

深地層の研究施設計画に関する報告会2020

3. 超深地層研究所計画(瑞浪)

2) 研究成果トピックス (亀裂性岩盤の水理学的な不均質性のモデル化技術)

2020年12月1日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門
東濃地科学センター 地層科学研究部

尾上 博則

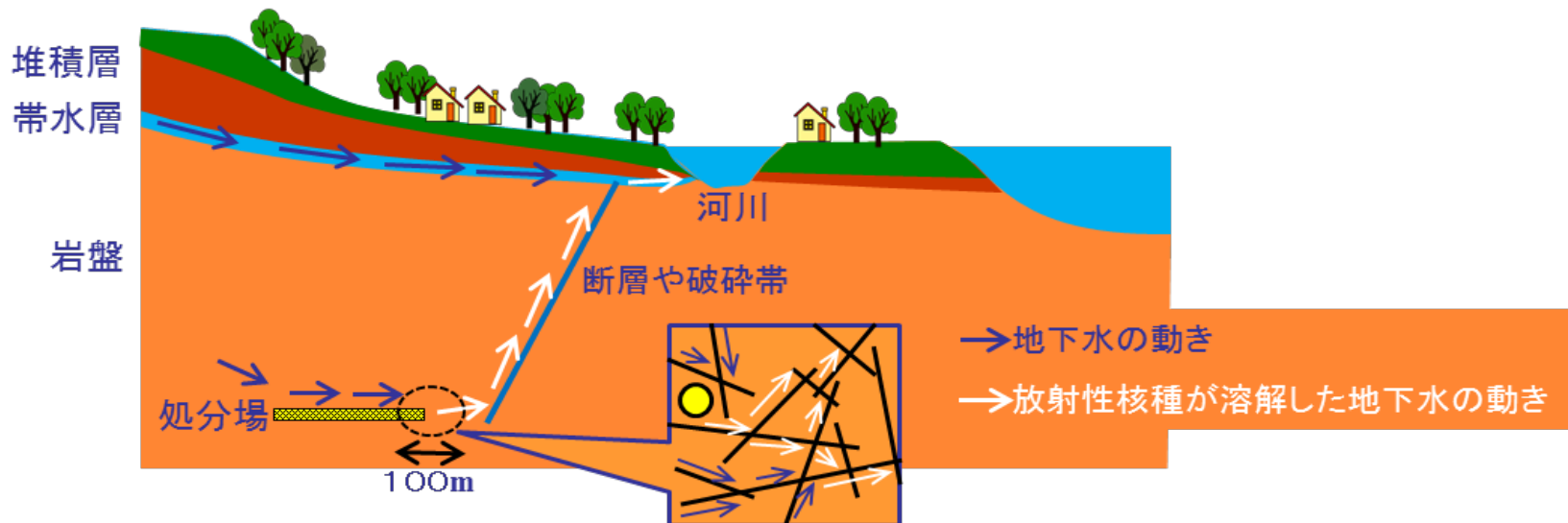
報告の内容

- **研究の背景・目標**
- **実施内容**
- **研究成果の概要**
- **研究成果の活用と今後の展望**

研究の背景・目標

地層処分における安全評価

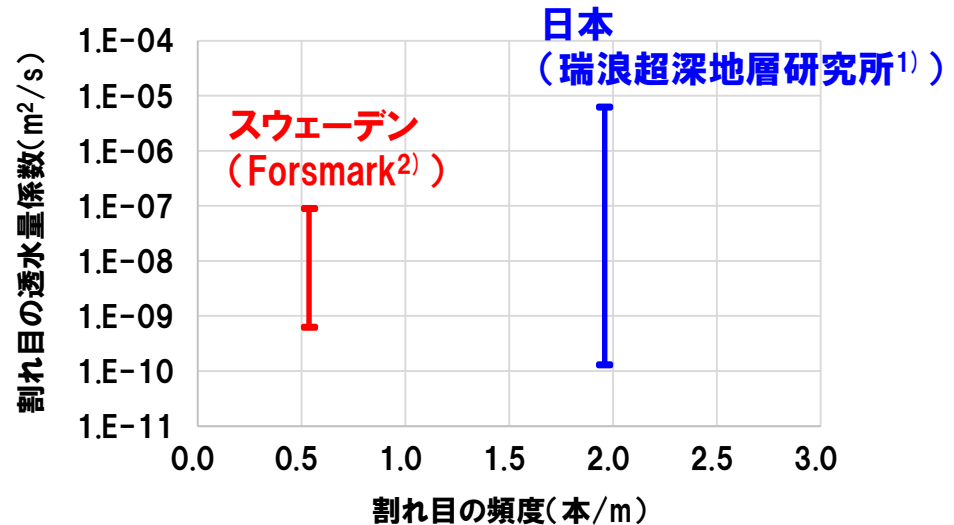
- ✓ 結晶質岩に代表される亀裂性岩盤を対象とした場合、地下水や放射性核種の移行経路となる割れ目の地質学的特性や水理学的特性の把握が重要
- ✓ 割れ目の特性は不均質であり、直接的に全ての割れ目の情報は取得できないため、割れ目の不均質性を確率論的に表現可能な亀裂ネットワークモデル(Discrete Fracture Network Model; DFN model)を用いたアプローチの適用が一般的



研究目標

- ✓ 諸外国と比較すると、日本の結晶質岩は、割れ目の密度が高くかつ、割れ目の透水性のばらつきが大きい

1) M. Ishibashi et al., 2016, 2) SKB, 2008



深度500m付近の割れ目の特徴

- ✓ 既往研究では、割れ目特性に起因した岩盤の幅広い透水性の再現が困難
- ✓ 日本の岩盤を対象として、地下坑道での調査に基づくDFNモデルの構築やモデルの信頼性確認、さらには岩盤特性の評価に至る一連の方法論の体系化が課題



【研究目標】

- ✓ 岩盤内に分布する割れ目の密度や透水性のばらつきやそれらに起因した水圧分布などの不均質性を再現可能なDFNモデル化技術の構築

実施内容

中長期計画における超深地層研究所計画の研究課題

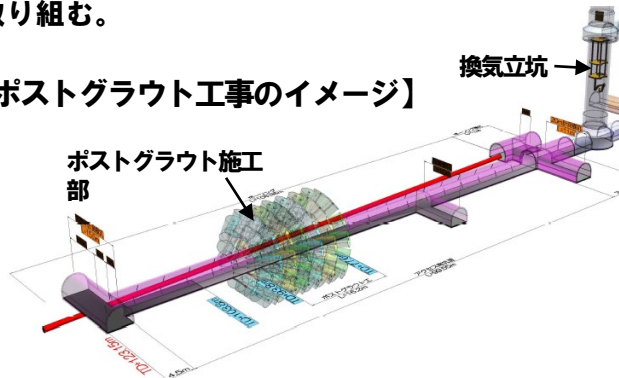
①地下坑道における工学的対策技術の開発

- ◆大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術
 - ◆地下水管理技術
- 【概要】

深度500mの研究坑道において、坑道への湧水量をプレグラウトとポストグラウトの組合せによって制御可能とするウォータータイトグラウト施工技術を実証する。

また、地下水排水処理技術等の地下水管理技術の高度化にも取り組む。

【ポストグラウト工事のイメージ】

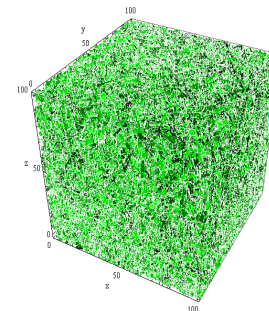


②物質移動モデル化技術の開発

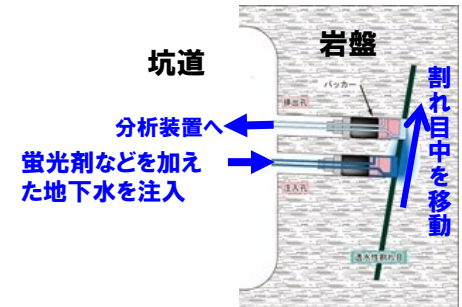
- ◆長期的な変遷を含めた地下深部におけるわが国固有の亀裂ネットワーク中の地下水流動・物質移動に関する試験及びモデル化技術
- 【概要】

深度500mの研究坑道において、花崗岩中の割れ目での物質の移動現象を理解し、モデル化するための調査解析を実施する。

また、割れ目の透水性及び地下水の流動・水質の長期的変化や地下水流動の緩慢さを明らかにするための調査を実施する。



【割れ目分布モデル】

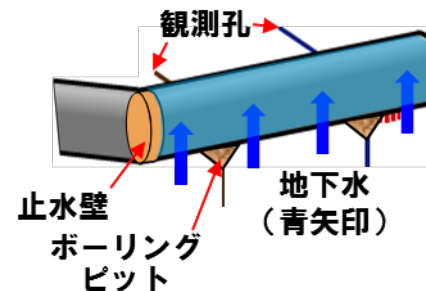


【研究坑道内での物質移動試験の例】

③坑道埋め戻し技術の開発

- ◆坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術
 - ◆長期モニタリング技術など
- 【概要】

深度500mの研究坑道において、坑道の一部を埋め戻し、地下水を自然に冠水させることによって、地下水の水圧・水質及び坑道周辺岩盤の化学的・力学的変化を観察し、地質環境の回復能力等を評価すると共に、地質環境に応じた埋め戻し技術の構築を目指す。また、長期の観測に必要なモニタリング技術の開発も実施する。



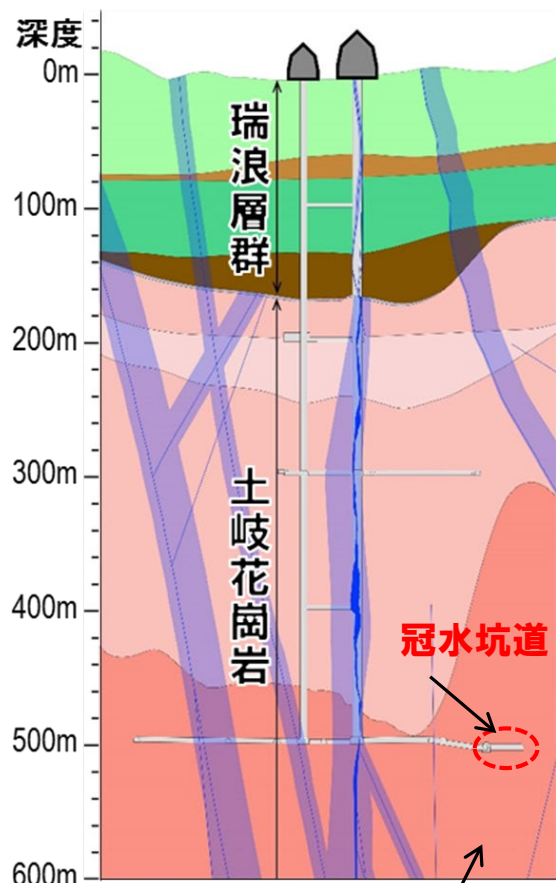
【再冠水試験のイメージ】



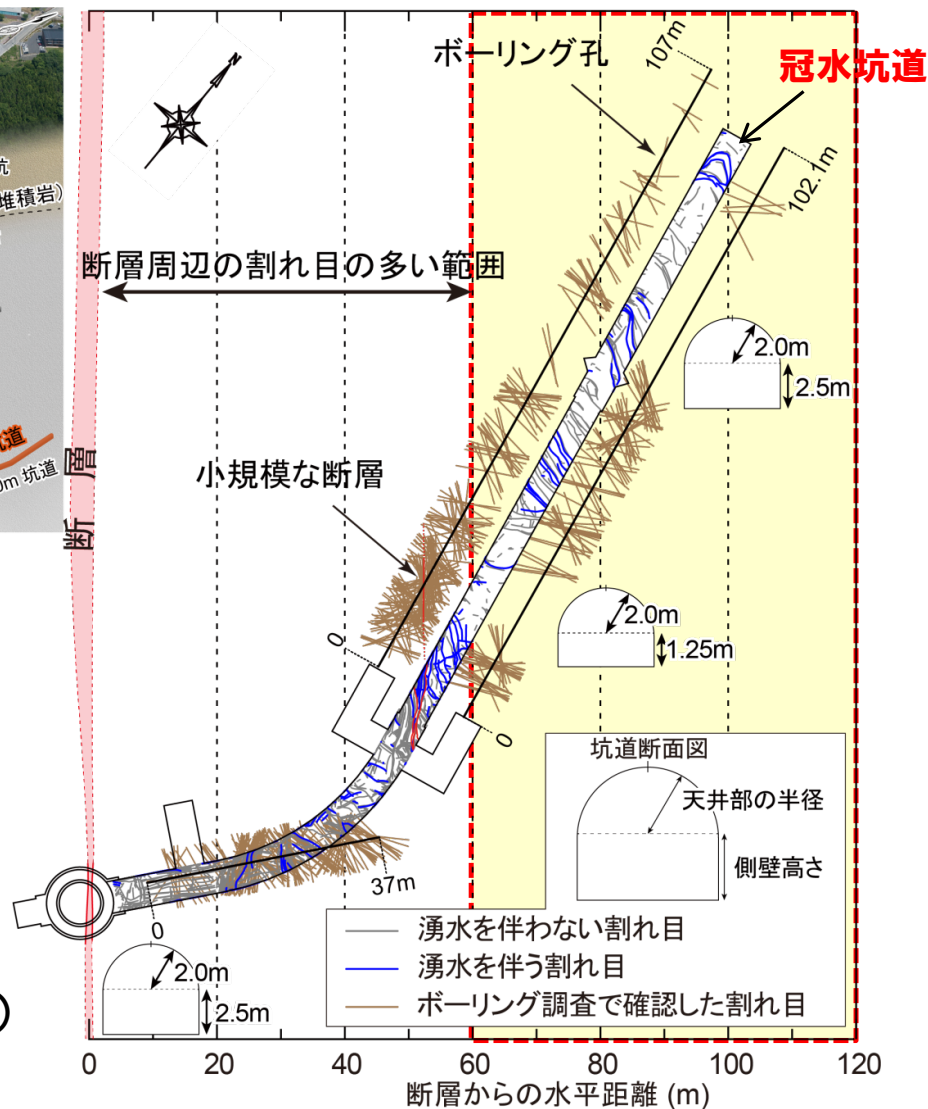
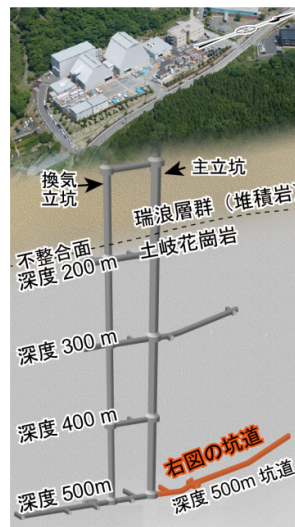
【モニタリング装置】

研究対象領域

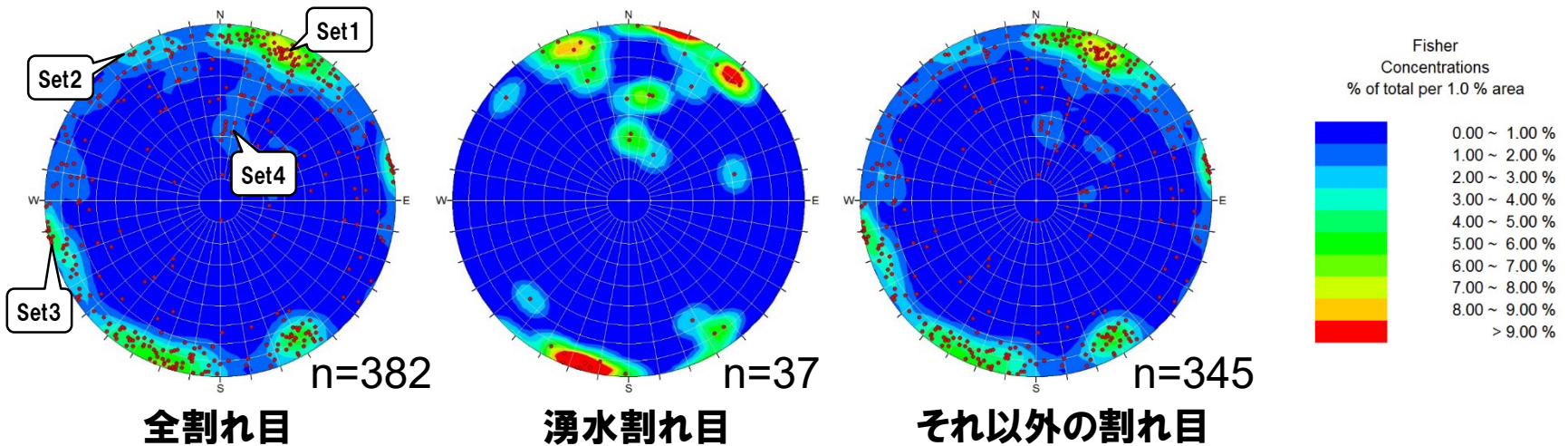
瑞浪超深地層研究所 深度500m冠水坑道周辺岩盤



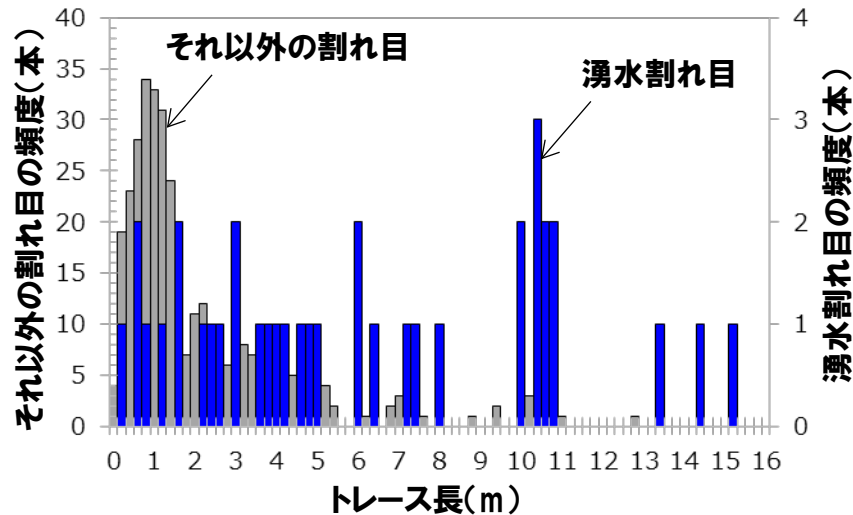
下部割れ目低密度帯
(LSFD: Lower Sparsely Fractured Domain)



不均質な岩盤特性の再現



坑道壁面における割れ目方位分布

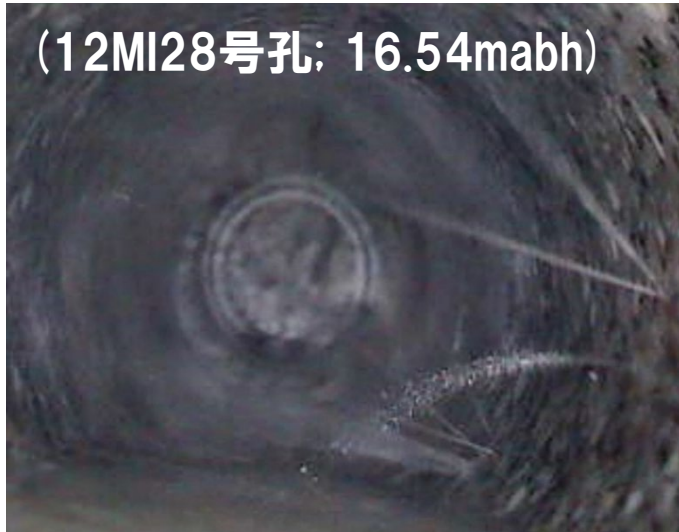


割れ目のトレース長ごとの頻度

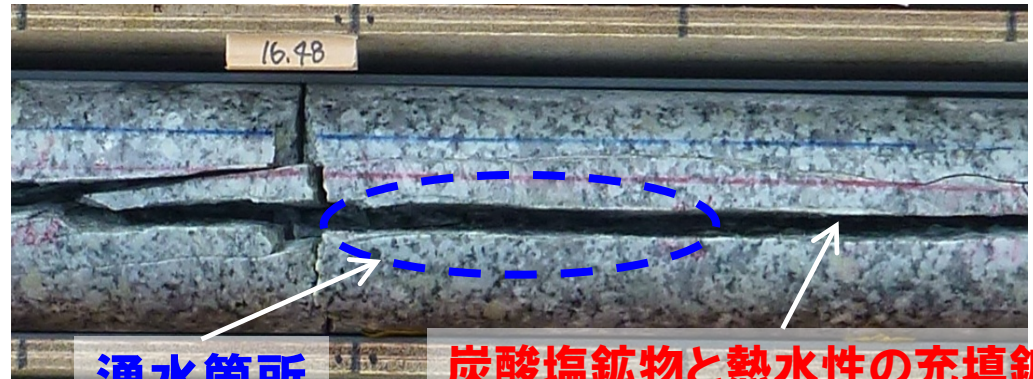
- ✓ 湧水割れ目は、全体の約10%
- ✓ 湧水割れ目とそれ以外の割れ目の卓越方位は概ね整合
- ✓ 割れ目の大きさと頻度の関係から、大きな割れ目は湧水割れ目である可能性が高い
- ✓ 坑道への湧水量予測式(見掛ほか、2014)に基づき、湧水割れ目の透水量係数は $1E-9m^2/s$ 以上と推定

- 本研究では、湧水割れ目に着目
- 湧水割れ目とそれ以外の割れ目に区分したモデル化アプローチを採用

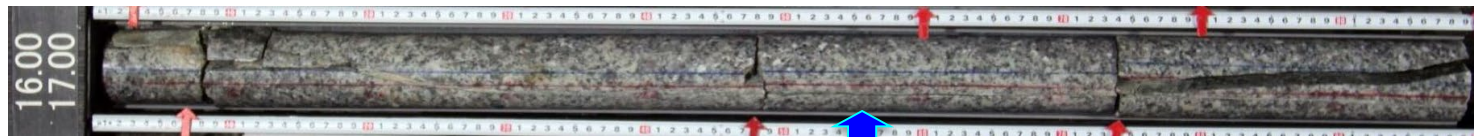
湧水割れ目の特徴



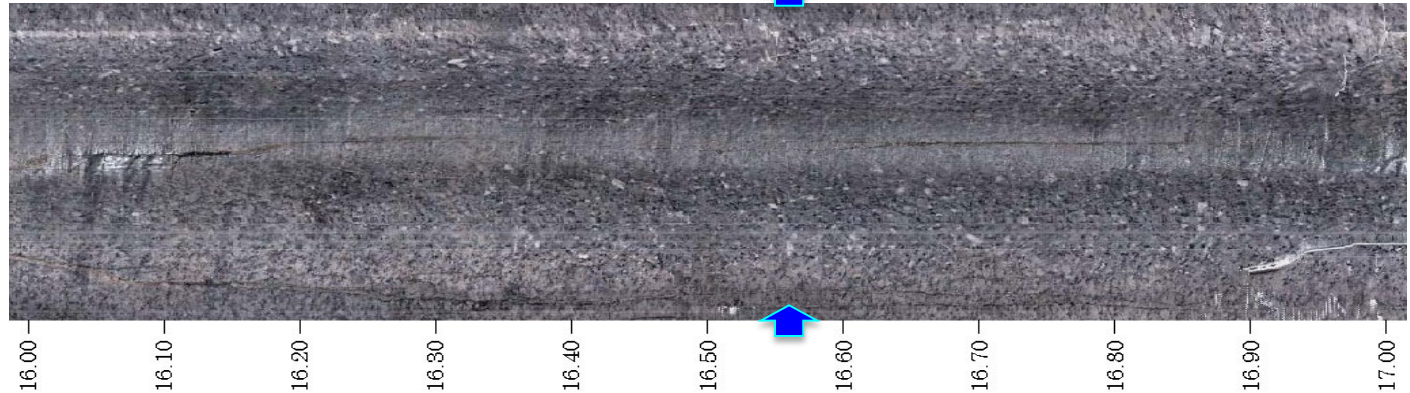
割れ目周辺母岩の変質なし



Core



BTV



割れ目からの湧水状況

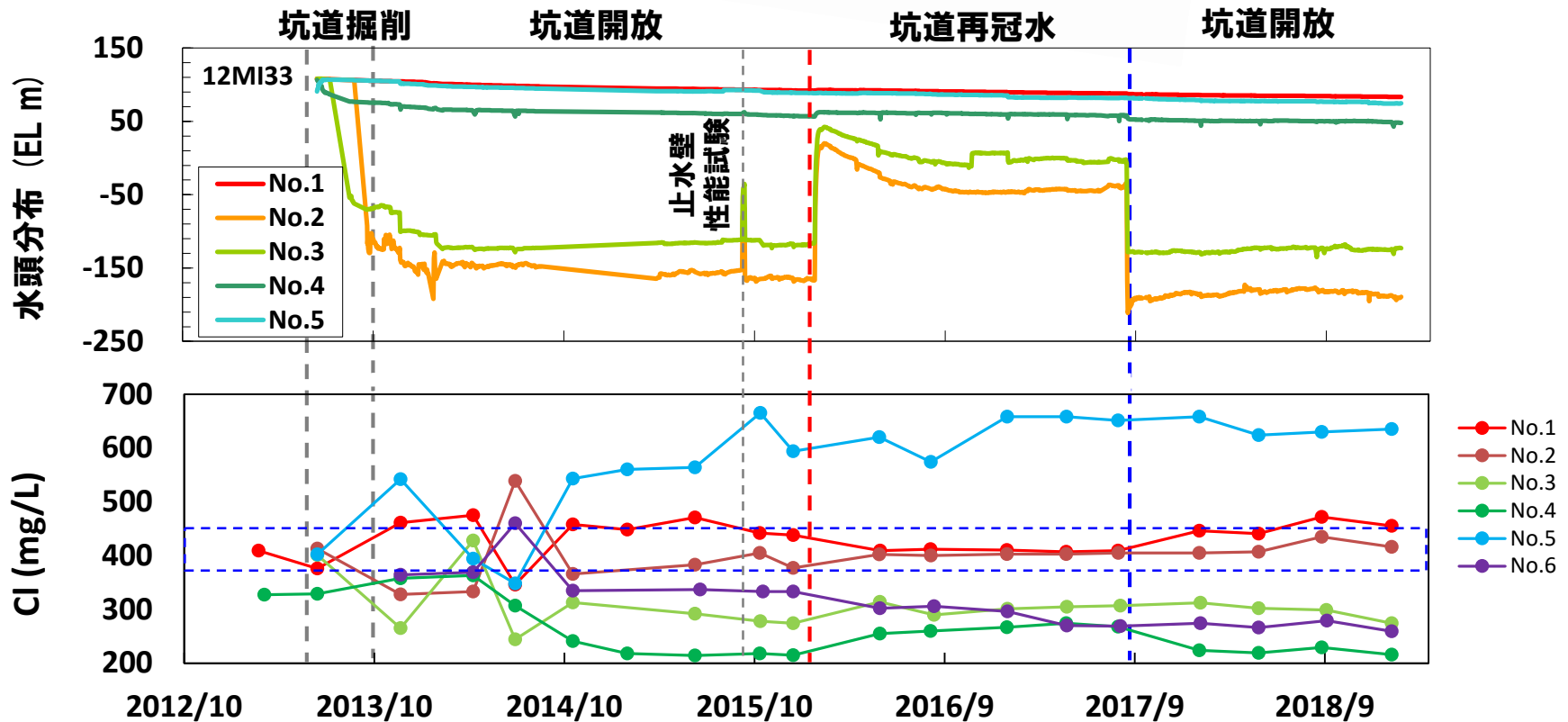
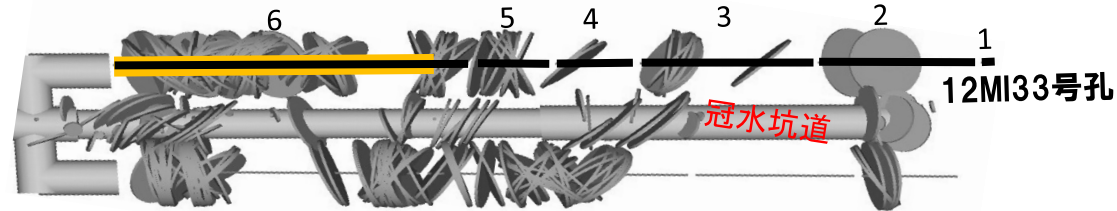
(動画)



デジタル(Web)カメラ

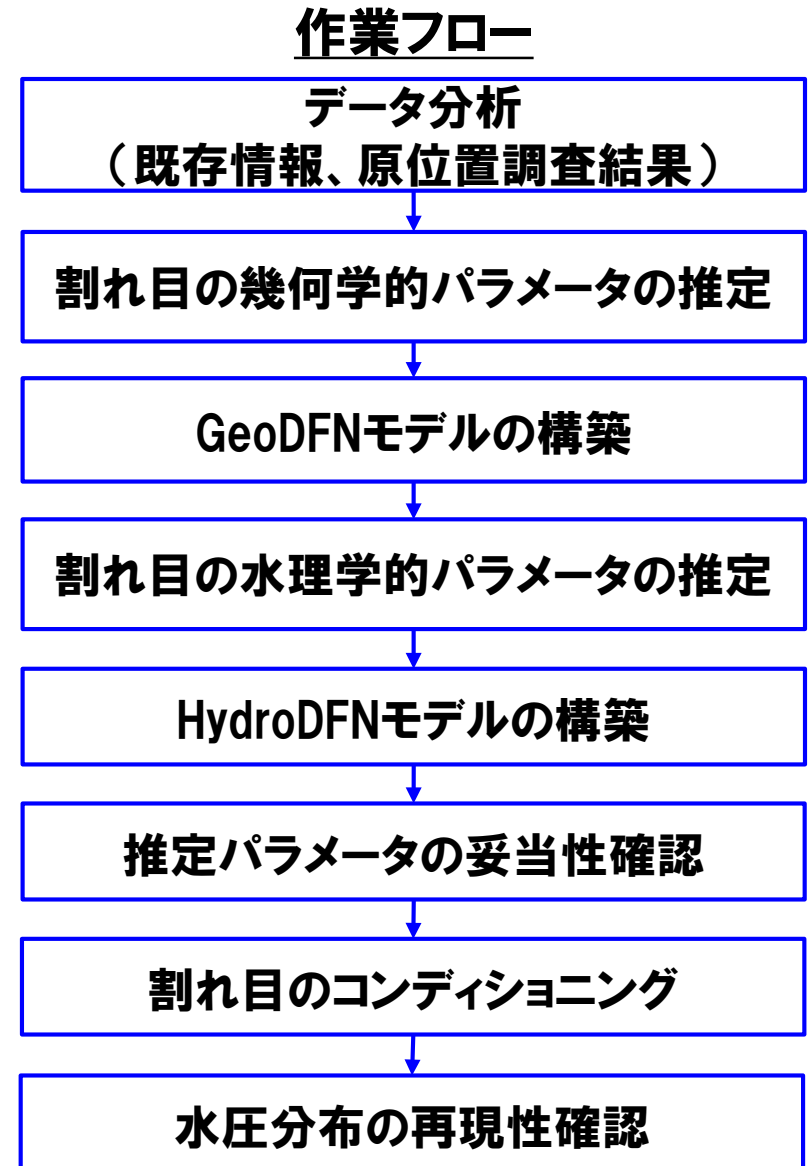
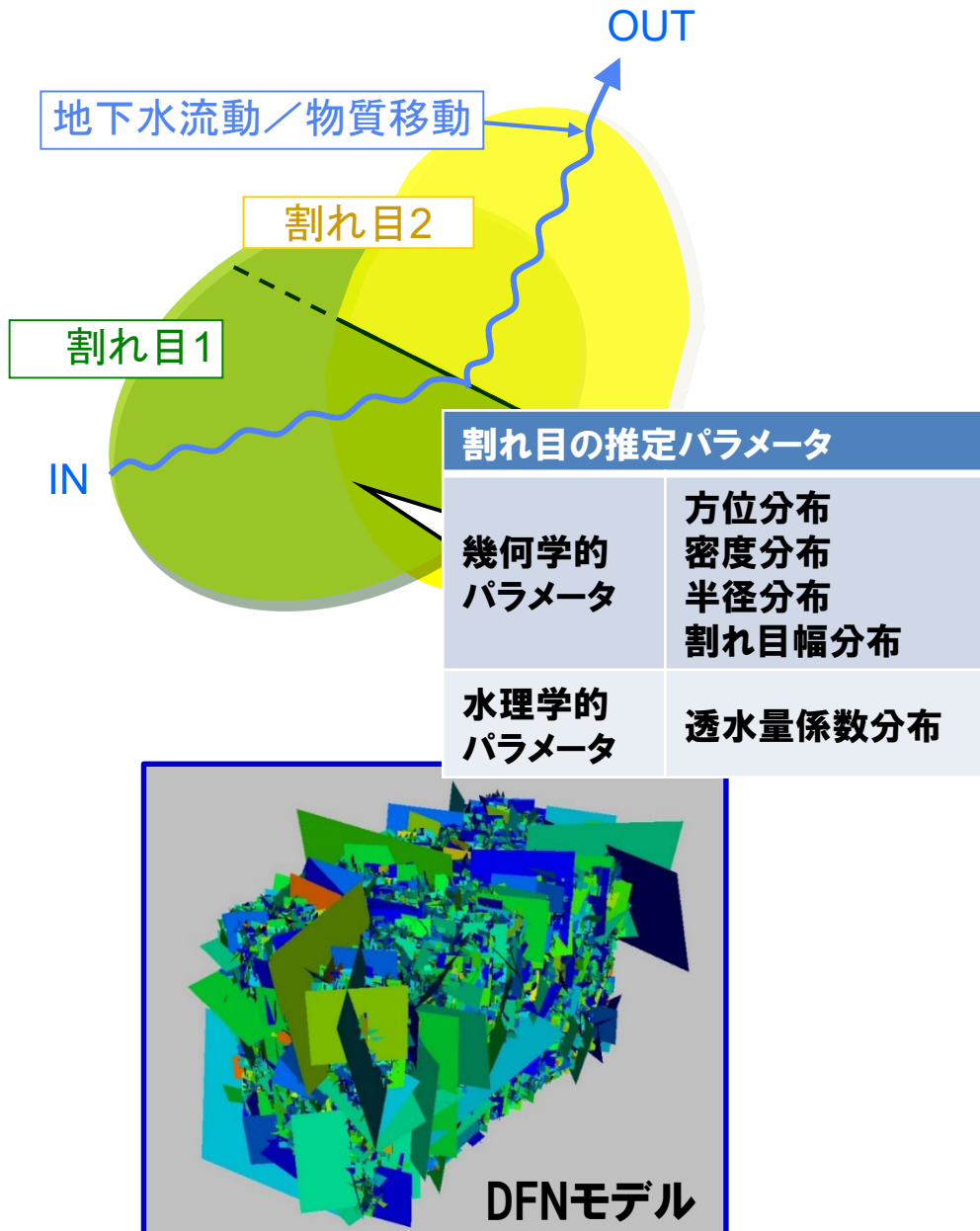


不均質な水圧・水質分布の再現



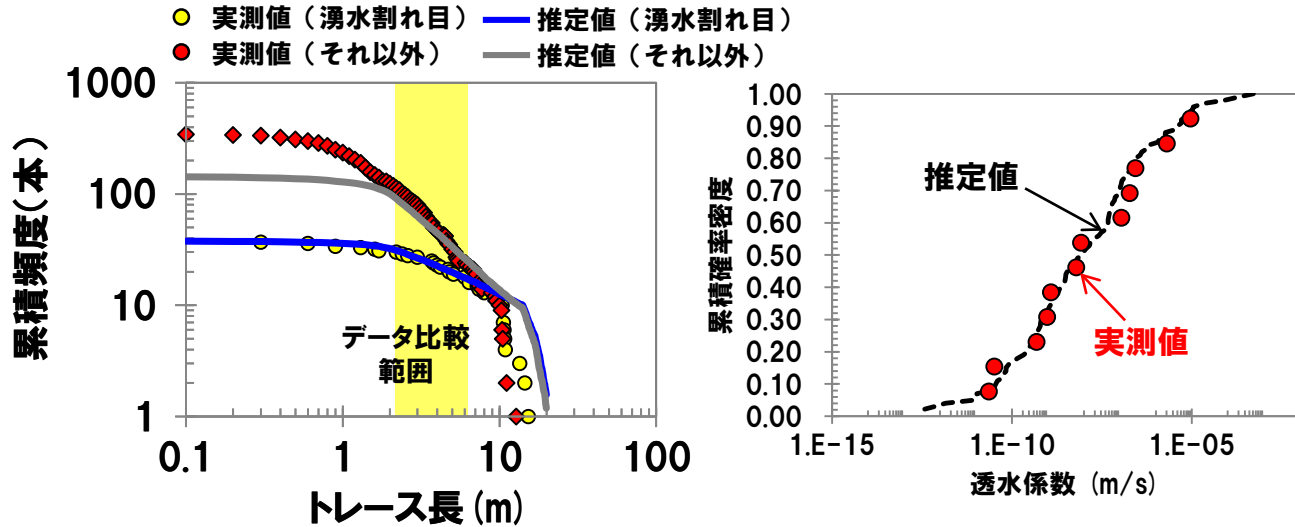
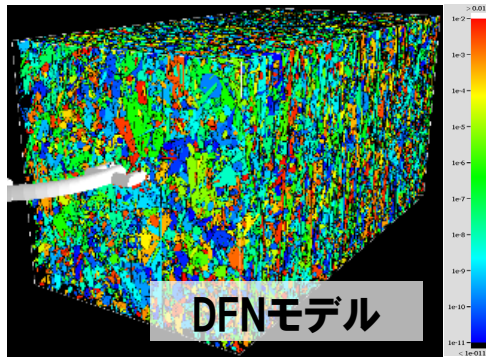
坑道周辺で観測された水圧・水質分布は、割れ目の影響を受けて不均質に変化

モデル化作業の流れ

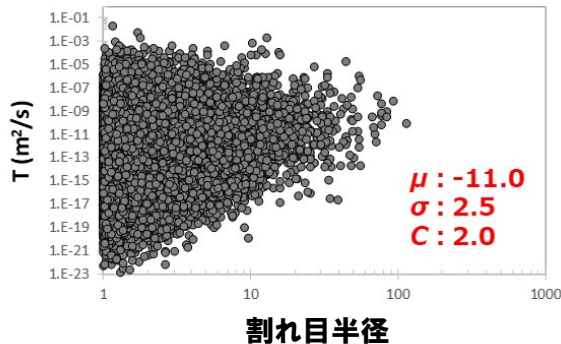


割れ目パラメータの推定結果

卓越方位	極方位/傾斜 [°]	Fisher 定数	割れ目長さ (最小長さ [m], べき指数)	三次元密度 [m ² /m ³]	透水量係数
Set 1	22.9/2.2	18.5	2.0, 3.1	0.43	割れ目の半径と透水量係数との 相関関係を仮定 $T = \text{lognorm}(\mu, \sigma) \times r^C$ T: 透水量係数 r: 割れ目半径 μ: 対数平均 (-11.0) C: 定数 (2.0) σ: 対数標準偏差 (2.5)
Set 2	330.6/0.4	17.8	2.0, 3.4	0.13	
Set 3	260.7/3.8	15.3	2.0, 4.7	0.05	
Set 4	30.7/59.7	12.1	2.0, 3.3	0.08	

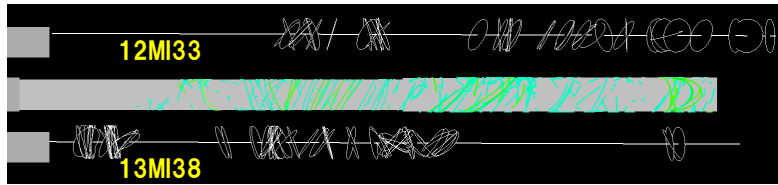


推定した割れ目パラメータの妥当性確認

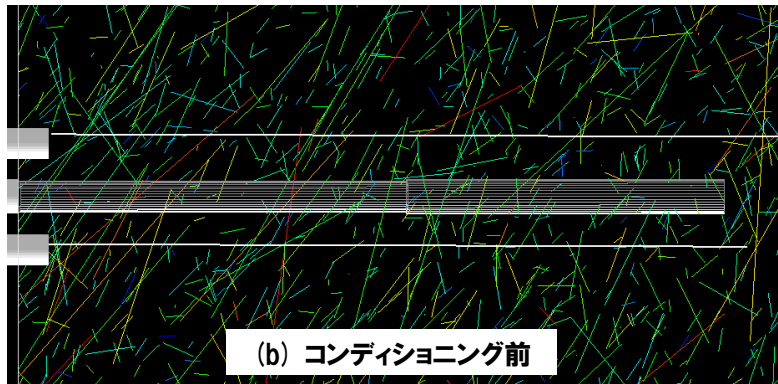


- 岩盤特性の不均質性を統計的に再現
- 湧水割れ目に着目したデータ分析や割れ目半径との相関性を考慮した透水性の設定といった考え方や手法の有効性を確認

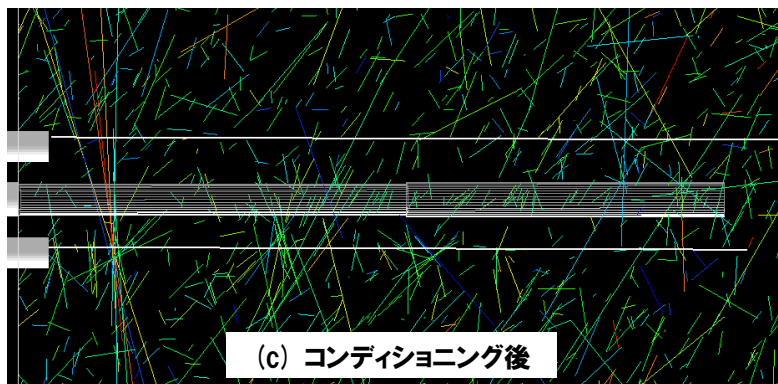
割れ目のコンディショニング結果



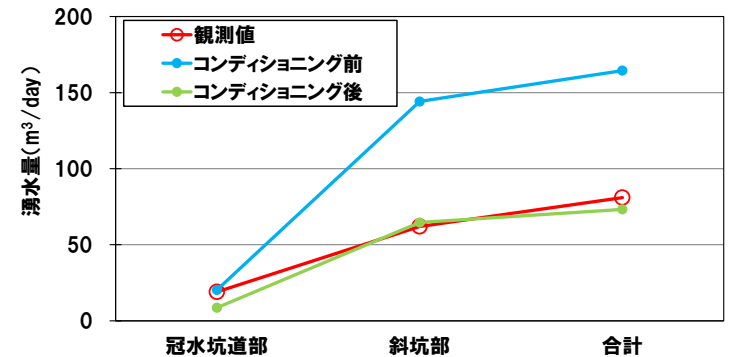
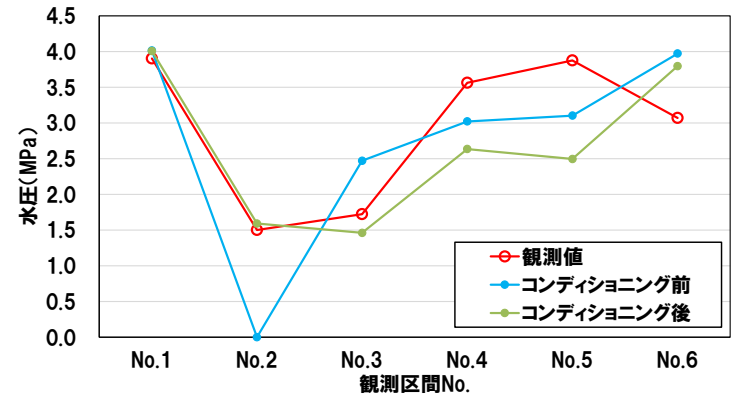
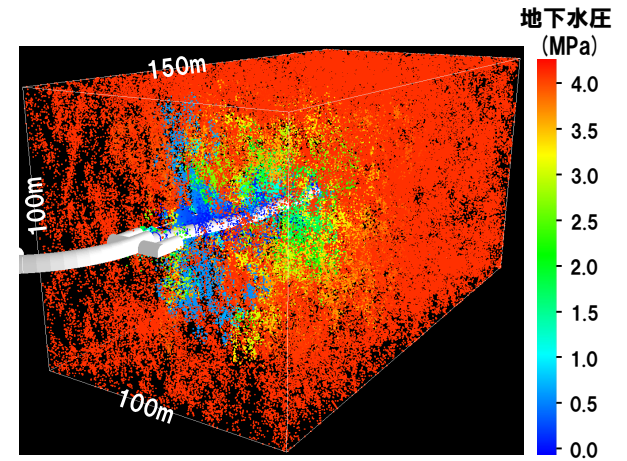
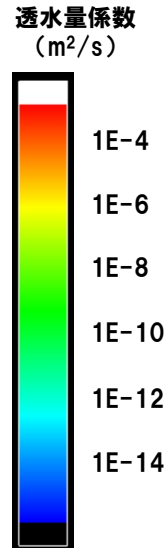
(a) 割れ目分布の観察結果



(b) コンディショニング前



(c) コンディショニング後

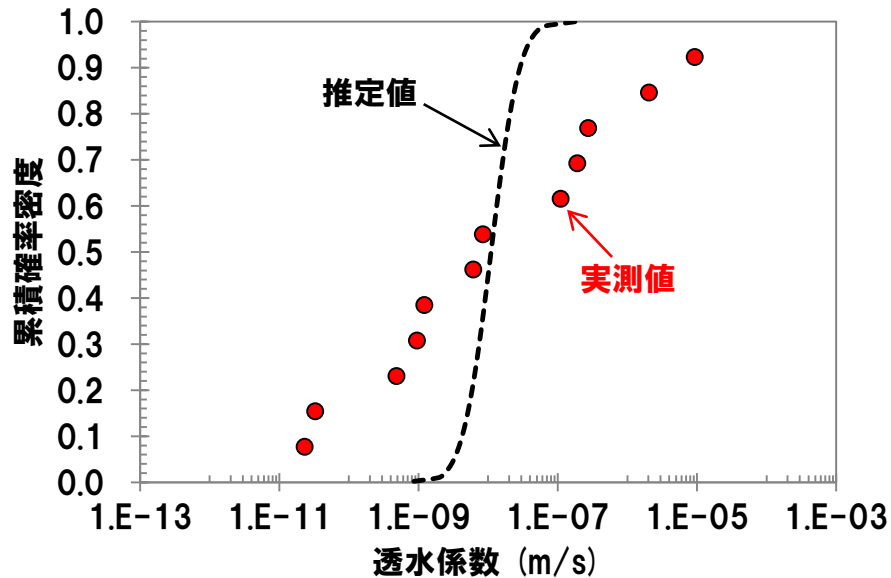


- 坑道掘削時の水圧分布や湧水量の再現性が向上
- 観測結果に基づく割れ目の分布位置や透水性のコンディショニングの有効性を確認

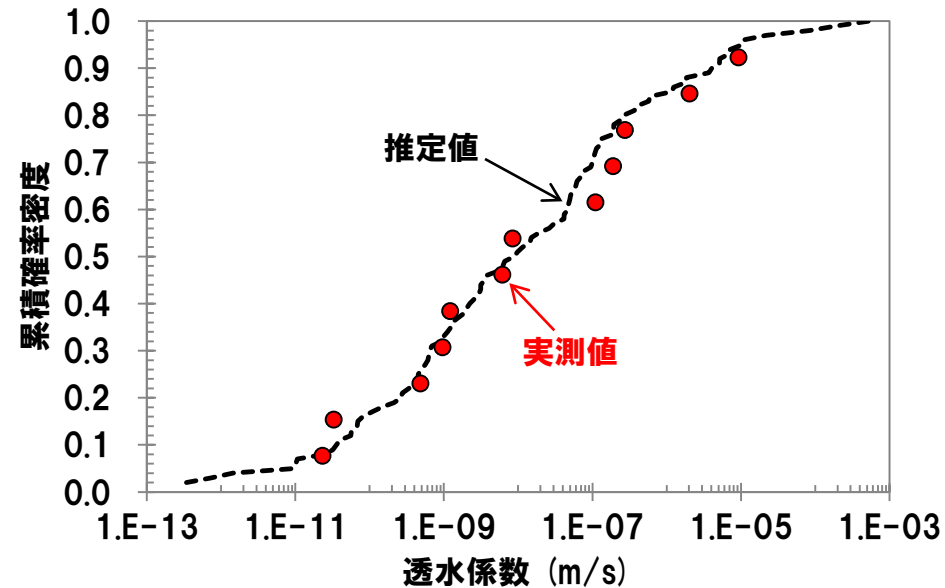
研究成果の概要

岩盤の透水性の再現

既往研究の推定結果
(渥美ほか、2015)

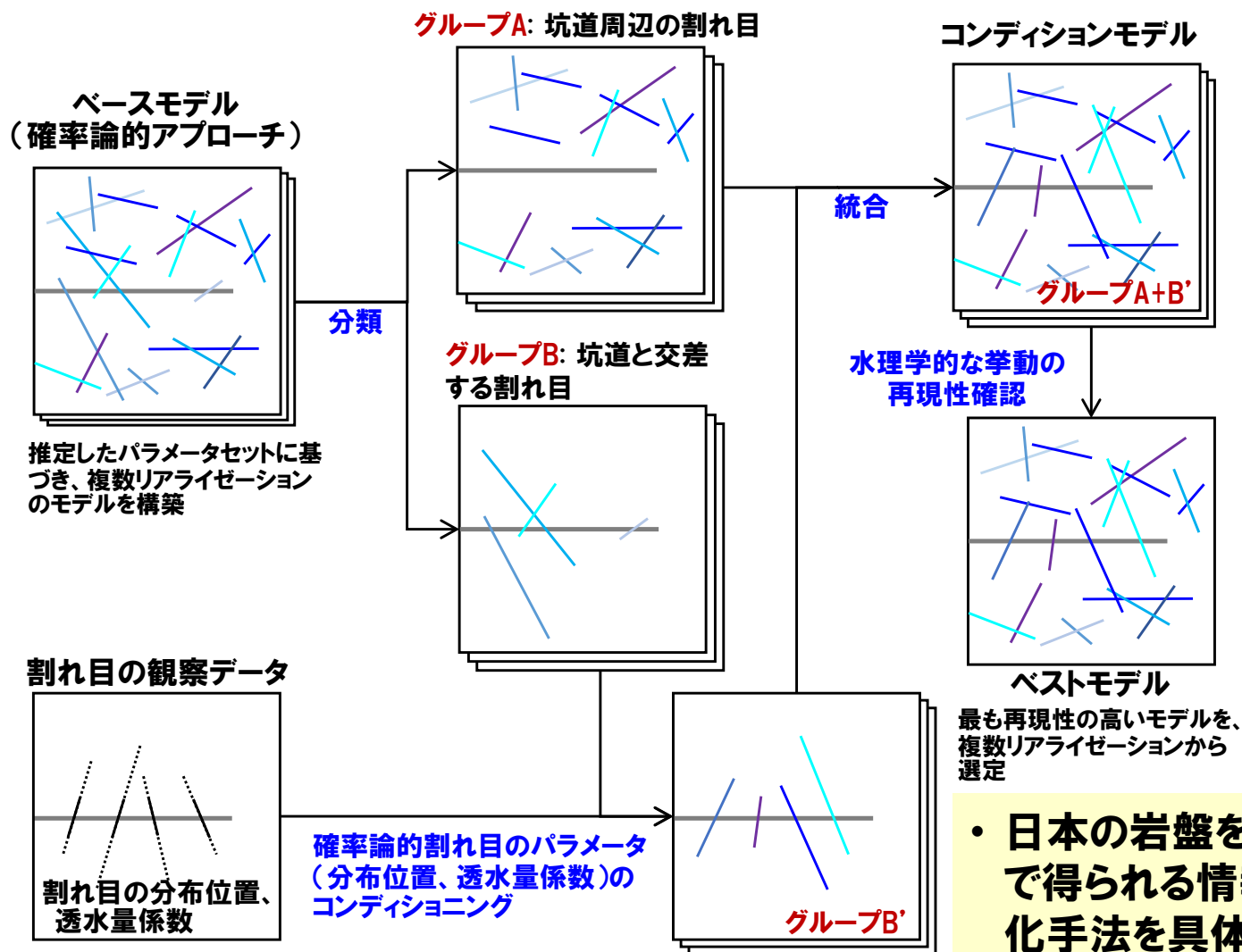


本研究の推定結果



- 既往研究では再現できなかった6桁以上に及ぶ岩盤の透水性のばらつきを再現
⇒岩盤の水理学的な不均質性のモデル化技術を高度化

亀裂性岩盤を対象としたDFNモデル化手法



• 日本の岩盤を対象として、地下坑道で得られる情報を用いたDFNモデル化手法を具体的に提示

⇒亀裂性岩盤の不均質性の評価や可視化技術として、処分事業の精密調査段階に適用可能

DFNモデル化に必要な調査とデータ

原位置調査の手法とデータ		DFNモデル化				
調査手法	取得データ	概念化	モデル構築	妥当性確認	モデルの校正	
ボーリング調査	コア観察	割れ目の密度 (P10 ^{*1})			X	
		割れ目の位置	X			X
	BTV観察	割れ目の密度 (P10 ^{*1})			X	
		割れ目の走向傾斜	X		X	
		割れ目の位置	X			X
	水理試験	岩盤の透水係数			X	X
	水圧観測	地下水圧	X		X	
坑道壁面観察	割れ目のスケッチ	割れ目の密度 (P20 ^{*2})		X		
		割れ目の走向傾斜	X	X		
		割れ目のトレース長		X		
	湧水量計測	湧水割れ目の分布	X			
		湧水割れ目からの湧水量		X		X
		坑道全体の湧水量			X	
坑道内のスキャンライン調査	割れ目評価	割れ目の密度 (P10 ^{*1})			X	
		割れ目の走向傾斜			X	
		割れ目の位置				X

*1 P10: Linear fracture density (n/m)

*2 P20: Areal fracture density (n/m²)

- 割れ目分布の概念化からモデル構築や妥当性確認、モデルの校正といった一連のモデル化作業に必要なデータとその調査手法を整理

⇒処分事業の精密調査段階以降の調査計画立案の基礎情報として有効な知見

成果の公開・発信

- ✓ DECOVALEX: 高レベル放射性廃棄物の地層処分に関わる熱-水-力学-化学 (T-H-M-C)変化が関連する現象の連成解析技術の開発、高度化および実証を目的とした国際プロジェクト
- ✓ 本研究は、DECOVALEX2019のタスク(Task C: 瑞浪超深地層研究所の再冠水試験を対象とした連成解析)として実施し、本研究の成果は最終報告書として国内外に発信

DECOVALEX 2019

HOME ABOUT D-2019 PAST PHASES RESOURCES NEWS TEAM LOGIN

Groundwater REcovery Experiment in Tunnel (GREET)

DECOVALEX 2019 TASK C

Description

Experimental Data

Approach

Participating Groups

Further Information

References

Description

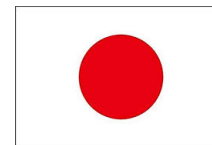
Mizunami Underground Research Laboratory is performing the GREET (Groundwater REcovery Experiment in Tunnel) project for understanding of the post-closure recovery of the geological environment in and around the drift in fractured crystalline rock. In the GREET project, part of a research tunnel at 500m depth is being filled with high pressure groundwater prior to the backfilling test with buffer materials. The intention of Task C is to validate the simulation methodologies used to understand the long-term variation of hydro-mechanical-chemical condition during drift closure and water-filling.

Therefore, the overall the objectives of Task C in DECOVALEX-2019 are the reproduction and quantitative evaluation of interactions between H-M-C phenomena through the modelling of the GREET experiment. This work will improve understanding of such systems as well as lead to development and validation of numerical tools, leading to improved confidence in making predictions of tunnel H-M-C evolution in radioactive waste disposal facilities.

Outline of the experimental drift. CTD is 46.5 x 4.5 m with volume of approx. 900 m³. Prior to water-filling, monitoring boreholes parallel and perpendicular to the CTD were drilled to identify baseline environmental conditions.

【Task Cの参加国】

JAEA



SNL (U.S.)



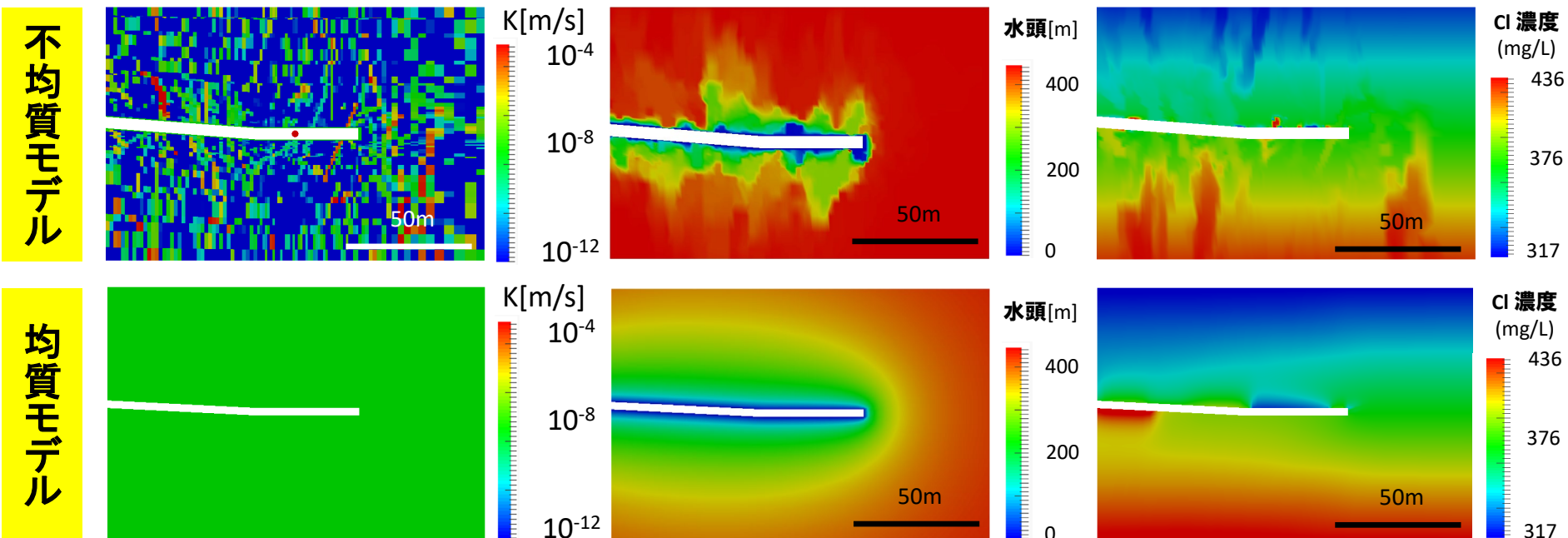
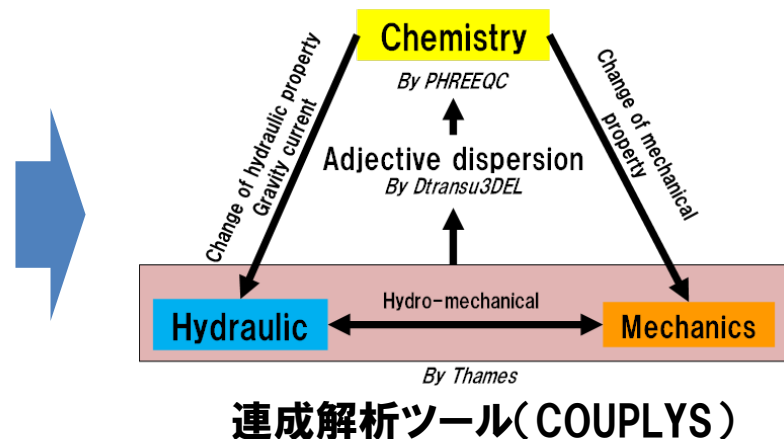
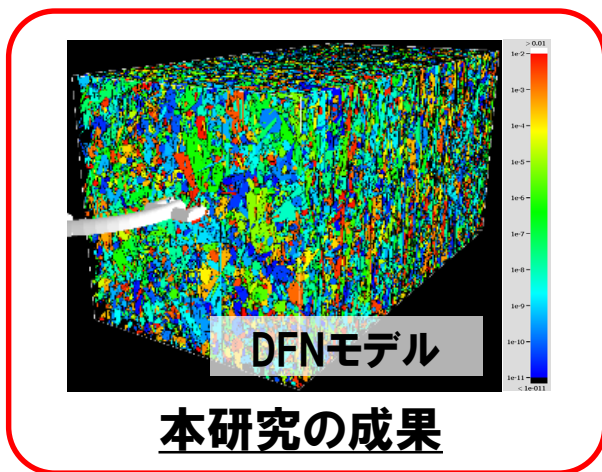
TUL (Czech)



<https://decovalex.org/>

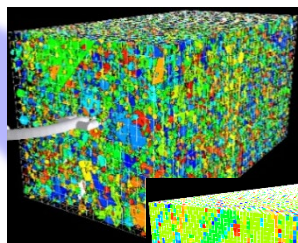
研究成果の活用と展望

成果の活用事例：連成解析への適用

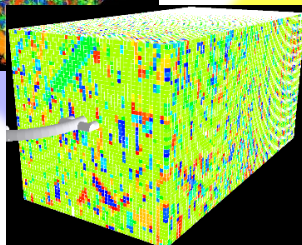


・ 本研究成果を用いた事例研究を通じて、COUPLYSをより汎用性の高いツールとして整備

今後の展望：広域スケールへの反映



不均質性の
モデル化

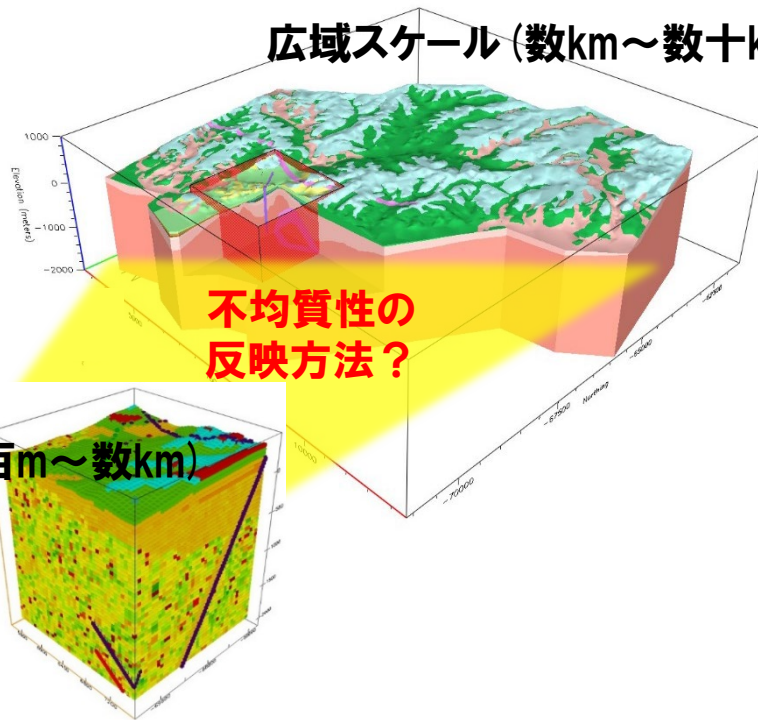


坑道スケール (数m～数百m)

施設スケール (数百m～数km)

不均質性の
反映方法？

広域スケール (数km～数十km)



不均質性の
反映方法？

- ・ 広域スケールの地下水流動モデルにおける、割れ目に起因した岩盤の不均質性の反映方法の検討



瑞浪超深地層研究所(岐阜県瑞浪市明世町)



主立坑(掘削深度:500.4m、内径6.5m)

ご清聴ありがとうございました。