

鉄道沿線斜面上の岩石における割れ目進展に 対する気象条件の影響の評価

防災技術研究部 地質研究室

研究員 久河 竜也

本日の発表

1. 研究の背景
2. 研究の流れ
3. 実験①: 温度・湿度変化実験(割れ目なし)
4. 実験②: 乾湿繰り返し実験(割れ目あり)
5. 今後の展開
6. まとめ・成果の活用

1. 研究の背景

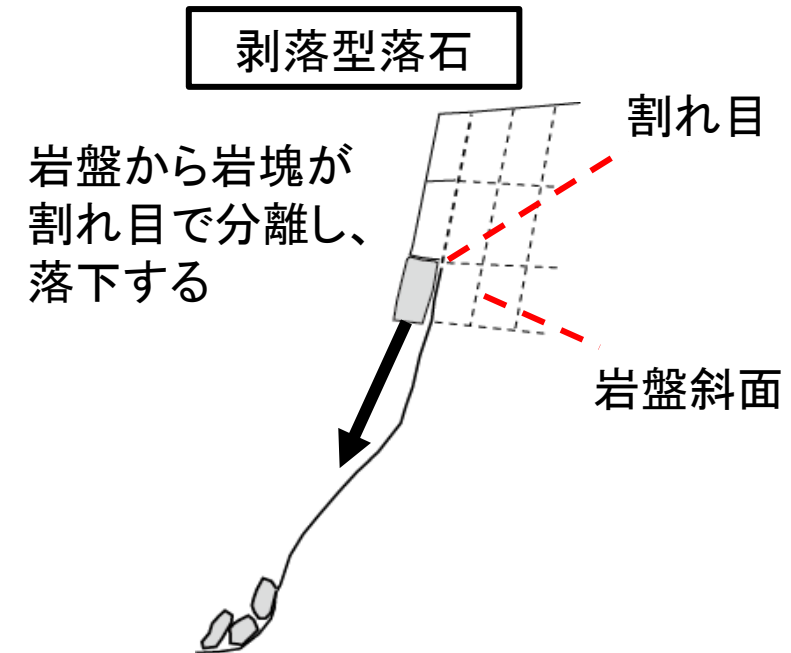
岩盤斜面: 「岩石」と「**割れ目**」で構成される

剥落型落石: 割れ目を境界に岩盤の一部が分離し、落下する現象



特徴① 地震、大雨等の明確な誘因がない場合でも発生しうる
⇒ 運転規制(抑止、徐行)などのソフト対策では限界

特徴② 割れ目の進展について不明な点が多く、リスクの評価が十分でない
⇒ ハード対策の優先順位や実施すべき時期が不明確



1. 研究の背景

- 岩盤中の割れ目・・・応力が作用すると進展

鉄道沿線の斜面で作用しうる応力の例

由来	具体例	リスク評価方針
大規模災害事象	地震、豪雨	事象の規模に基づき評価
日常の気象変化	降雨、気温・湿度変化	降水量、気温等気象データで評価
生物の活動	植物の根の貫入	↓ 周辺の植生等を確認し評価

明確な誘因によらず発生することがある剥落型落石を対象とする場合、無視できない

降水・気温変化に伴い、岩石に伸縮や収縮の力が生じ、割れ目に応力が集中して割れ目が進展。 →その大きさは不明

気象条件の変化で発生する応力・割れ目に対する作用を評価する

2. 研究の流れ

目 標

気象条件変動

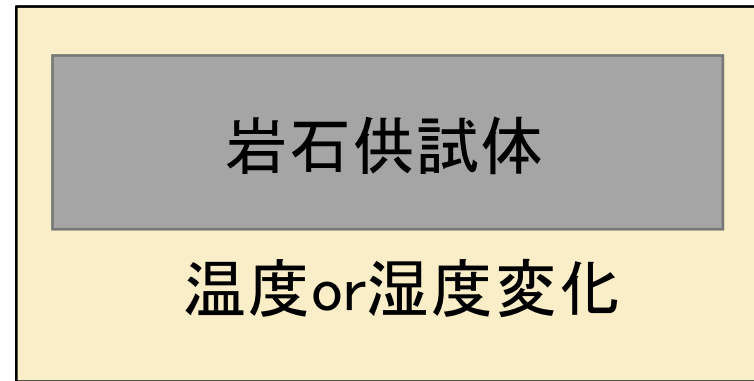
気象条件変動と応力変動の
関係を示す理論

応力変動(振幅、サイクル数)

応力変動と割れ目の進展性の
関係を示す理論

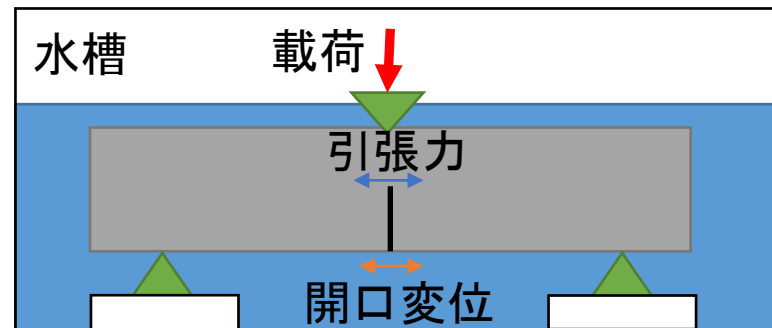
割れ目の進展性

実験①: 温度・湿度変化実験(割れ目なし)



条件変化時の変形から
応力変化の傾向を推定

実験②: 乾湿繰り返し実験(割れ目あり)



割れ目の進展に関して、
既往の理論式の適用可能性を
検討

3.実験①：温度・湿度変化実験(割れ目なし)

- 日常の気象変動による岩石中の割れ目進展の概念モデル：

1. 気象変動により岩石部分の膨張力・収縮力が発生

2. 割れ目に引張応力(図中 σ)が繰り返し作用

→ その結果、割れ目が進展

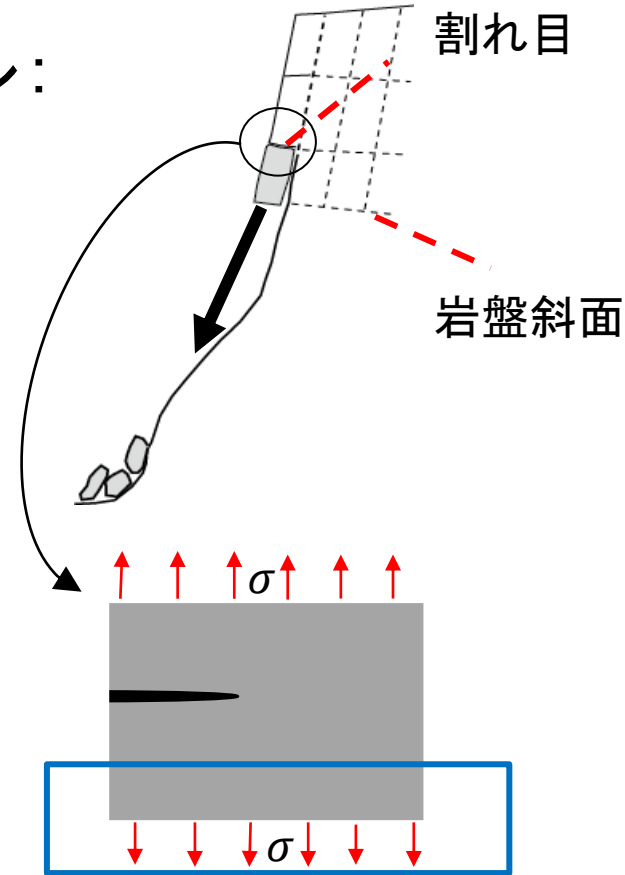
- 気象変動による岩石変形の傾向・頻度を明らかにしたい

→ 日常的に加わる気象変化のうち、

温度と湿度の変化を、

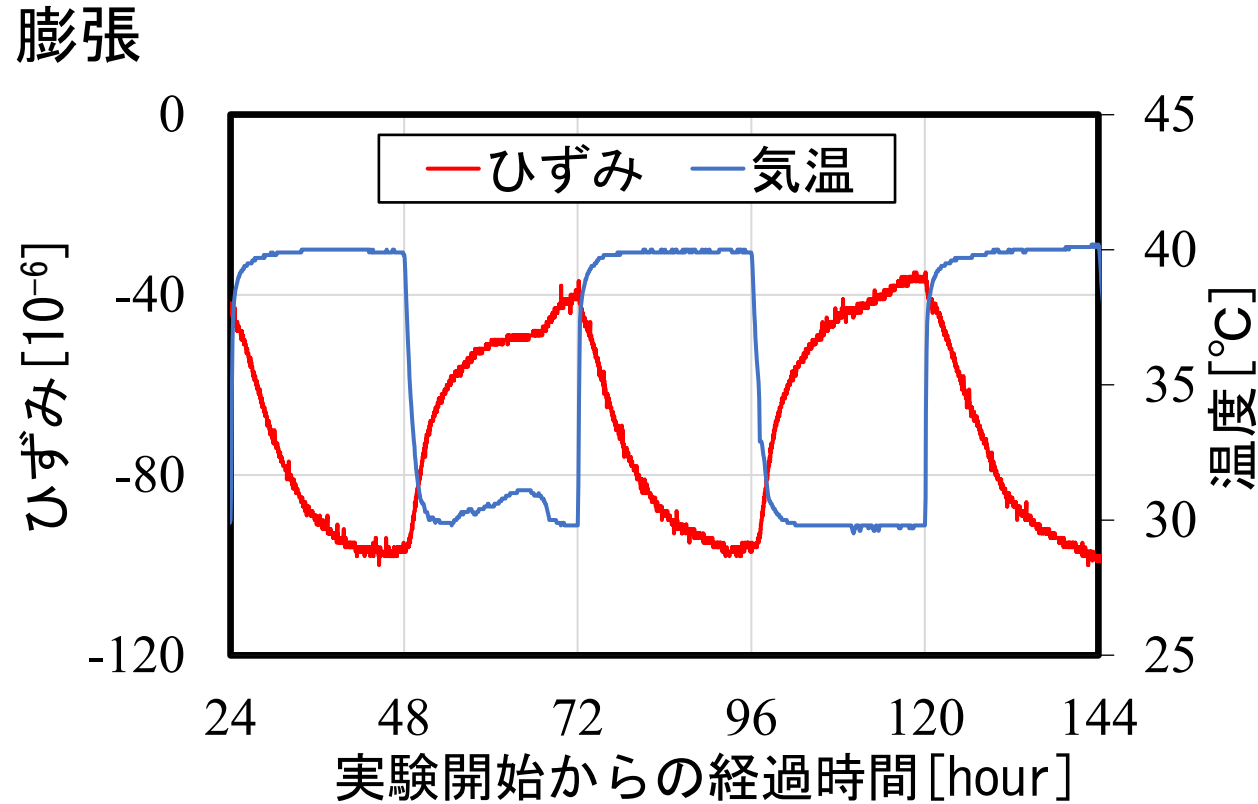
割れ目を含まない岩石に与えてひずみを測定

- 対象：肉眼で見える割れ目を含まない来待砂岩供試体



割れ目を含まない岩石
の実験で明らかにしたい

温度変化実験



- 飽和食塩水を用いて相対湿度を一定に保った試験機内で、気温を30°C~40°Cの範囲で変動させた
- 温度低下時に膨張、温度上昇時に収縮

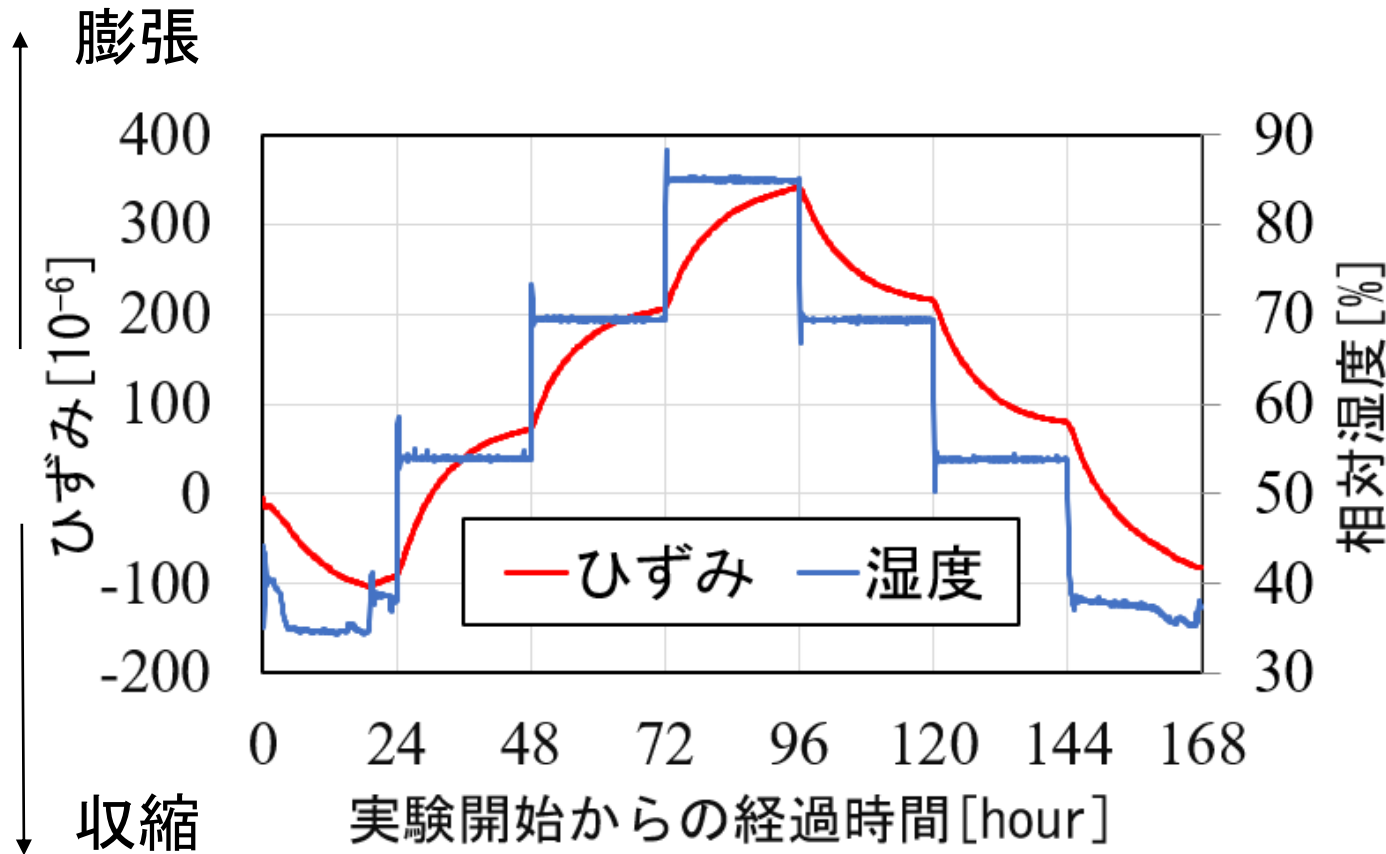
⇒ 温度上昇時に想定される現象

岩石粒子の膨張

<

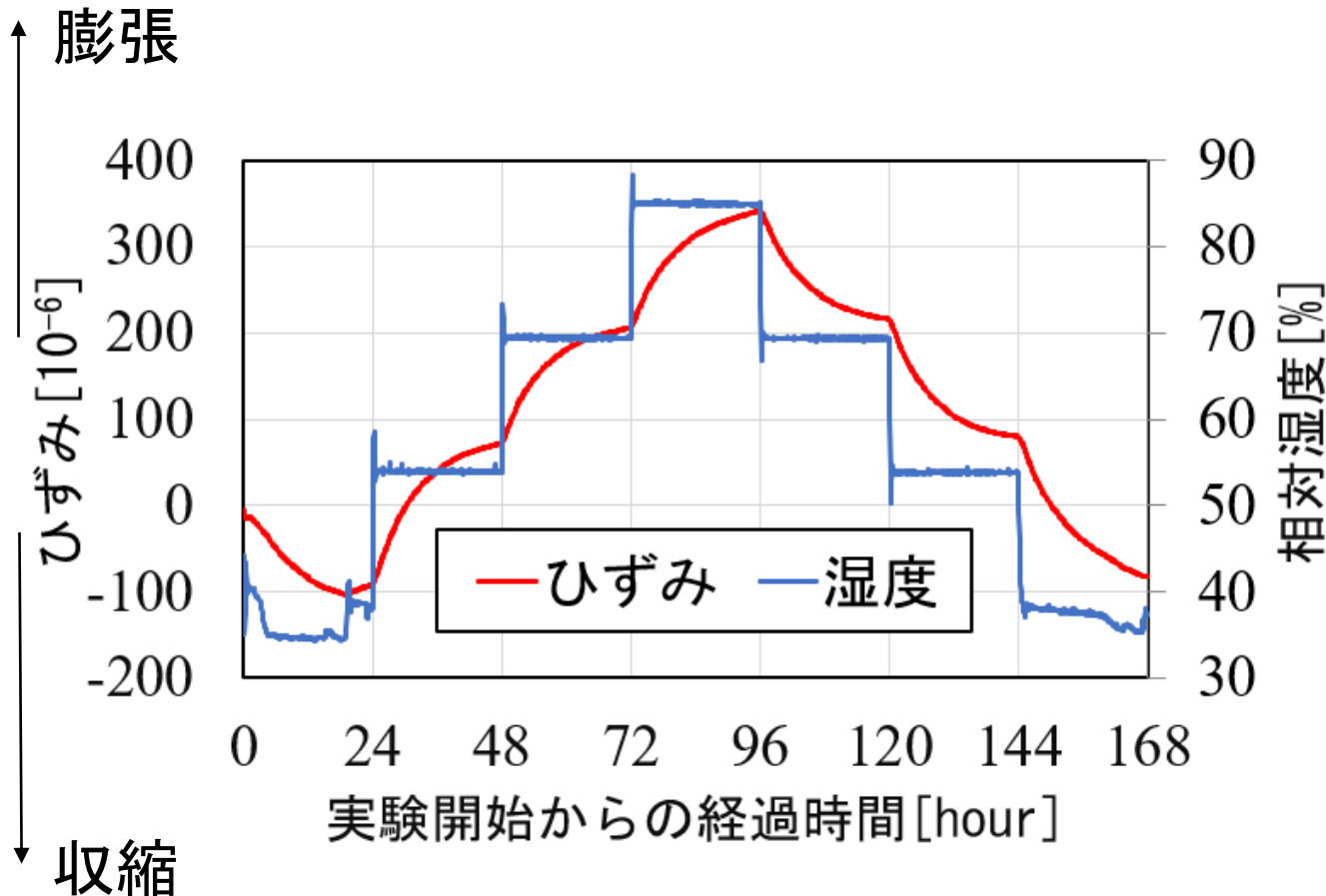
温度上昇による脱水

湿度変化実験(急激な変化)



- 気温を35°Cで一定に保ち、相対湿度を変動させた
- 「急激な湿度変動⇒湿度一定に保持」を繰り返した
- 湿度が上昇すると、岩石は吸水によりやや遅れて膨張する傾向

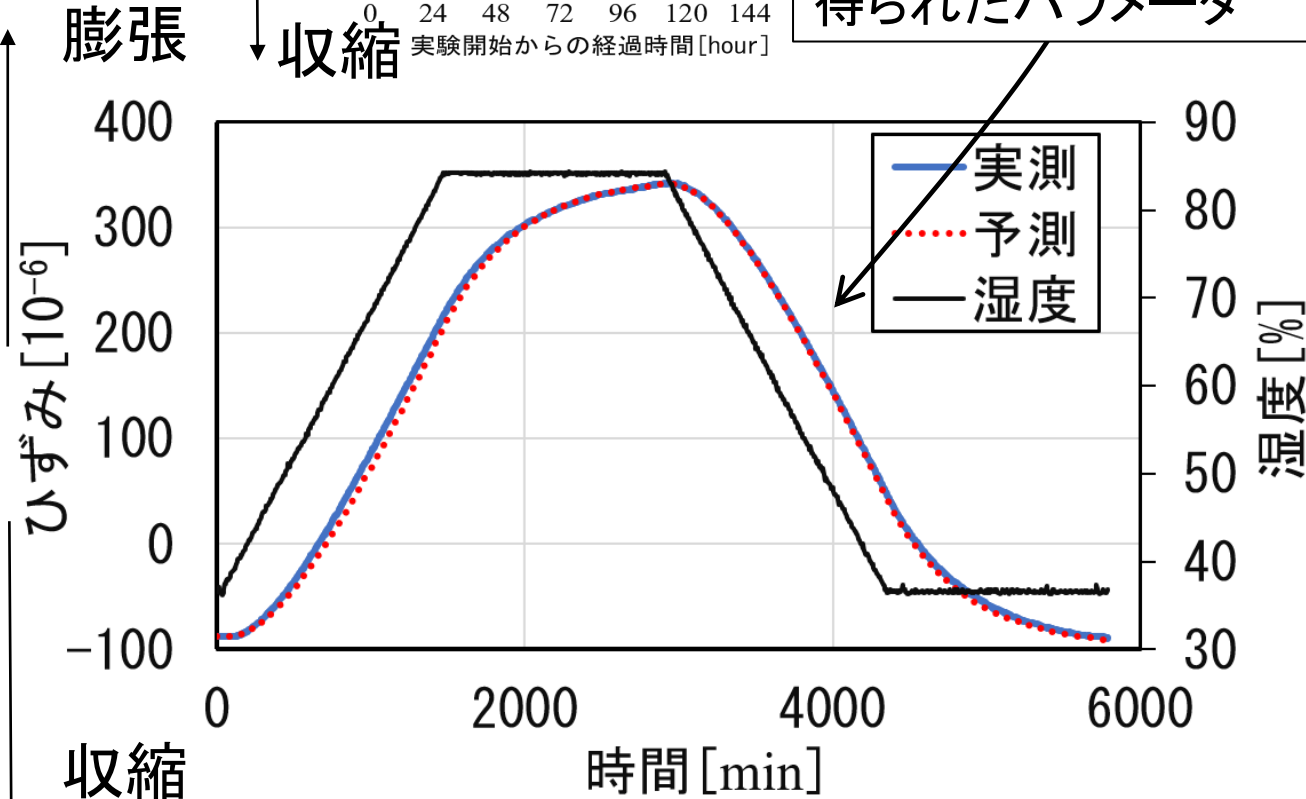
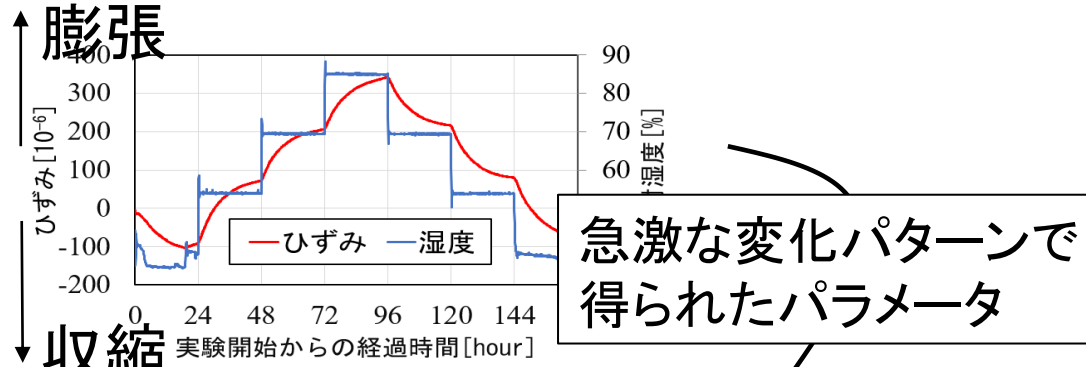
温度・湿度変化実験結果の比較



- 10°Cの気温変化に対するひずみ変化応答: 70×10^{-6} 程度
- 15%の相対湿度変化に対するひずみ変化応答: 150×10^{-6} 程度
- 内陸部(晴れの日)では1日の気温変化は10~15°C程度、相対湿度変化は20~60%程度

⇒変形(応力)には、気温変化よりも湿度変化の影響が大きい

湿度変化による変形応答モデル



- 多孔質物質の吸湿に関する理論式に基づき、湿度変化に対する変形応答予測モデルを作成
- 急激な変化の場合のパラメータを用い、他の試験パターンの湿度変化過程での変形を予測

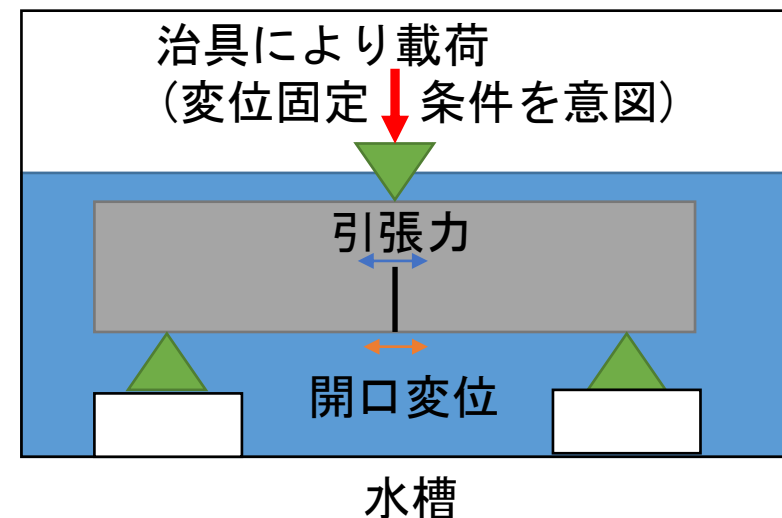
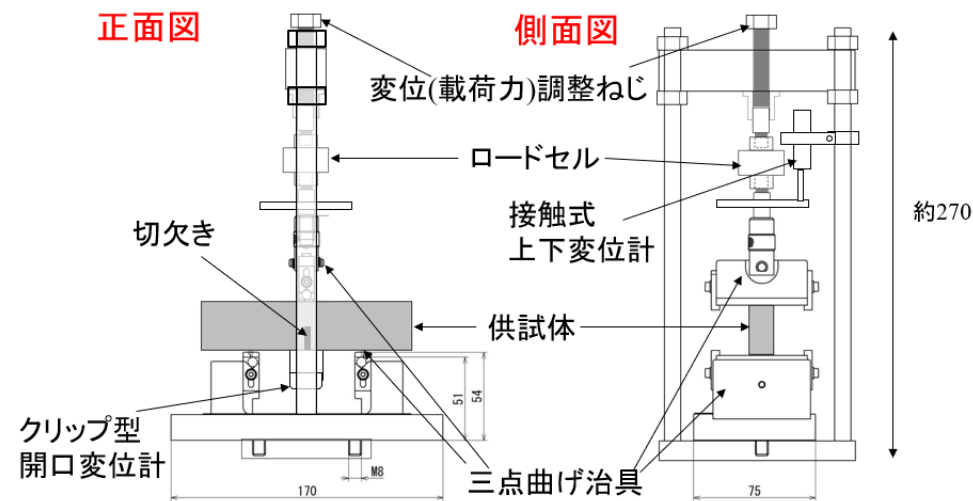
⇒湿度の変化によって発生する応力の傾向を予測可能とした

実験①のまとめ

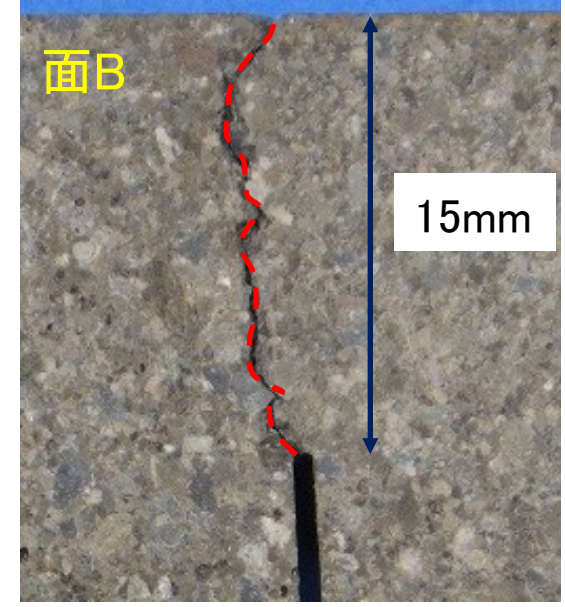
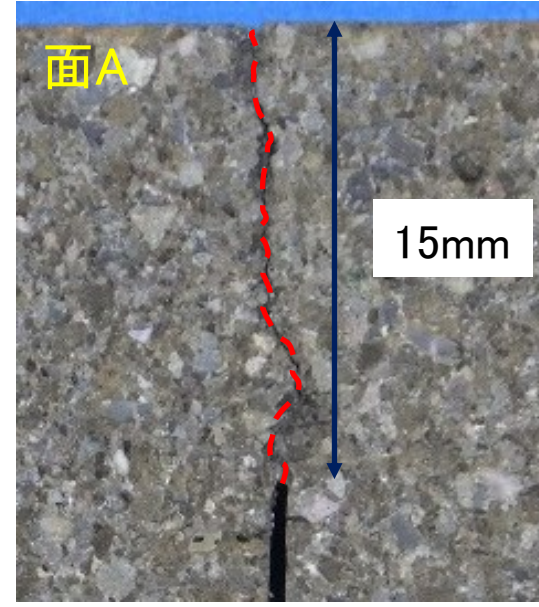
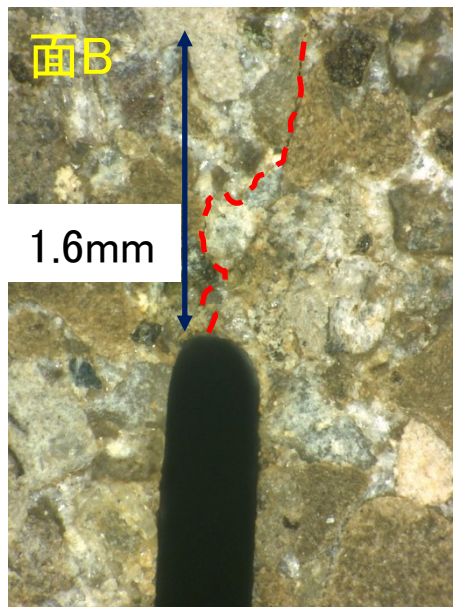
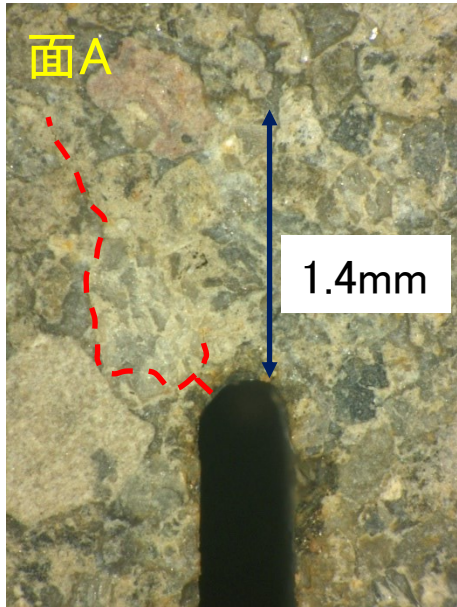
- 温度が変化した場合、湿度が変化した場合ともに、岩石の吸水・脱水から想定される傾向の変形がみられた
 - 1日の気温・湿度の変動を考えると、変形の大きさは、温度変化によるものよりも湿度変化によるものが大きい
- ⇒ 着目する気象条件の優先順位: 湿度 > 気温
(降雨の影響は湿度よりもさらに大きいと考えられるが、要現地検証)
- 湿度変化に対する変形応答モデルを作成した

4. 実験②：乾湿繰り返し実験(割れ目あり)

- 実験①の結果を踏まえ、乾湿繰り返し作用に着目
- 切欠きを設けた来待砂岩供試体2個に対し、2通りの载荷条件(初期载荷10N、30N)下で、乾燥⇒水浸を20サイクル繰り返す
- 切欠きを設けた岩石を対象とした理由
 - ① 切欠きが割れ目の起点となり、割れ目の発生位置を制御できる
 - ② 既存の割れ目より、初期条件が把握しやすい



試験後の供試体の観察結果

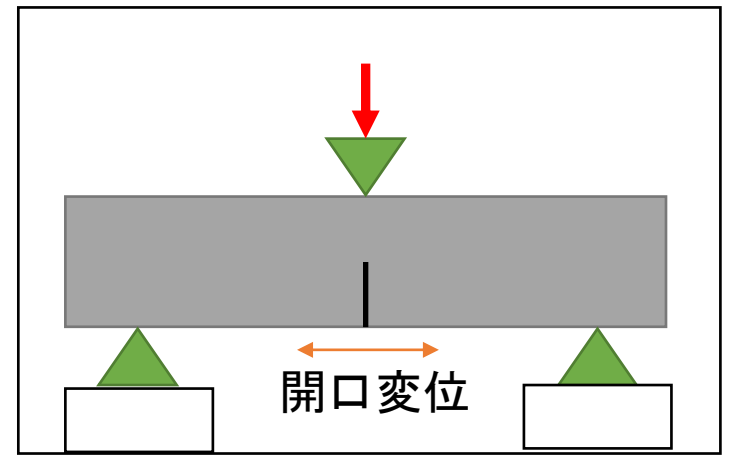
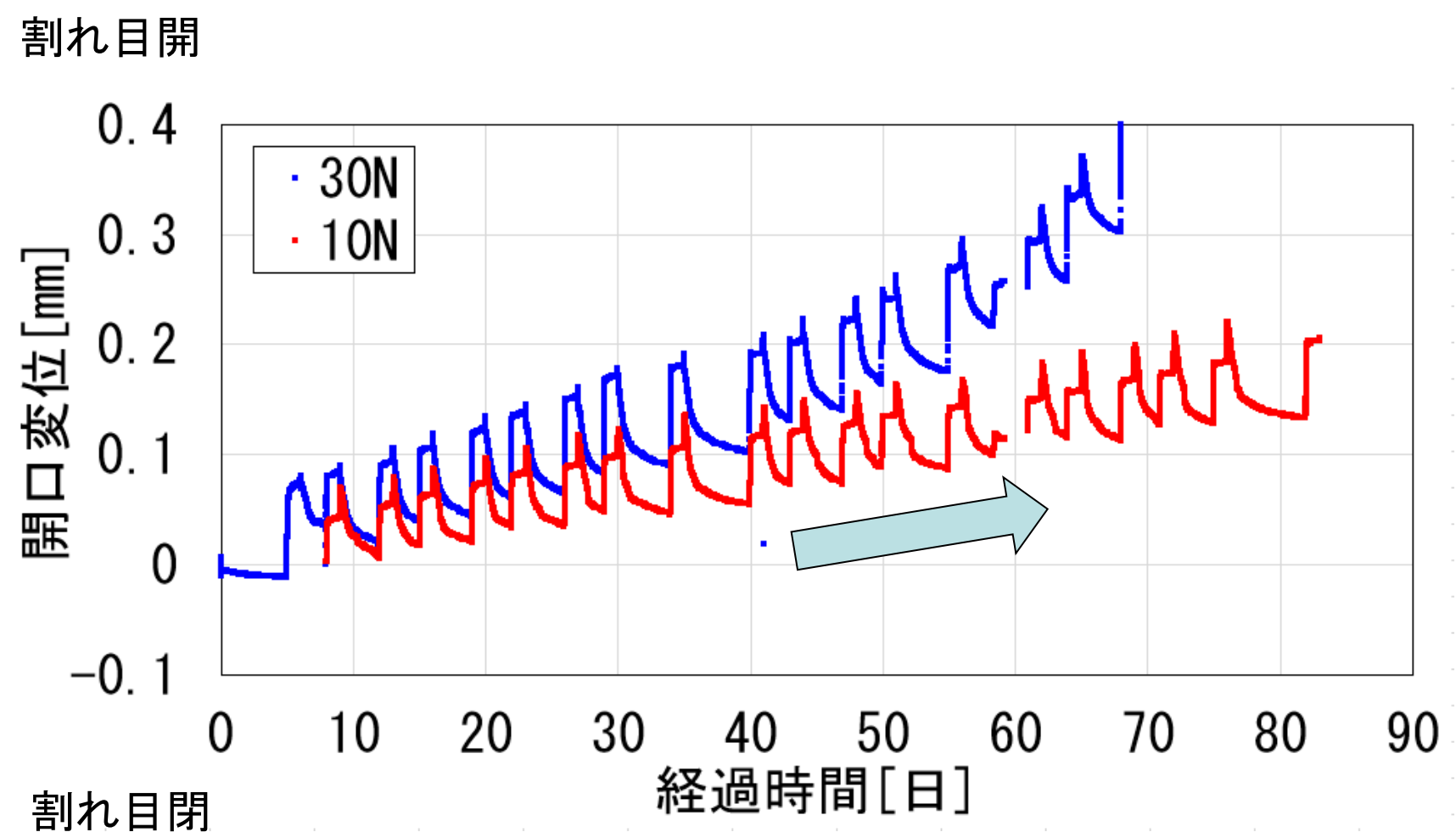


初期載荷10N

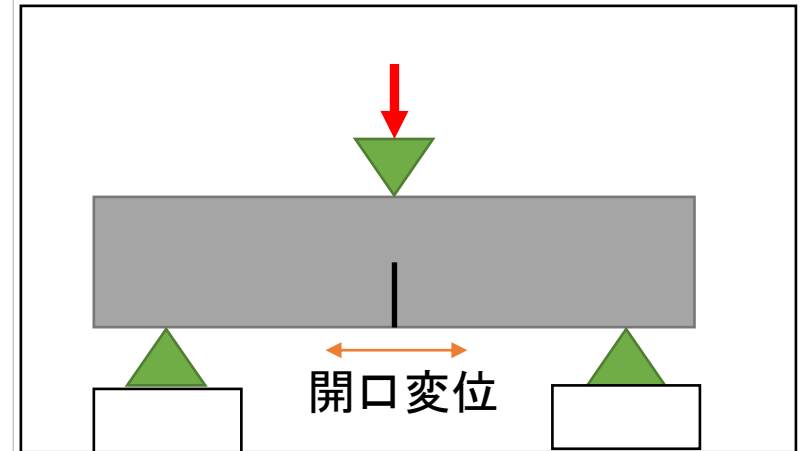
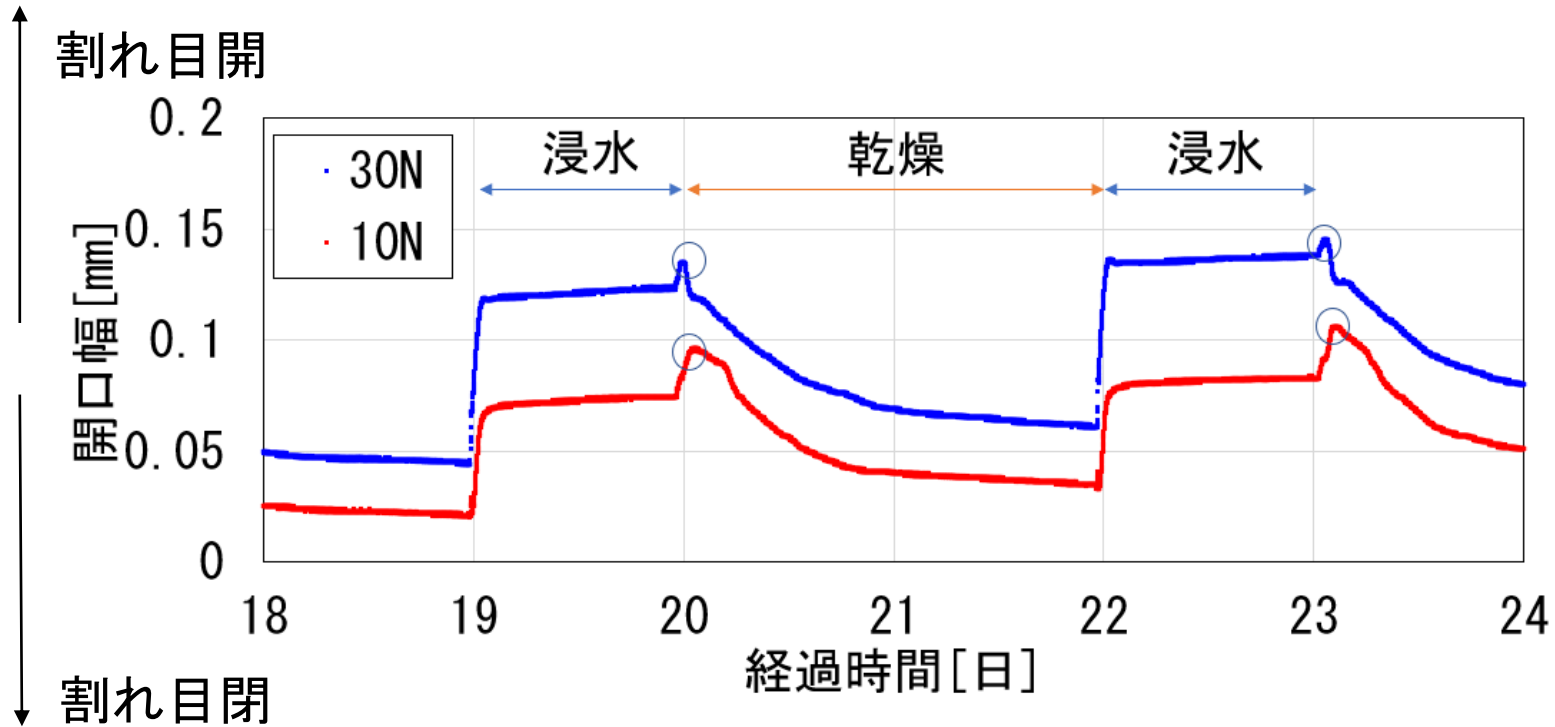
初期載荷30N

- いずれの供試体でも、切欠きの先端を起点に割れ目が進展している
- 初期載荷によって、割れ目の長さや方向の特性が異なる

乾湿繰り返し時の開口変位の変動

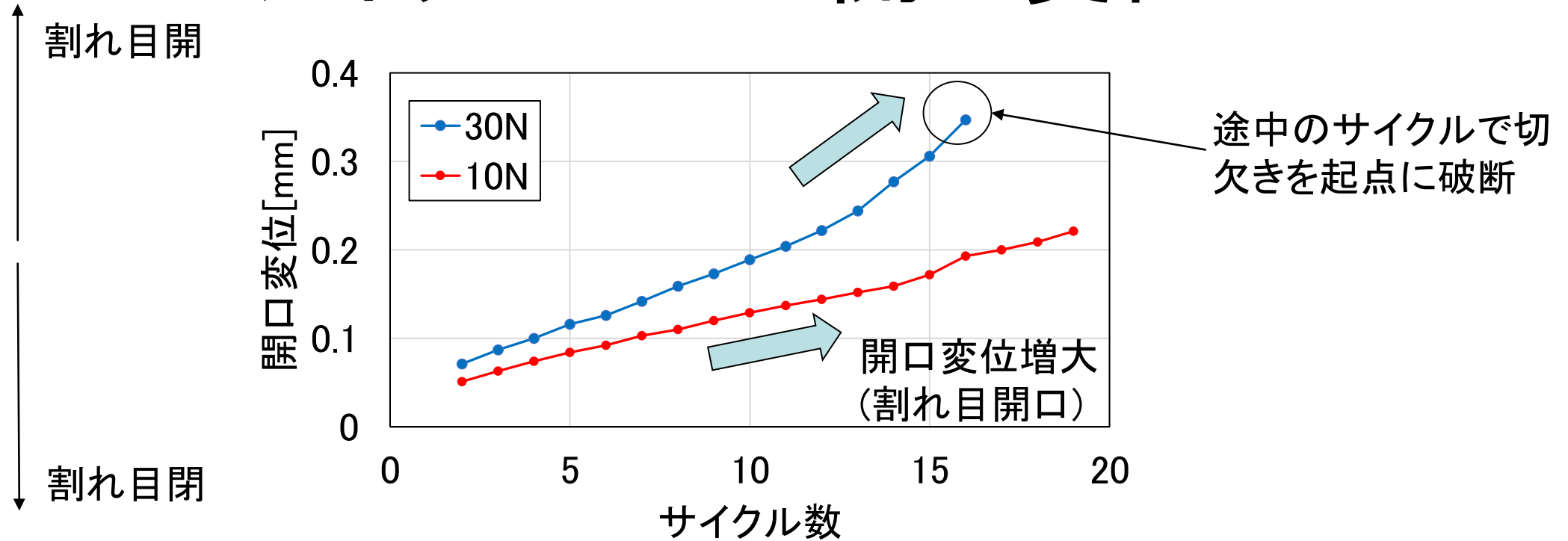


乾湿繰り返し時の開口変位の変動



- 浸水・乾燥開始直後に開口変位増大(割れ目に引張力が作用し開く)
- 乾燥過程後半で開口変位減少(割れ目が閉じる)
- どちらの供試体・どの乾湿サイクルでも、同じ傾向がみられる

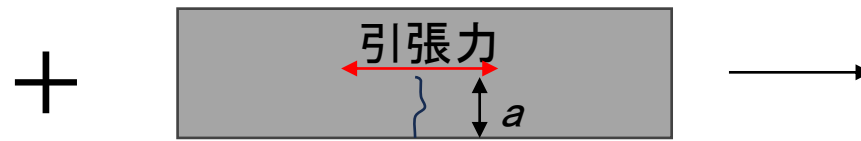
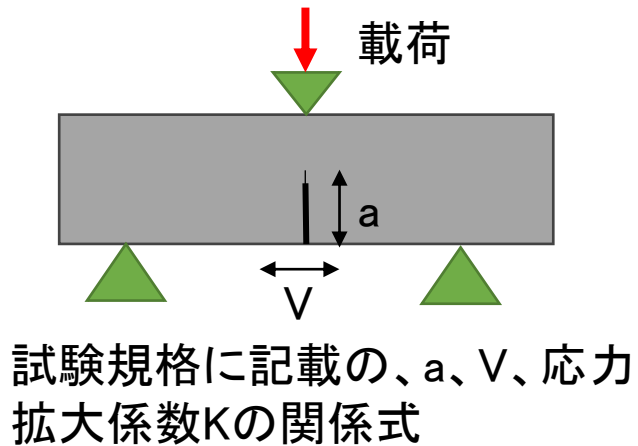
サイクルごとの開口変位



- 各サイクルの開口変位最大値(乾燥開始直後)に着目し、サイクルごとの開口変位の変化を調べた
- 割れ目はサイクルごとに関く傾向にある

開口変位と割れ目進展の理論的關係

- 似た形状の供試体の試験規格で開口変位⇒応力拡大係数に変換
 - 応力拡大係数と割れ目進展速度の關係には理論式あり
- ⇒ サイクルと開口変位の關係について、理論式が算出可能

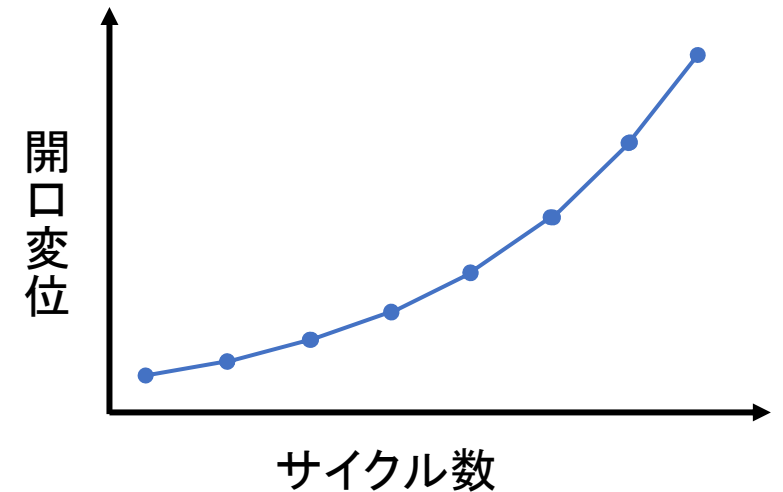


パリス則

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

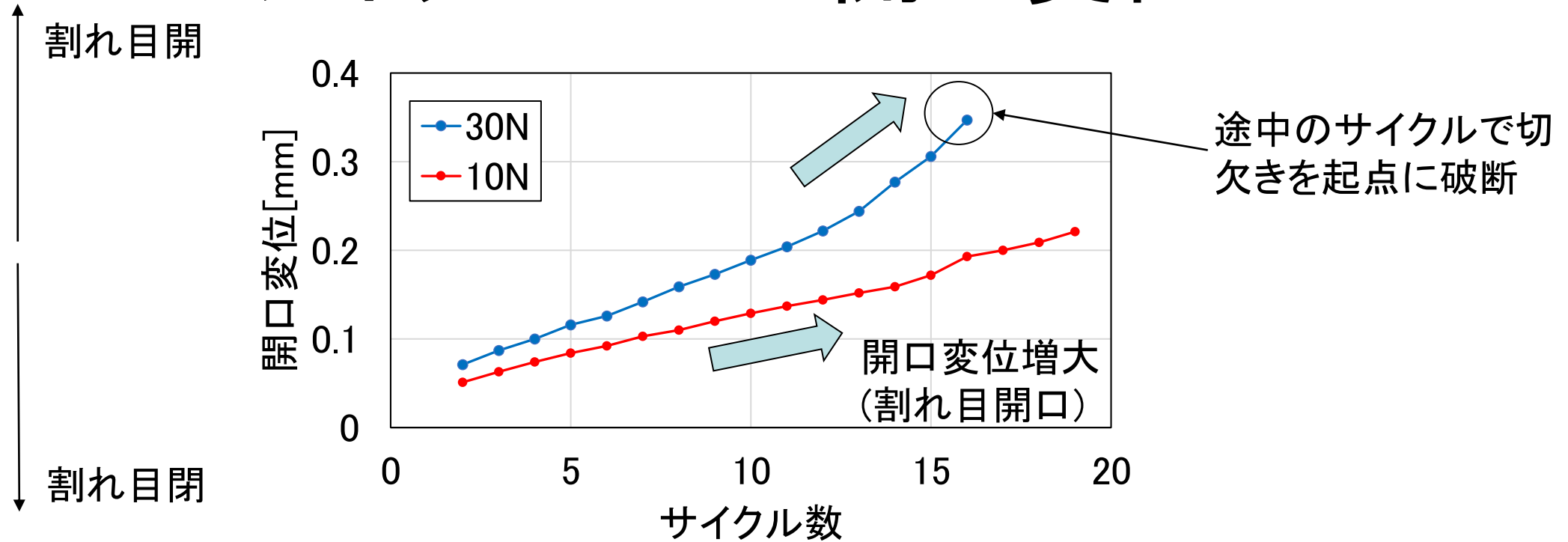
1サイクルあたり
割れ目進展長

サイクル中の応力拡大
係数変動の大きさ



サイクル数と開口変位の關係を示す
理論式(下に凸な形で増加)

サイクルごとの開口変位



- 初期載荷30Nの供試体では、理論式による想定と類似の変動がみられる (特に、後半のサイクルで顕著)
- 初期載荷10Nの供試体では、開口変位の増加速度の上昇はみられず

実験②のまとめ

- 水の出入りに伴って、割れ目が開閉する(岩石に引張力が作用する)
 - 岩石において、乾湿繰り返し作用によって(載荷重が変わらなくても)割れ目が進展する
 - 割れ目が直線的に進展している場合、乾湿繰り返しによる割れ目の進展に対しても、理論式が概ね適用できる
- ⇒割れ目が曲がって進展する場合、他の手法での検証が必要となる

5. 今後の展開

気象条件変動(降雨、湿度)



実験①で検証した湿度変化による変形応答モデル



応力変動(振幅、サイクル数)



実験②で確認した応力と割れ目進展の理論式(パリス則)



割れ目の進展性

気象条件の変化の大きさに基づいて、割れ目の進展性が評価できる

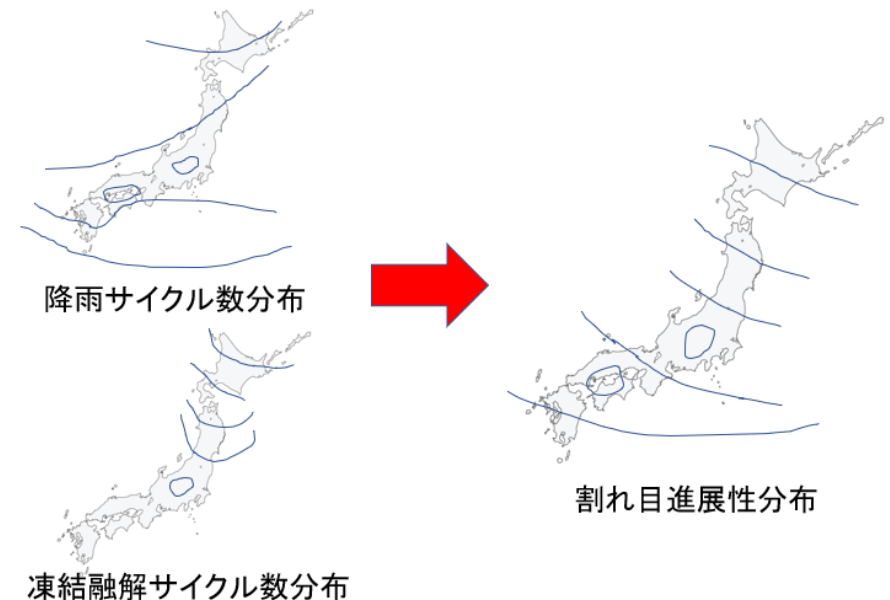
6.まとめ・成果の活用

まとめ

- 岩石の変形(応力変化)への影響: 乾湿繰り返し作用 > 温度変化作用
- 乾湿繰り返しのうち、湿度変化について変形を予測する式を作成
- 乾湿繰り返しによる割れ目の進展に関し、理論式の適用可能性を確認

成果の活用

- 本成果を用いて、割れ目進展モデルを作成
- ↓
- 気象条件のデータから、割れ目の進展性(≒剥落型落石等の斜面災害発生リスク)の評価を行う



参考文献

- 1)久河竜也、浦越拓野、河村祥一：温度および湿度の変動に対する自然岩石のひずみ応答に関する検討，日本応用地質学会令和4年度研究発表会講演論文集，pp.107-108，2022年
- 2)久河竜也、浦越拓野、河村祥一：温湿度の変動に対する堆積岩のひずみ応答，第49回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.97-102，2023年
- 3)久河竜也、浦越拓野、河村祥一：切欠きを設けた堆積岩供試体に対する乾湿繰り返し試験，日本応用地質学会令和4年度研究発表会講演論文集，pp.19-20，2023年

鉄道沿線斜面上の岩石における割れ目進展に 対する気象条件の影響の評価

防災技術研究部 地質研究室

研究員 久河 竜也