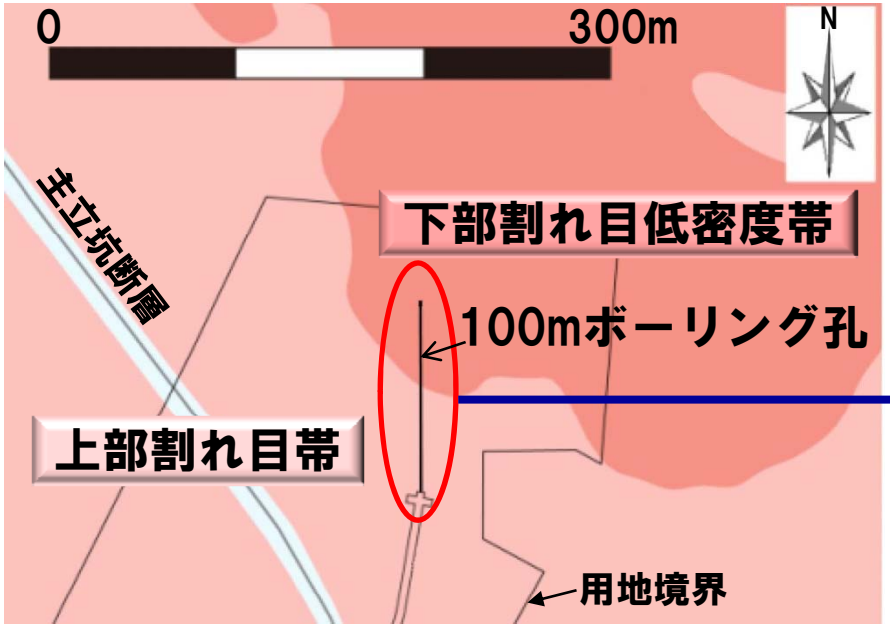
全割れ目（N=163）



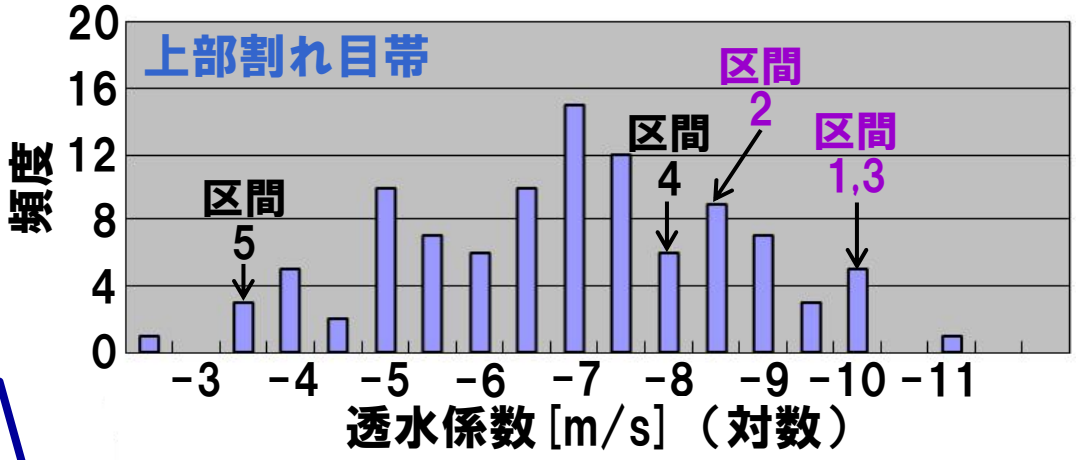
本データは、産業技術総合研究所と原子力機構の共同研究において産業技術総合研究所が取得したものである。本共同研究において産業技術総合研究所が使用した予算は、原子力安全・保安院から受託した研究費の一部を用いた。

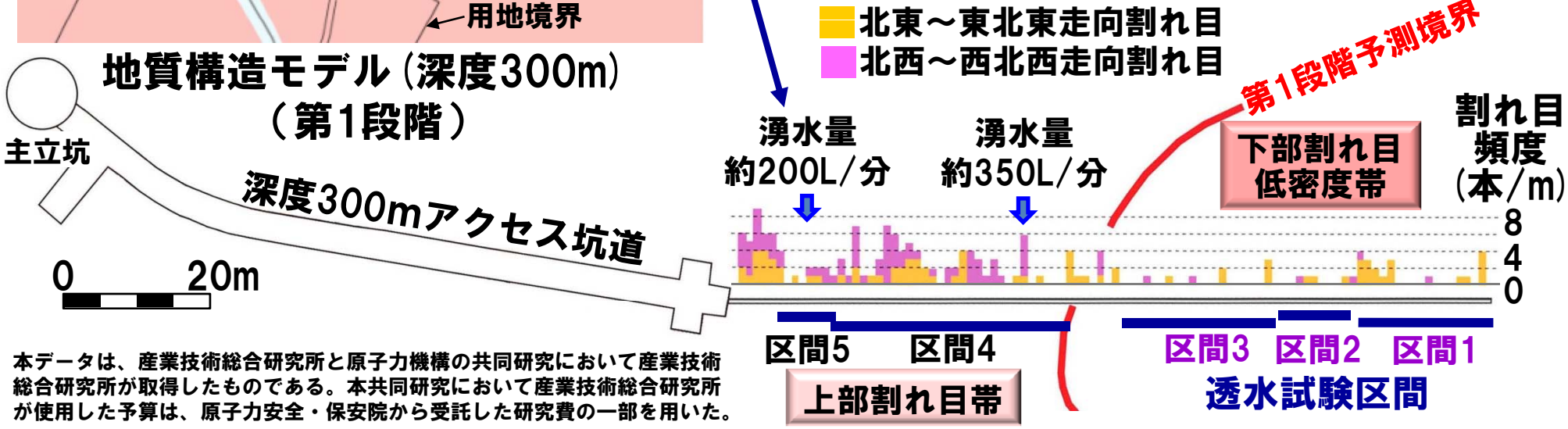
3．研究開発の現状（第2段階）

上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯の透水性



地質構造モデル（深度300m）
（第1段階）

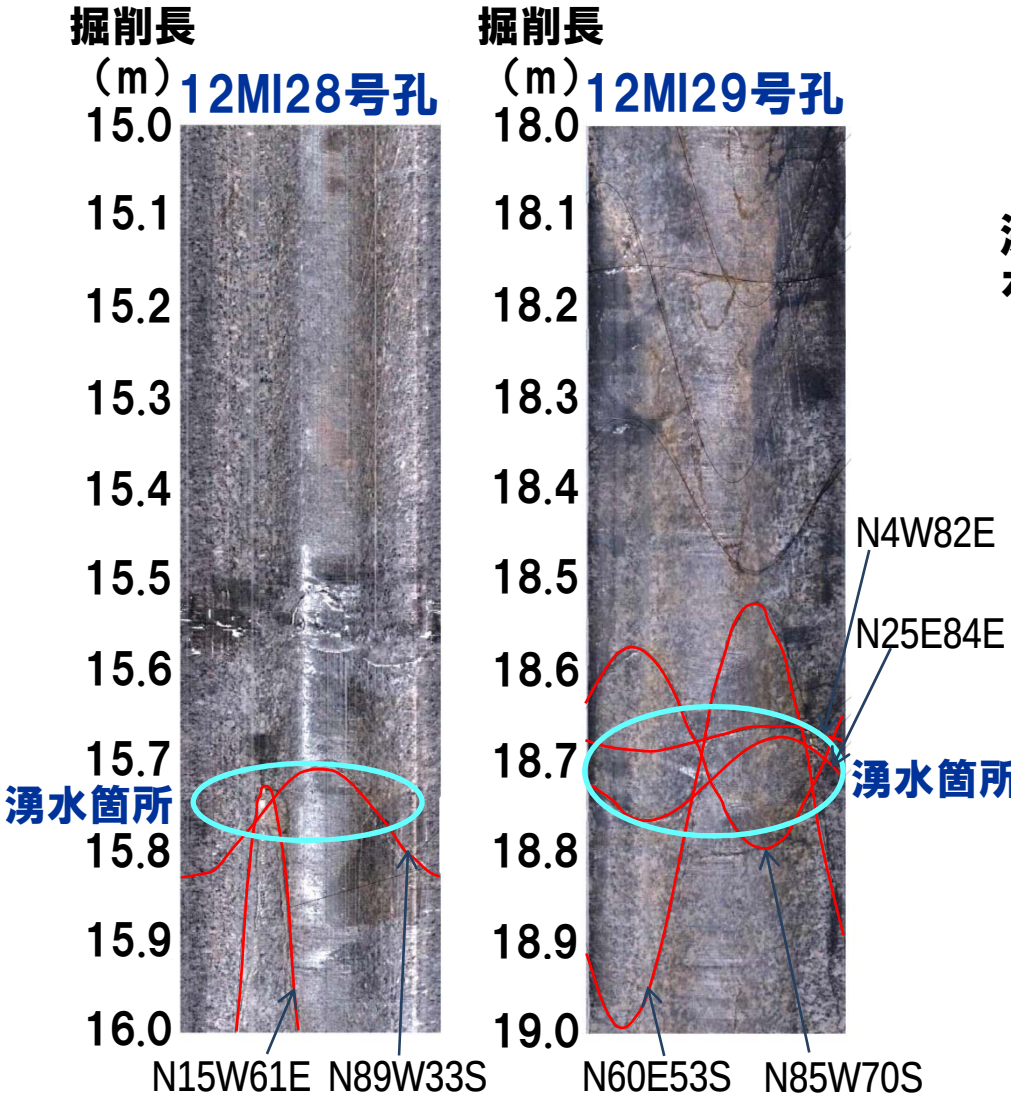


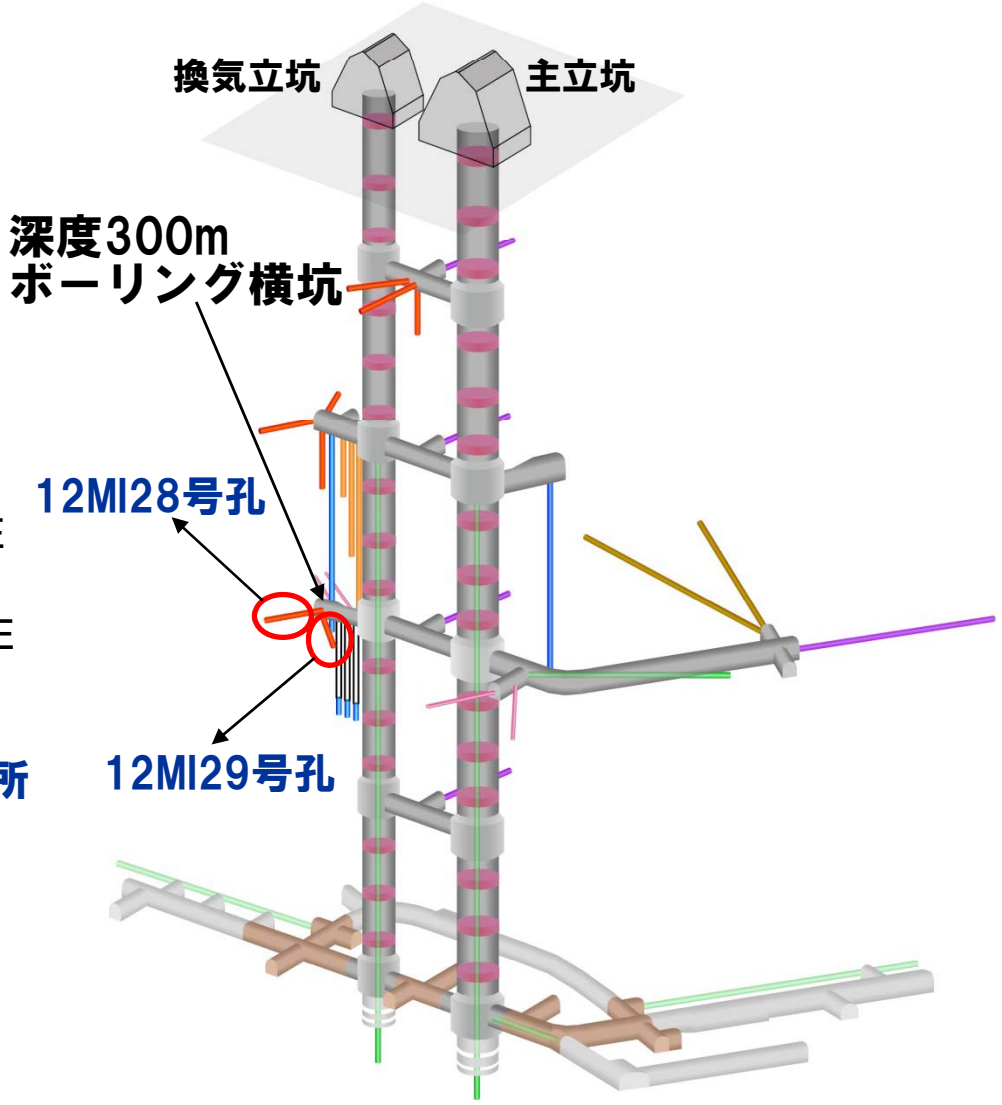


本データは、産業技術総合研究所と原子力機構の共同研究において産業技術総合研究所が取得したものである。本共同研究において産業技術総合研究所が使用した予算は、原子力安全・保安院から受託した研究費の一部を用いた。

3．研究開発の現状（第2段階）

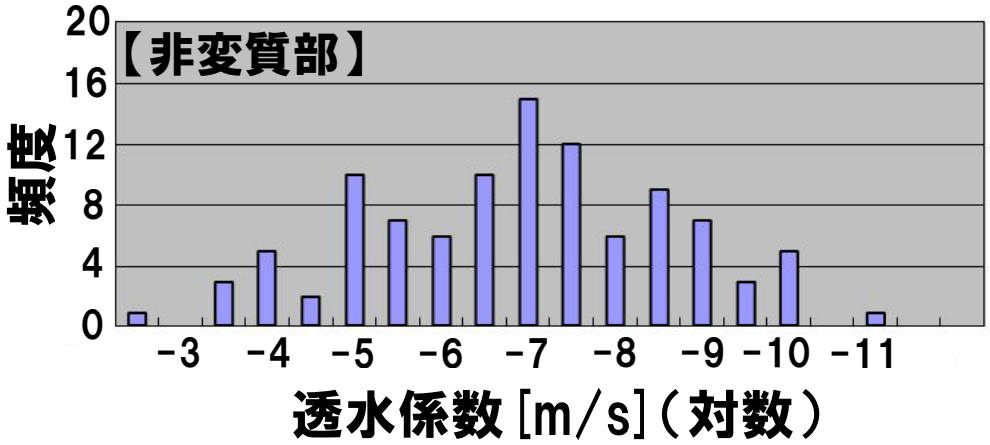
ボーリング孔内での湧水状態（上部割れ目帯）

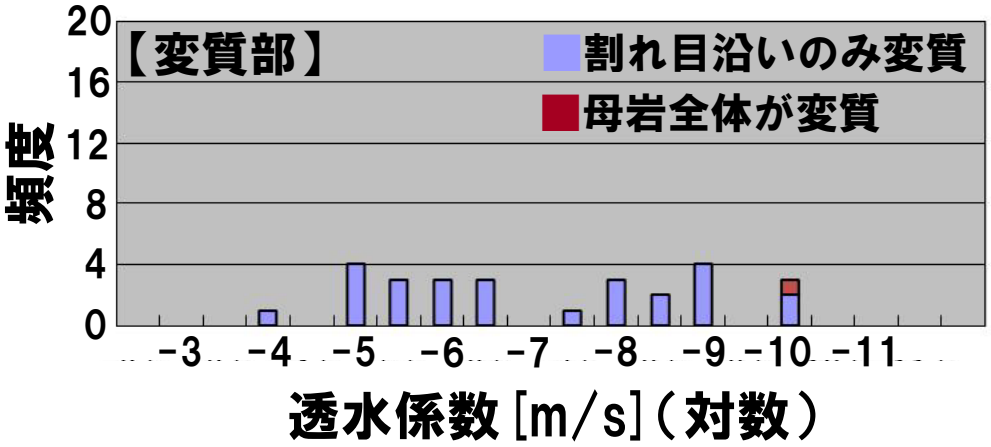




3．研究開発の現状（第2段階）

上部割れ目帯における地質環境特性（岩盤の透水性）





●非変質部の透水係数 [m/s]

平均	5.0E-07
最小	1.0E-11
最大	1.6E-03
標本数	102

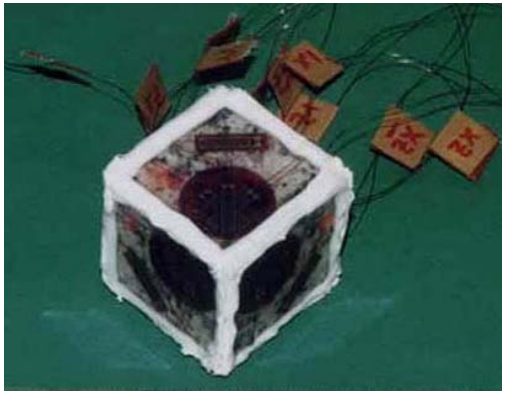
●変質部の透水係数[m/s]

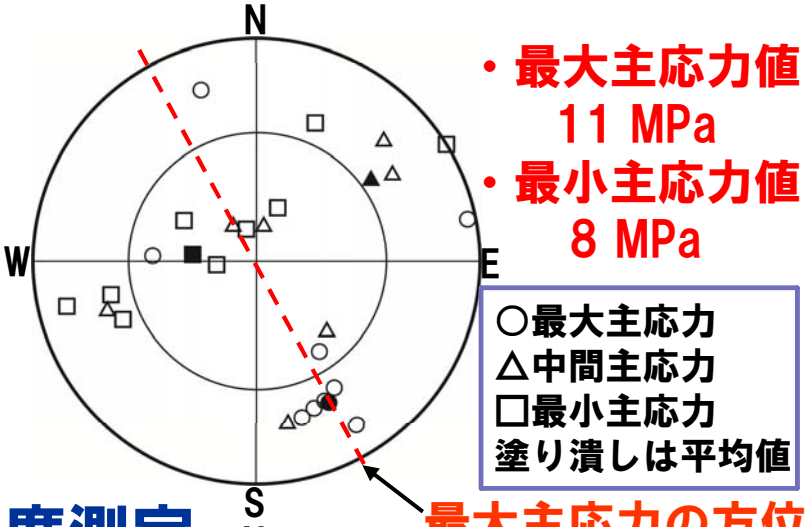
平均	3.9E-08
最小	3.2E-11
最大	6.3E-05
標本数	27

3．研究開発の現状（第2段階）

上部割れ目帯における地質環境特性（岩盤の力学特性）

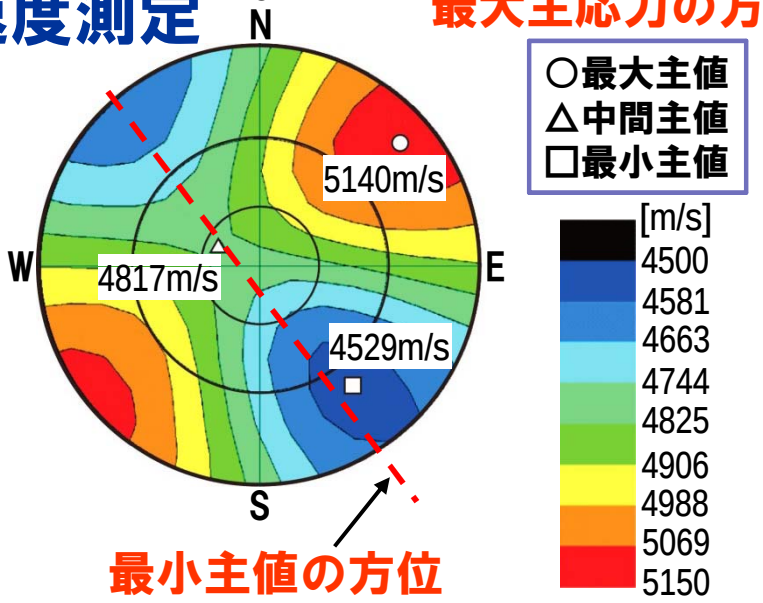
●DSCA試験



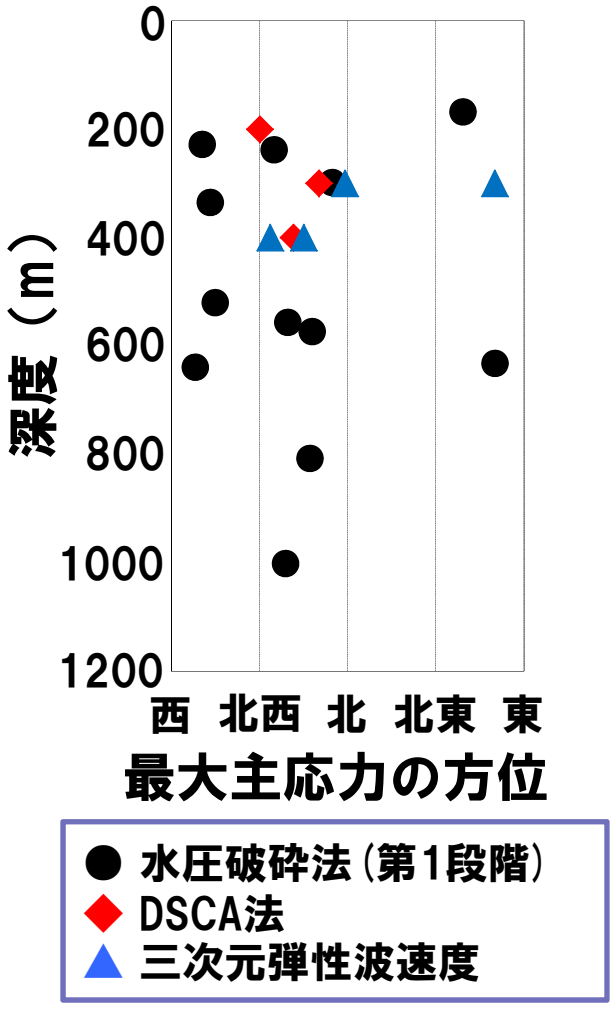


・最大主応力値
11 MPa
・最小主応力値
8 MPa

●三次元弾性波速度測定

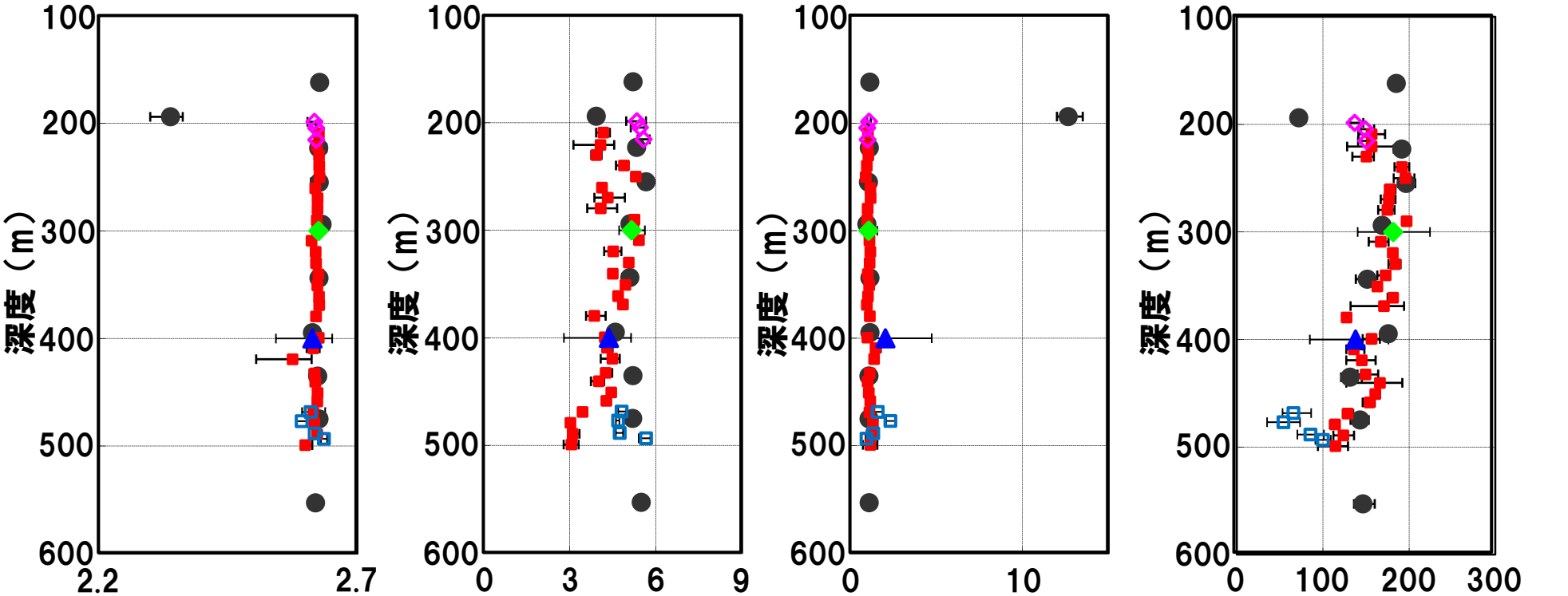


●水圧破砕法との比較



3．研究開発の現状（第2段階）

上部割れ目帯における地質環境特性（岩盤物性）



見かけ比重（乾燥）
平均：2.62

P波速度（km/s）
平均：4.72 km/s

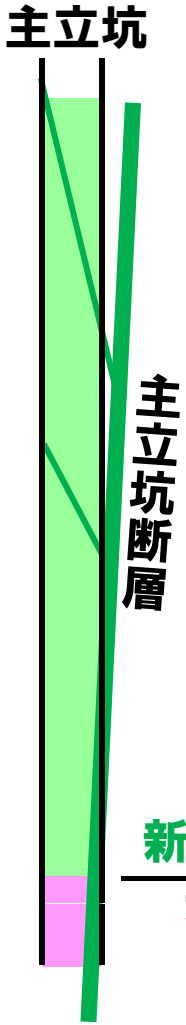
有効間隙率（%）
平均：1.21 %

一軸圧縮強度（MPa）
平均：151.2 MPa

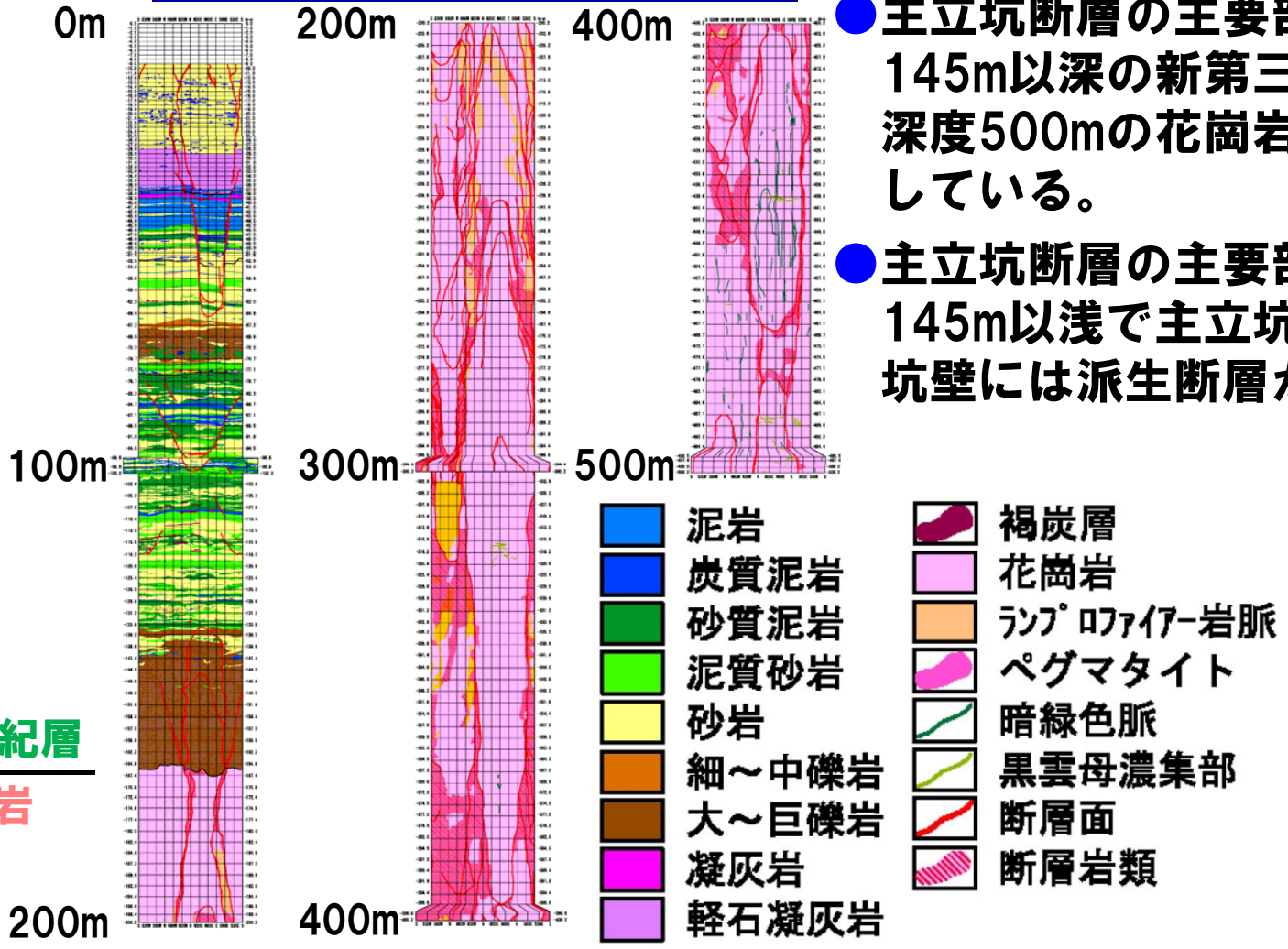
●MIZ - 1号孔（第1段階）
◇深度200m力学調査（08MI14, 08MI15, 08MI16号孔）
◆深度300m力学調査（08MI13, 09MI20号孔）
▲深度400m力学調査（10MI26号孔）
■換気立坑掘削ズリ
□主立坑掘削土ズリ

3．研究開発の現状（第2段階）

主立坑断層の位置・性状：第2段階での調査結果



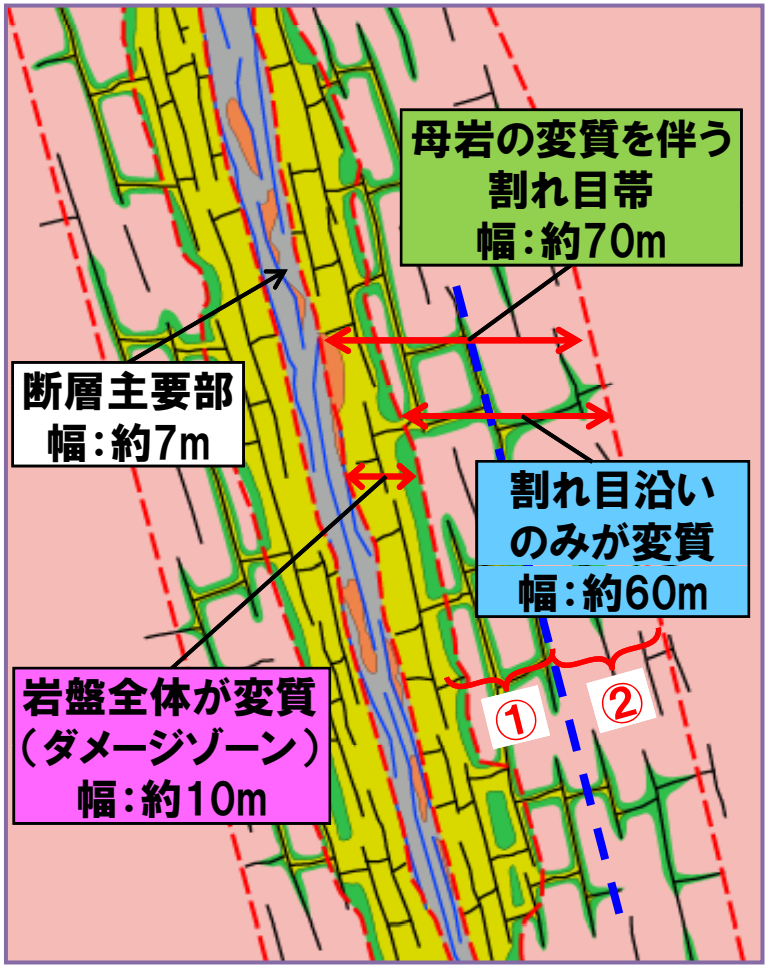
主立坑壁面地質調査結果



- 主立坑断層の主要部は、深度145m以深の新第三紀層から深度500mの花崗岩まで連続している。
- 主立坑断層の主要部は、深度145m以浅で主立坑から離れ、坑壁には派生断層がみられる。

3．研究開発の現状（第2段階）

主立坑断層の位置・性状：第2段階での調査結果



主立坑断層の破砕帯の模式図
（深度300mアクセス坑道・ボーリング調査）

主立坑断層の破砕帯の構造

●断層主要部の岩相

断層ガウジ、断層角礫

●変質部の鉱物

岩盤全体が変質：絹雲母、緑泥石
割れ目沿いのみ変質：絹雲母、緑泥石

●透水性

岩盤全体が変質：3.2E-11 m/s
割れ目沿いにのみ変質
①の部分（幅約20m）：
3.8～5.7E-11 m/s
②の部分（幅約40m）：
6.7E-10 ～9.4E-07 m/s

3．研究開発の現状（第2段階）

坑道掘削影響の把握のための地下水の水圧・水質モニタリング

●地下水の水圧観測

観測孔：用地内地上のボーリング孔…6孔、研究坑道内のボーリング孔…6孔
用地外地上（広域地下水流動研究）のボーリング孔…2孔
観測区間合計：92区間

観測間隔：5分（水位変化量が20cm/分を超えると1分間隔に自動切り替え）

その他：立坑内の集水リング等による研究坑道内の湧水量観測

●地下水の水質観測

観測孔：用地内地上のボーリング孔…3孔、研究坑道内のボーリング孔…5孔
用地外地上（広域地下水流動研究）のボーリング孔…1孔
観測区間合計：80区間

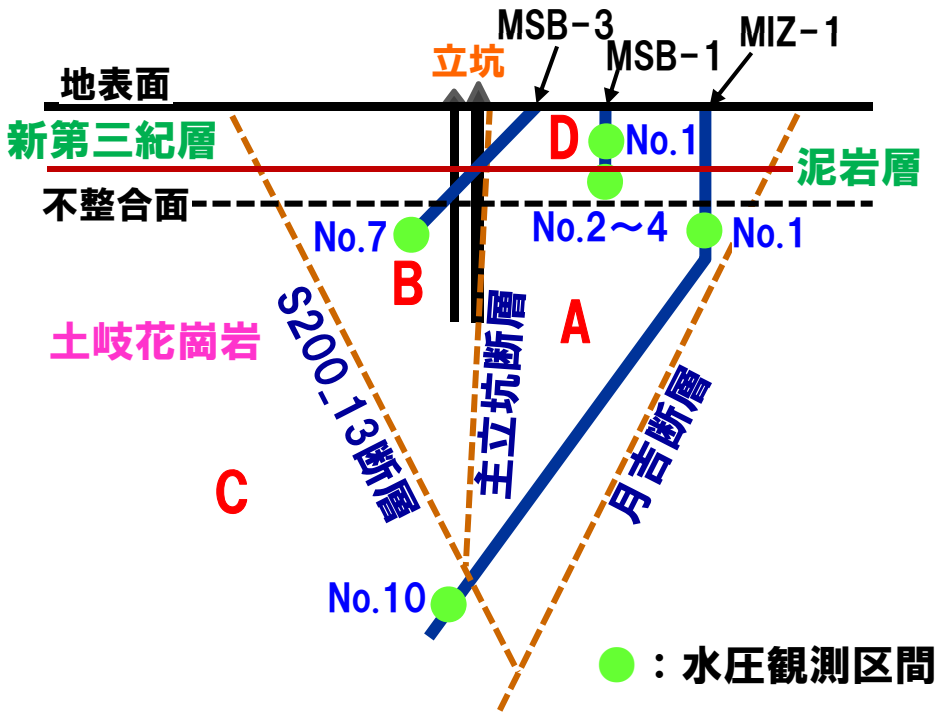
観測間隔：採水→地上：2ヶ月に1回、坑内：1～3ヶ月に1回
物理化学パラメータ→1時間程度（坑内）、地上（採水時）

分析項目：Na, K, NH_4, Mg, Mn, Fe, Al, SO_4, NO_3, NO_2, F, B, Cl, Br, I, PO_4, U,
無機・有機炭素, ウラニン等の蛍光染料

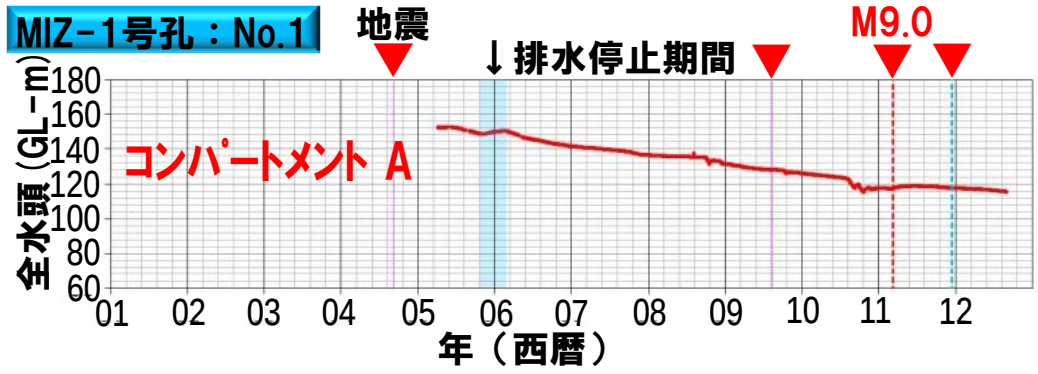
計測項目：pH, EC, Eh, DO, 水温

3．研究開発の現状（第2段階）

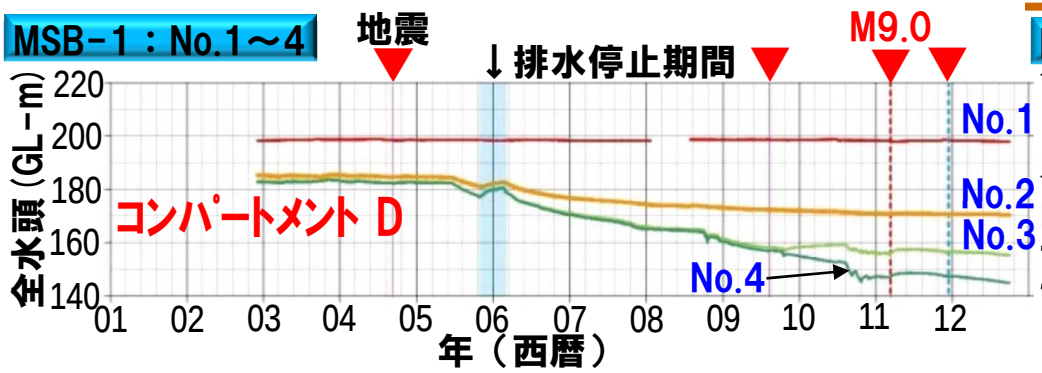
地下水の水圧観測結果



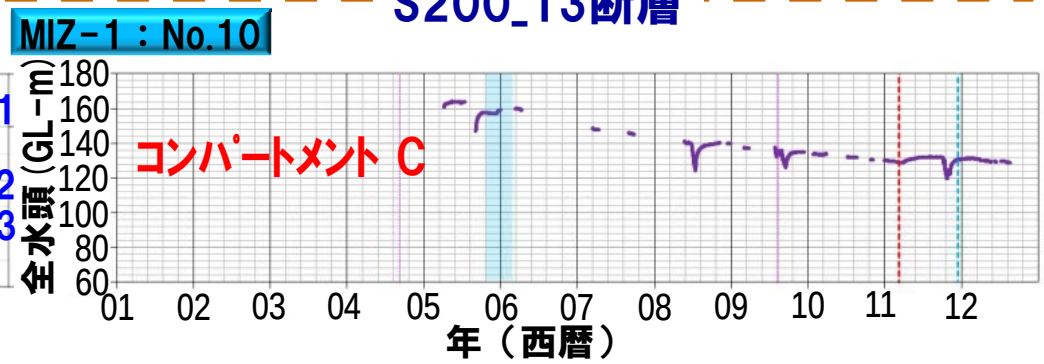
月吉断層



主立坑断層



S200_13断層



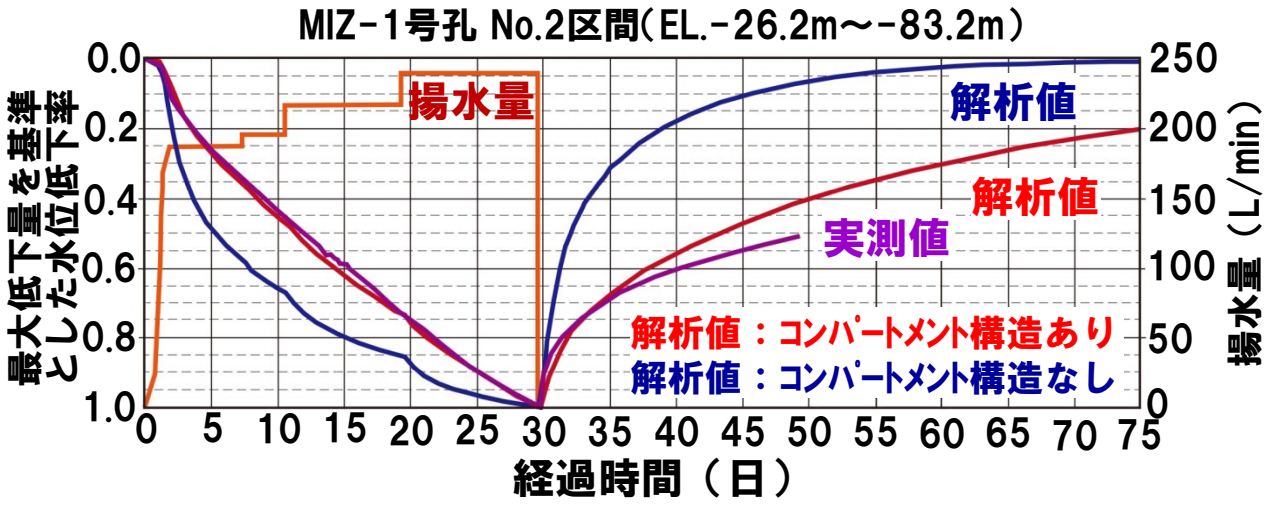
3．研究開発の現状（第2段階）

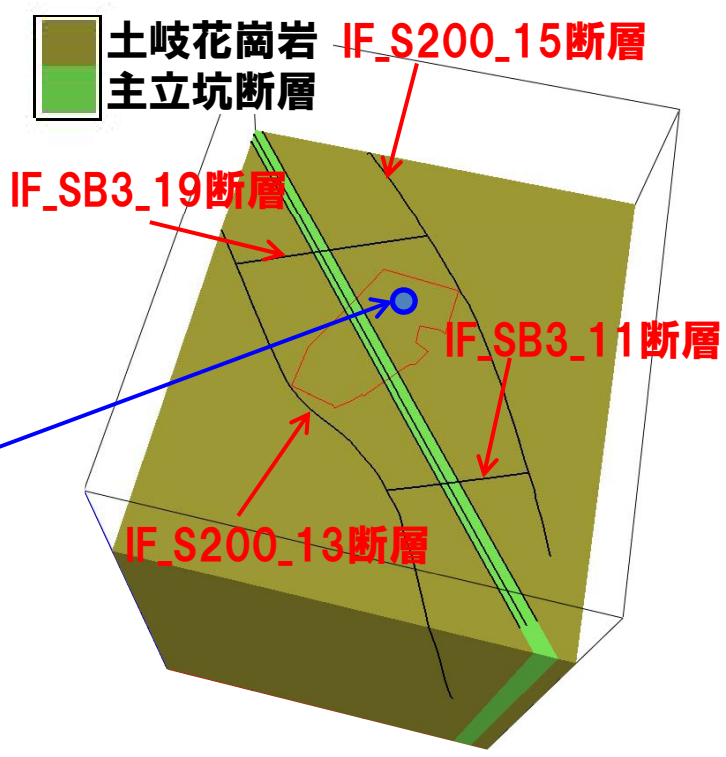
コンパートメント構造を考慮した浸透流解析

●コンパートメント構造の存在の妥当性を
非定常地下水流動解析により確認

解析ケース	水理地質構造の透水係数（m/s）					
	土岐花崗岩	主立坑断層	IF_S200_13断層	IF_S200_15断層	IF_SB3_11断層	IF_SB3_19断層
コンパートメント構造考慮なし	3.2E-08	5.0E-11	3.2E-08	3.2E-08	3.2E-08	3.2E-08
コンパートメント構造考慮あり	3.2E-08	5.0E-11	1.0E-11	1.0E-11	1.0E-11	1.0E-11

坑内ボーリング孔による揚水試験結果のシミュレーション



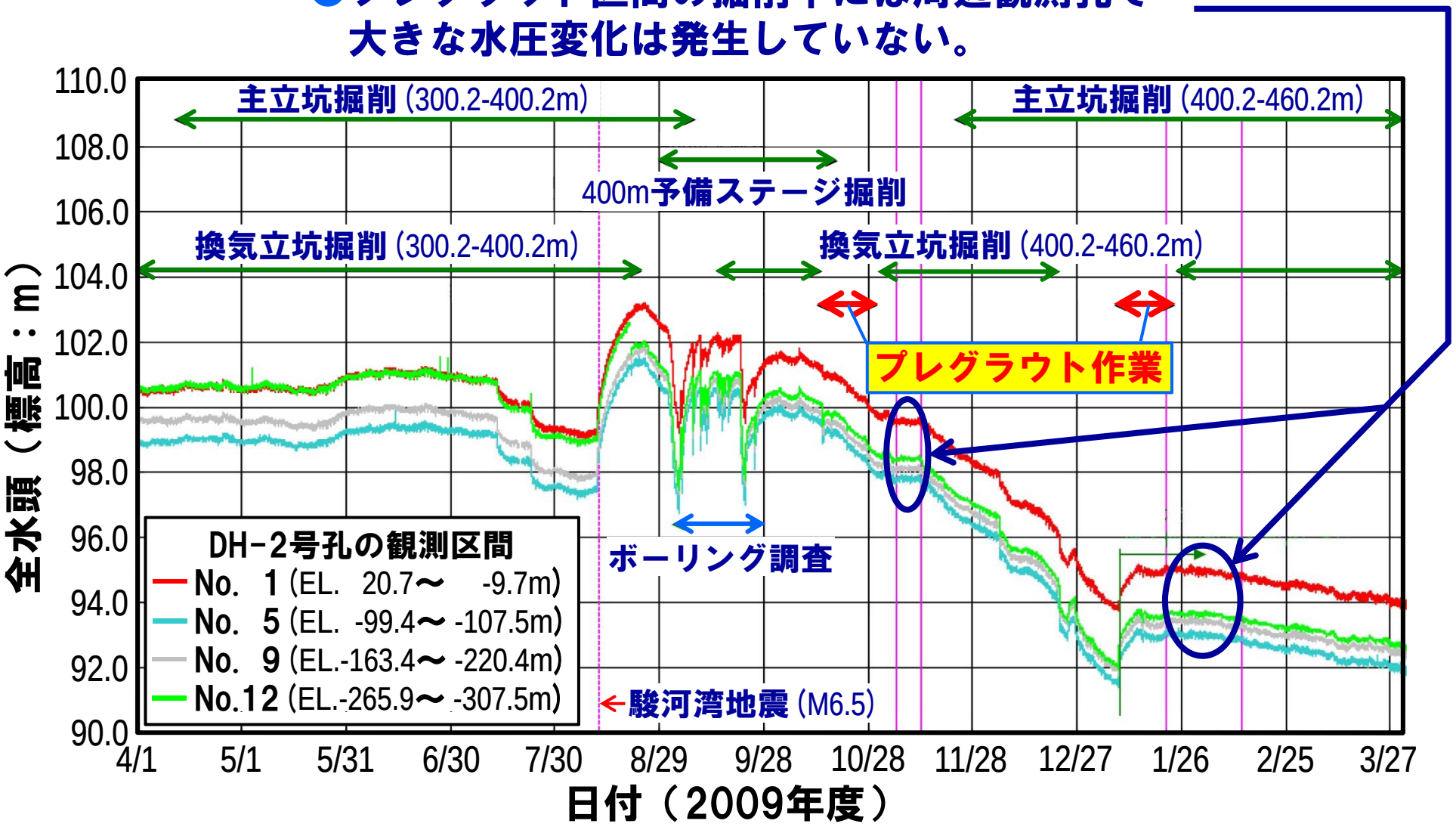


コンパートメント構造を
考慮した水理地質モデル

3．研究開発の現状（第2段階）

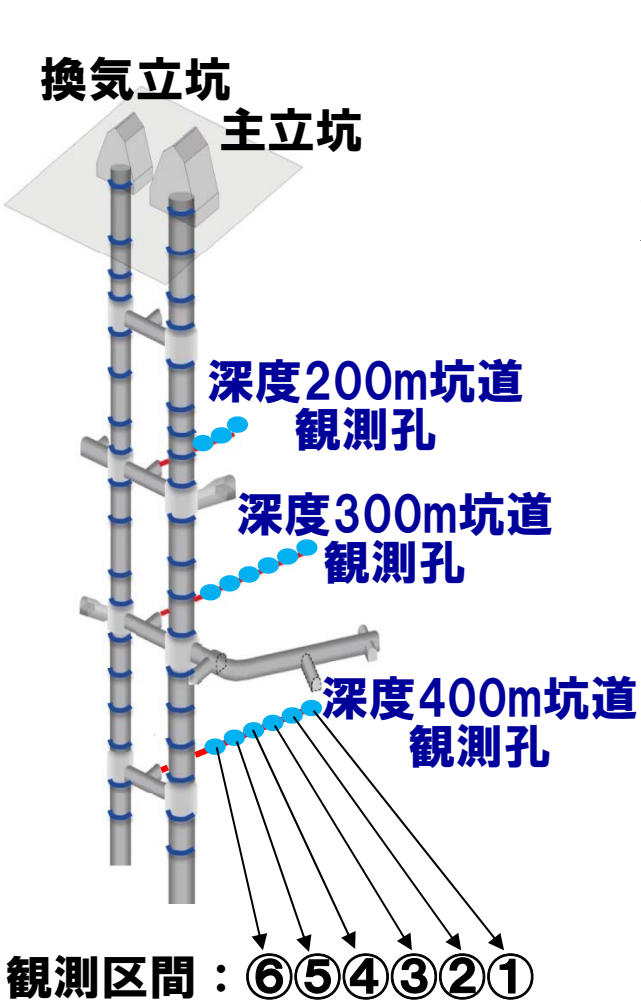
湧水抑制対策（グラウト）の効果

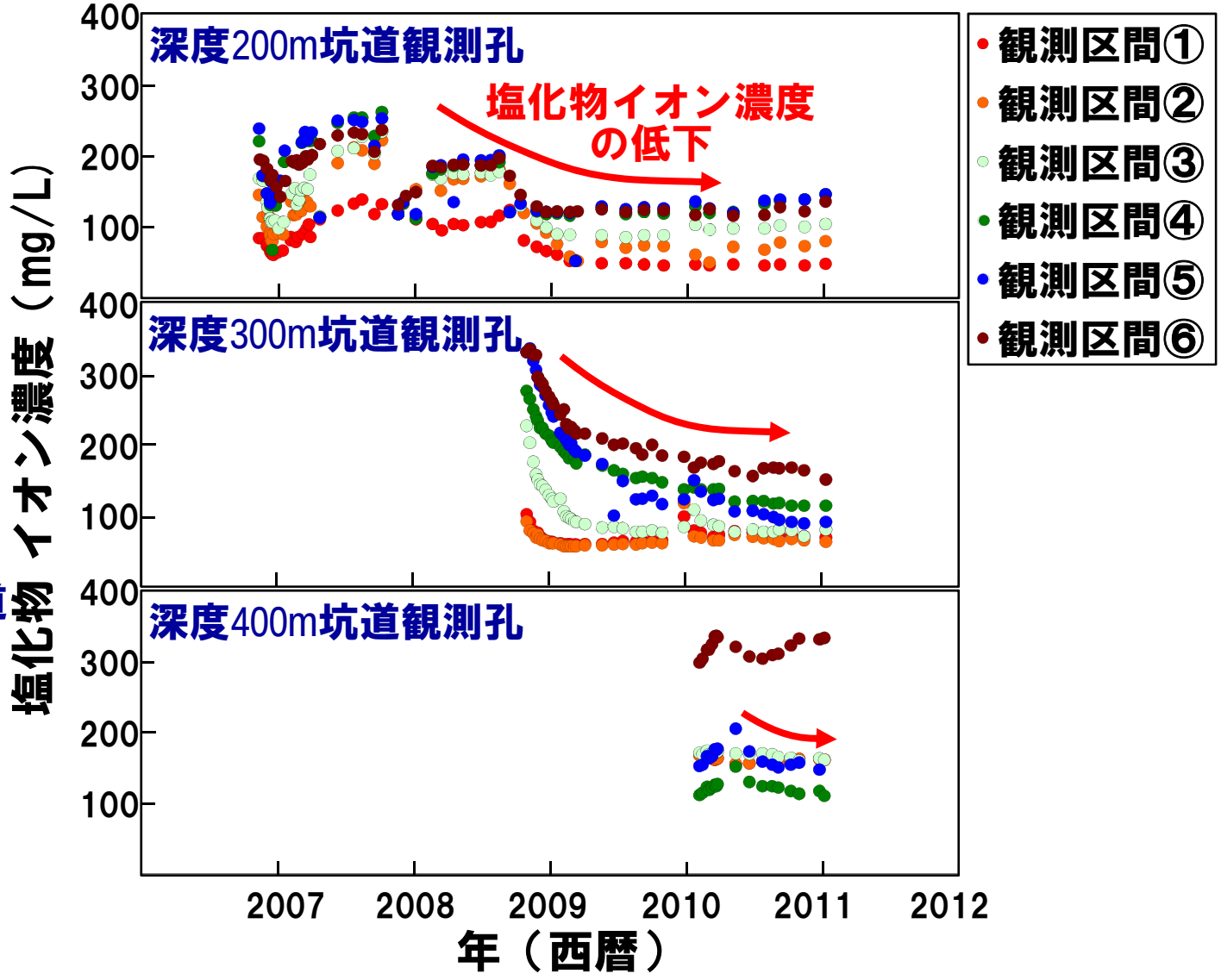
●プレグラウト区間の掘削中には周辺観測孔で
大きな水圧変化は発生していない。



3．研究開発の現状（第2段階）

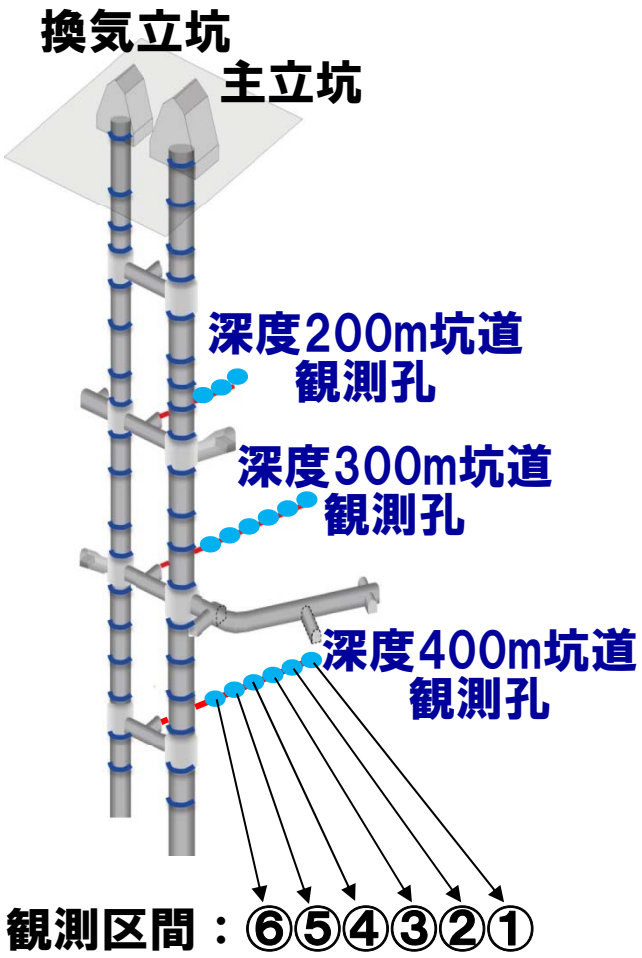
研究坑道周辺の地下水の水質の経年変化

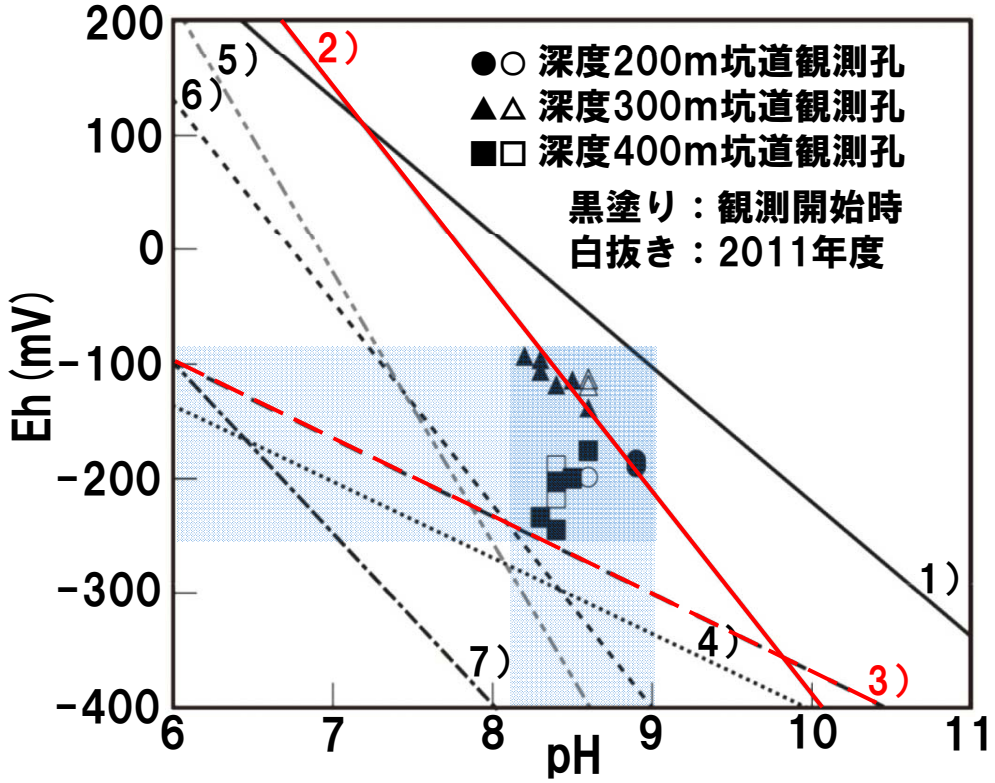




3．研究開発の現状（第2段階）

研究坑道周辺の地下水の物理化学パラメータの経年変化





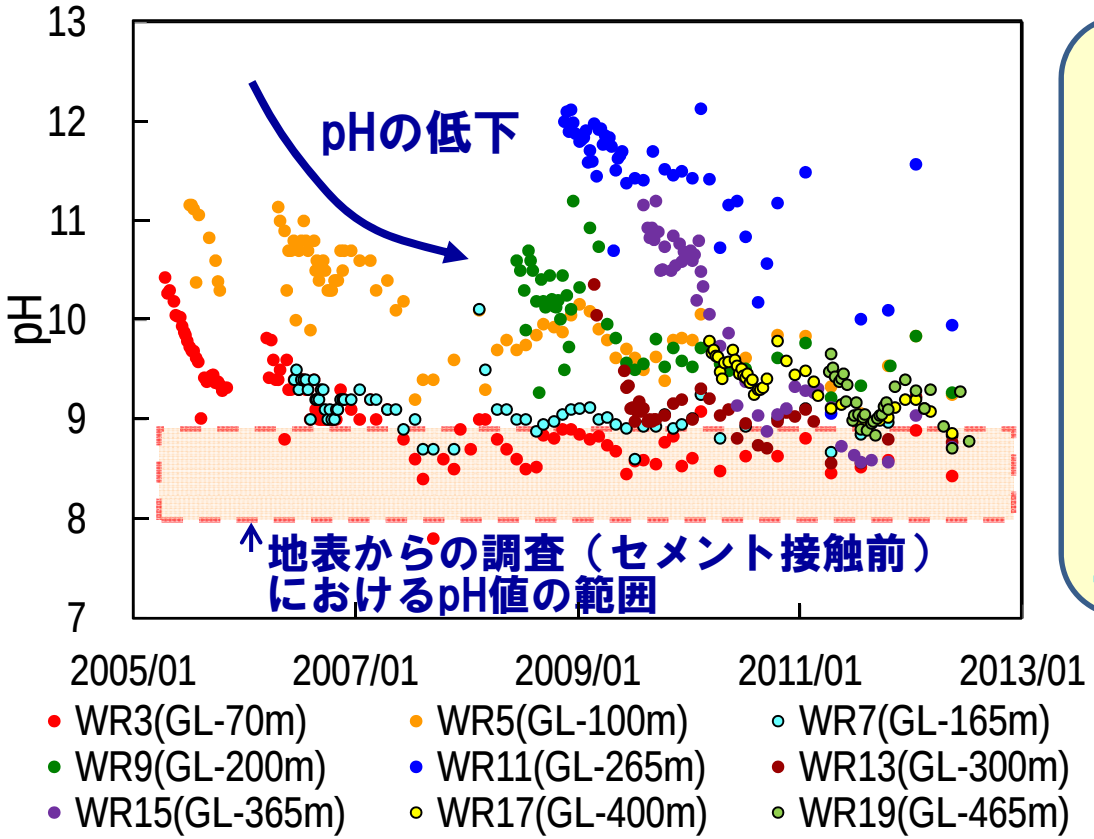
酸化還元反応式

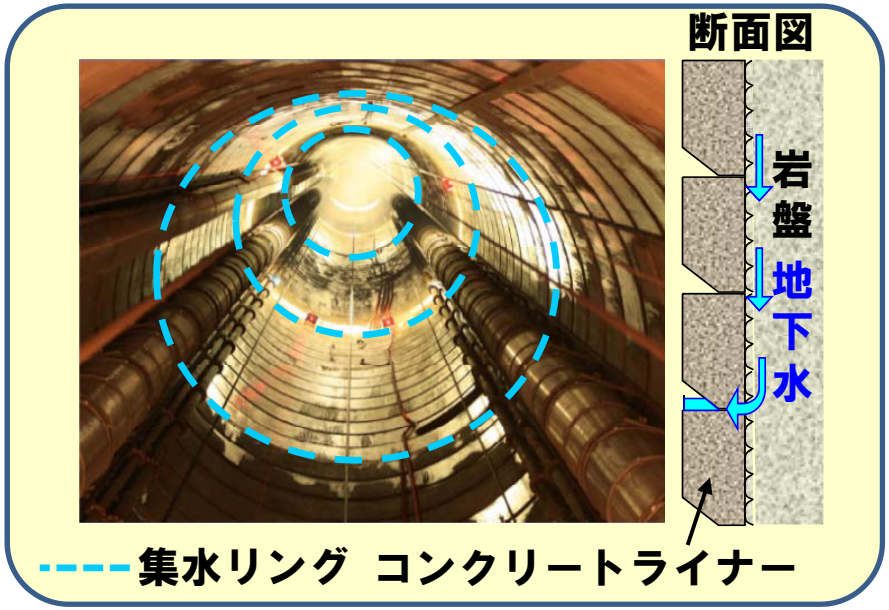
1) $Fe(OH)_3 + 2H^+ + HCO_3 + e^- = FeCO_3 + 3H_2O$ (E^0=1.078)
2) $Fe(OH)_3$ *(am)* $+ 3H^+ + e^- = Fe^{2+} + 3H_2O$ (E^0=1.025)
3) $Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+ + 14e^- = FeS_2 + 8H_2O$ (E^0=0.362)
4) $SO4^{2-} + 9H^+ + 8e^- = HS + 4H_2O$ (E^0=0.249)
5) $Fe_3(OH)_8$ *(s)* $+ 8H^+ + 2e^- = 3Fe^{2+} + 8H_2O$ (E^0=1.102)
6) $Fe(OH)_3$ *(am)* $+ 3H^+ + e^- = Fe^{2+} + 3H_2O$ (E^0=0.836)
7) $Fe_3(OH)_8$ (s) $+ 3HCO_3^- + 5H^+ + 2e^- = 3FeCO_3 + 8H_2O$ (E^0=1.126)

3．研究開発の現状（第2段階）

セメントによる地下水の水質変化

●地下水のpHは1～2年で強アルカリ性から弱アルカリ性へ変化する。





pHの変化の原因となる化学反応

(1) $CaO + H_2O = Ca(OH)_2$

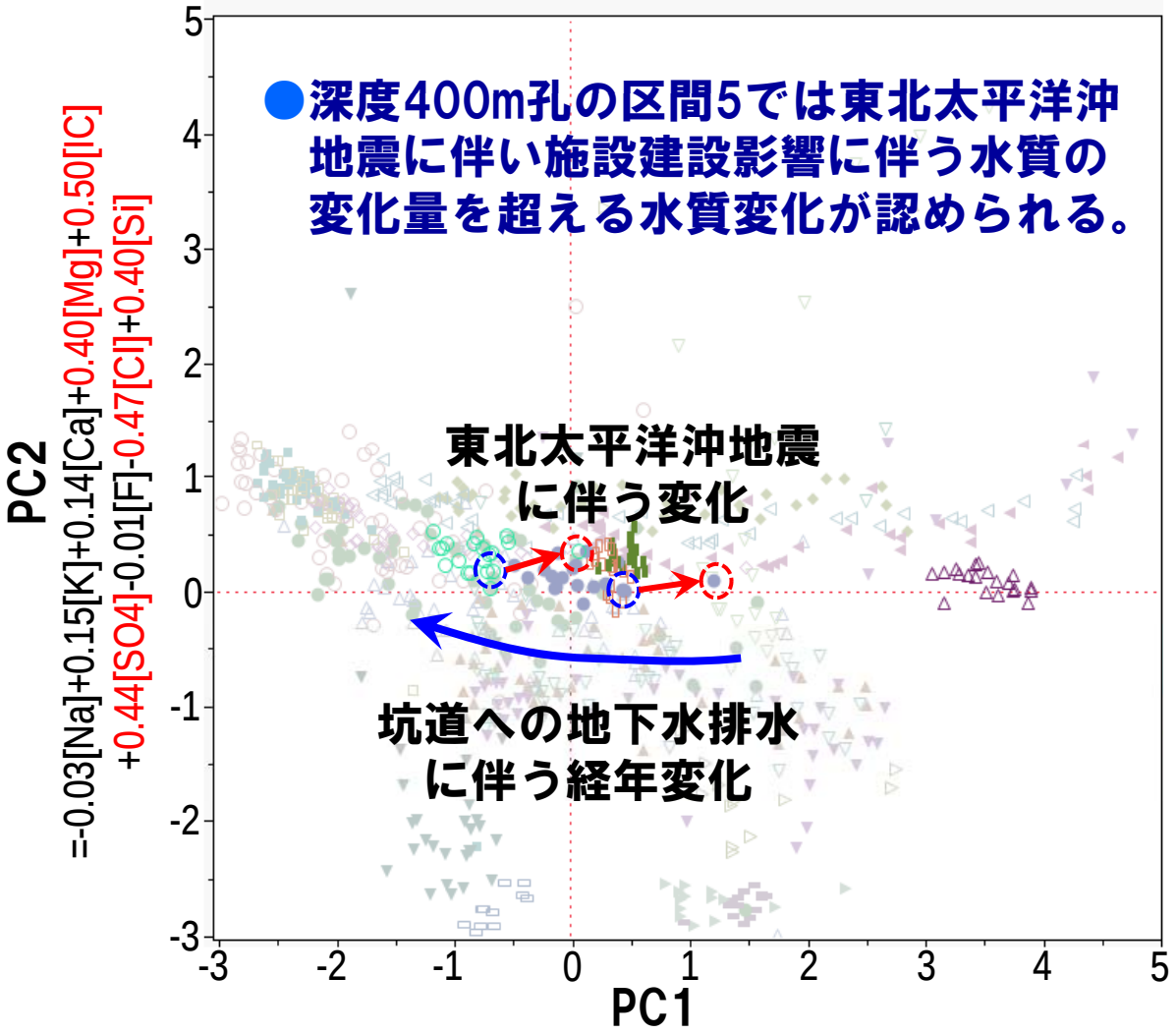
(2) $Ca(OH)_2 = Ca^{2+} + 2OH^-$

(3) $Ca^{2+} + HCO_3^- = CaCO_3 + H^+$

(4) $H^+ + OH^- = H_2O$

3．研究開発の現状（第2段階）

地震動に伴う地下水の水質変化



3．研究開発の現状（第3段階）

第3段階における実施項目

●物質移動に関する調査研究

- 物質移動概念モデルの構築
  （割れ目充填鉱物および透水性割れ目の性状に関する調査）
- ブロックスケールの割れ目ネットワークモデルの構築
- 電力中央研究所との共同研究（ボーリング調査）

●坑道周辺岩盤の地質環境特性の評価に関する調査研究

- 坑道掘削がもたらす坑道周辺の水理的・地球化学的・力学的
  複合現象を把握・評価する技術の構築
- 対策工による坑道周辺岩盤への影響評価

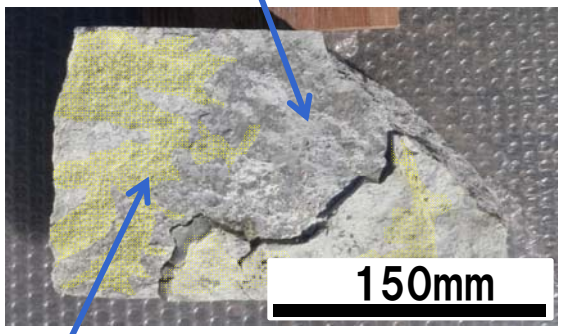
上記項目の試験立案のための文献調査を実施

3．研究開発の現状（第3段階）

物質移動に関する調査研究

●グラウト材が充填されている割れ目を透水性割れ目として着目し
それ以外の割れ目との充填鉱物の種類や母岩の変質状態を比較

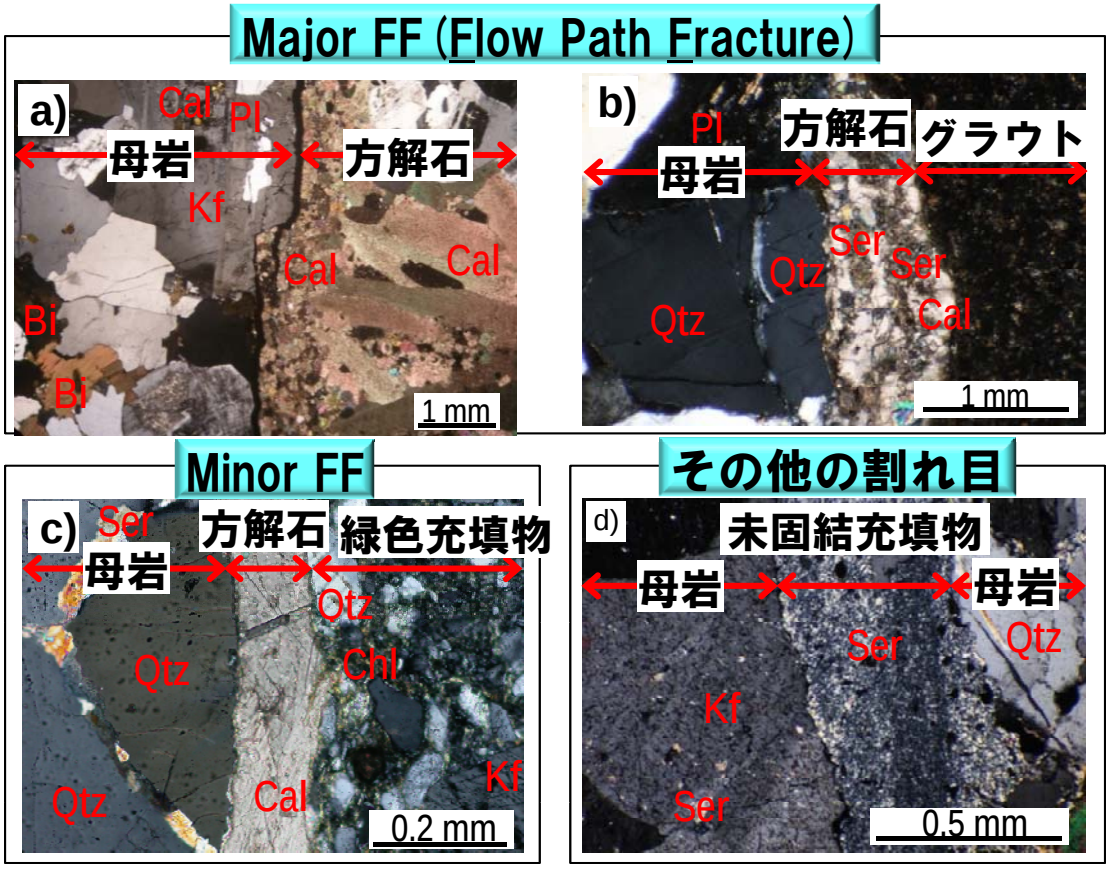
黒色のグラウト材



黄色のグラウト材

●透水性割れ目
- 充填鉱物：方解石
- 変質：母岩の変質なし

●その他の割れ目
- 充填鉱物：絹雲母、緑泥石
- 変質：母岩の変質あり

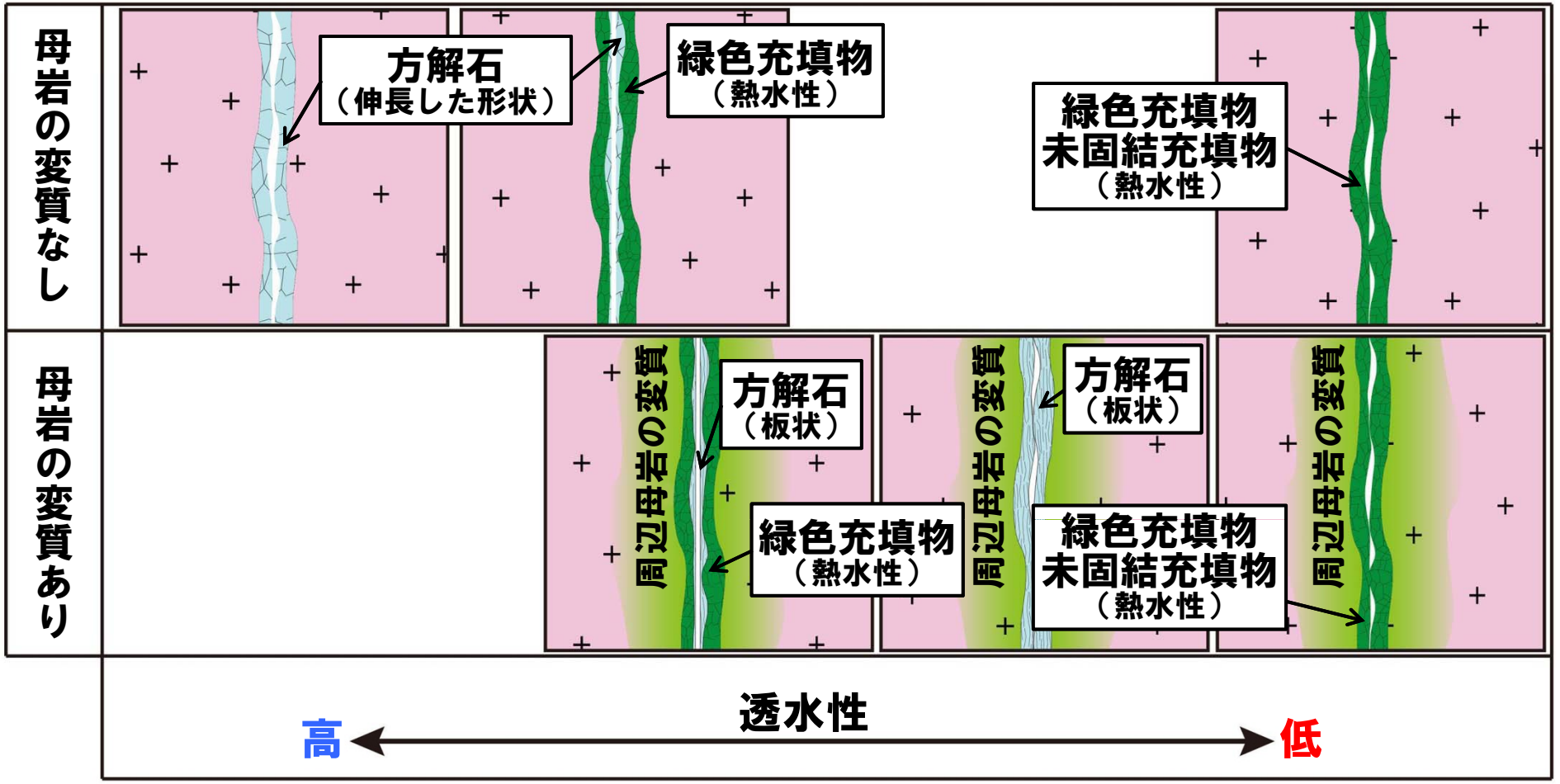


Qtz：石英，Kf：カリ長石，Pl：斜長石，Bi：黒雲母
Ser：絹雲母，Chl：緑泥石，Cal：方解石

3．研究開発の現状（第3段階）

物質移動に関する調査研究

●割れ目の透水性と地質学的特徴との関係



4. 第2期中期計画取りまとめに向けた今後の予定

原子力機構の第２期中期計画

●**第2期中期計画期間：平成22年度～平成26年度 （5年間）**

- **国の中期目標「原子力機構が達成すべき業務運営に関する目標」**
- **機構の中期計画「原子力機構の中期目標を達成するための計画」**

深地層の研究施設計画として、**超深地層研究所計画**（結晶質岩：岐阜県瑞浪市）と幌延深地層研究計画（堆積岩：北海道幌延町）を進める。

これまでの研究開発で明らかとなった**深地層環境の深度（瑞浪:地下500m程度**、幌延:地下350m程度）まで坑道を掘削しながら調査研究を実施し、得られる地質環境データに基づき、**調査技術やモデル化手法の妥当性評価及び**深地層における**工学技術の適用性確認**を行う。

これにより、平成26年度（2014年度）までに、**地質環境の調査手法、地下施設建設に伴う影響範囲のモニタリング方法**等の**地上からの精密調査の段階に必要となる技術基盤**を整備し、**実施主体**や**安全規制機関**に提供する。

4. 第2期中期計画取りまとめに向けた今後の予定

第2期中期計画期間（平成22～26年度）における実施項目

①研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握

- 研究坑道の掘削・坑内ボーリング調査等から取得された情報に基づく第1段階での地質環境モデルおよび調査解析技術の評価

→深地層環境（深度500m）での地質構造および各種特性の把握

- 研究坑道掘削に伴う地質環境の変化のモニタリングからの情報に基づく坑道掘削が周辺の地質環境に与えた影響等の評価

→研究坑道掘削に伴う地下水の水圧・水質の変化の把握

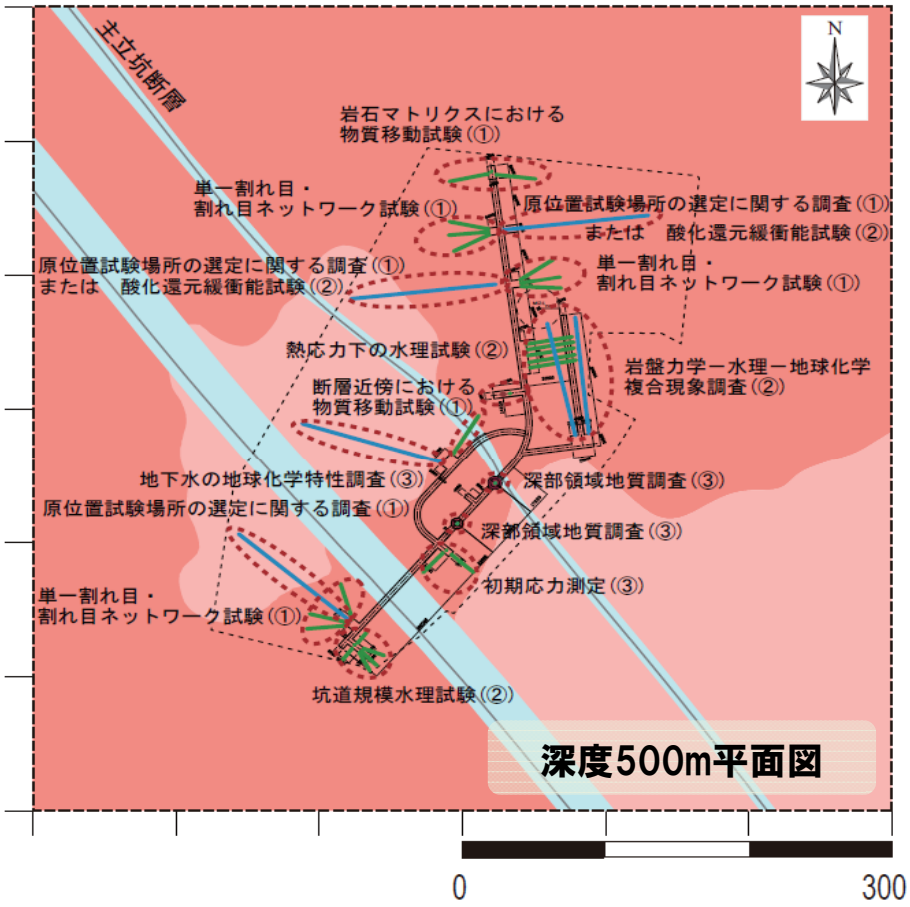
②研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認

- 深度500mまでの主立坑・換気立坑および水平坑道の掘削工事を通して大深度での設計・施工計画構築技術の妥当性、建設・施工対策・安全確保に関わる技術の適用性の評価

4. 第2期中期計画取りまとめに向けた今後の予定

第2期中期計画期間（平成22～26年度）における実施項目

③第3段階の研究計画の具体化



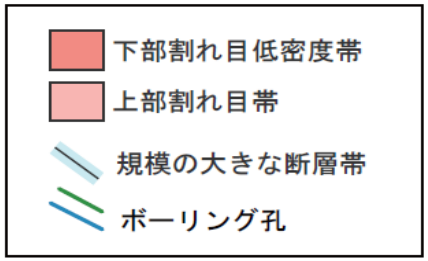
①：物質移動現象・特性の評価に関する調査研究

②：坑道周辺岩盤の地質環境特性の評価に関する研究

③：個別の地質環境評価

※施工対策影響評価試験（②）

（実施場所については，湧水状況などに基づき決定）



研究を実施する場所、坑道の位置や長さなどは計画であり、地質環境や施工条件などにより決定していく。

※研究計画の具体化検討中