



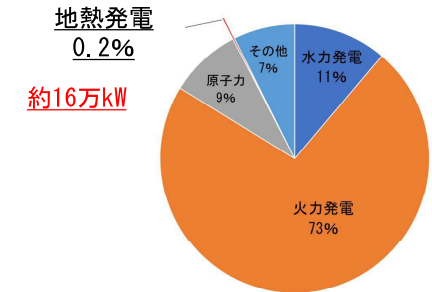
研究背景

地熱資源量

順位	国名	地熱資源量(万kW)
1	アメリカ	3000
2	インドネシア	2779
3	日本	2347
4	フィリピン	600
5	メキシコ	600

出典：国際エネルギー機関

地熱発電割合



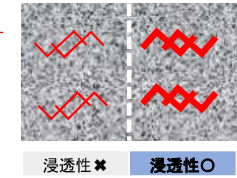
出典：資源エネルギー庁

課題

日本は世界第3位の地熱資源量を持つが全発電容量に占める割合は0.2%と開発が進んでいない

地熱増産システム (Enhanced Geothermal System)

貯留槽の浸透性を改善し、既存の状態よりも多くの地熱エネルギーを取り出すシステム



2

稲田花崗岩の室内水圧破碎実験により発生した亀裂の性状

R5年度卒論発表

岩盤工学研究室
4回生 石井戒征

研究目的

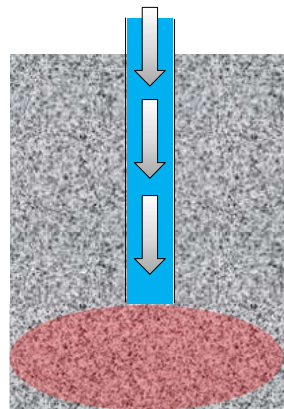


既往研究

- 岩石の直交異方性と水圧破碎実験による亀裂の評価
- 高温条件下における三軸状態の水圧破碎実験
- 岩石の鉱物分布・組成の不均質性を考慮した数値解析モデルの構築

今年度

- 室内水圧破碎実験によって発生した亀裂外観の確認
- CT画像の撮影による供試体内部の亀裂の性状の確認
- 撮影したCT画像を重ね合わせて3次元で亀裂の性状をとらえる



浸透経路に入る亀裂の性状の確認

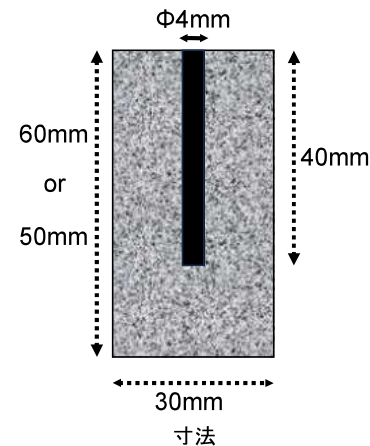
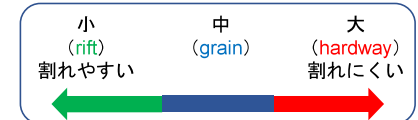
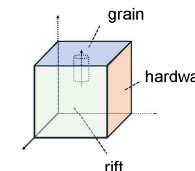
3

供試体作製

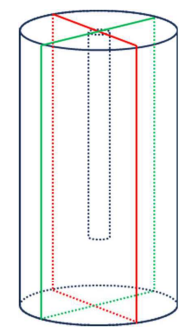


異方性

- 三軸方向における特性値の違い
- 三軸方向の各面でそれぞれ引張強さが異なる



供試体実画像

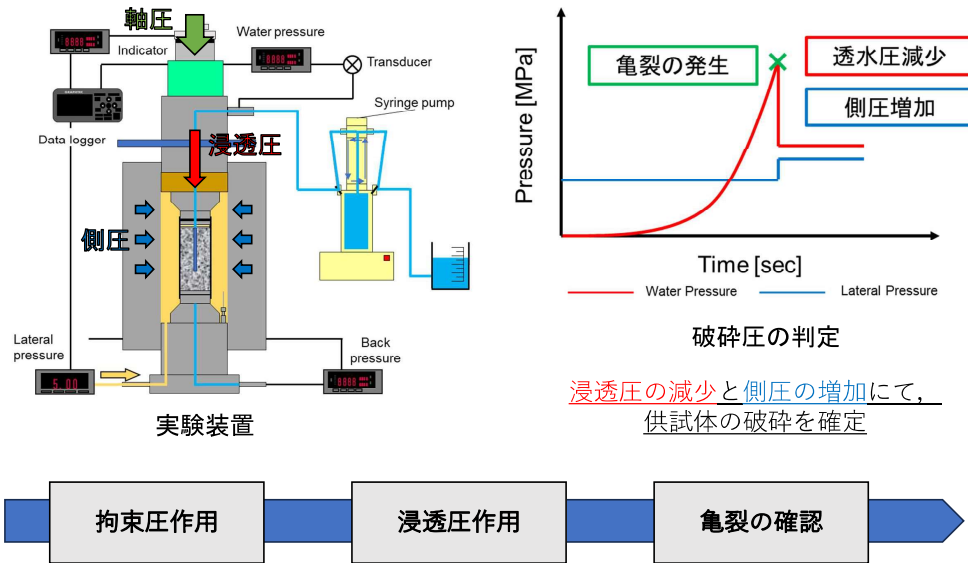


grain方向

引張強さが最も大きいhardway面と引張強さが最も小さいrift面が直交するgrain面を用いた

4

実験方法



5

実験条件



① 拘束圧を変えて実験を行った場合

供試体名	供試体長さ [mm]	軸圧 [MPa]	側圧 [MPa]	推定破碎圧 [MPa]
IGG37	60.29	20	7	20.09
IGG38	60.29	20	10	25.87

② 寸法を変えて実験を行った場合

供試体名	供試体長さ [mm]	軸圧 [MPa]	側圧 [MPa]	推定破碎圧 [MPa]
IGG22	50.23	20	7	20.06
IGG23	59.94	20	7	20.07

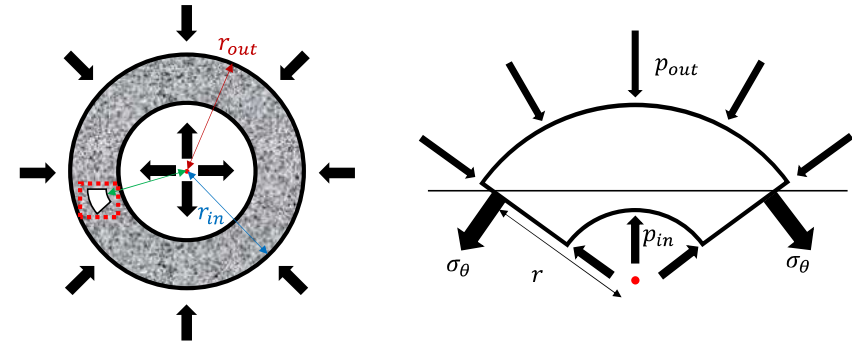
7

破碎圧の推定



厚肉円筒理論

実験開始から破碎するまでの間、円筒壁面における引張破壊かつ非浸透であると仮定



$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{r_{out}^2 - r_{in}^2} \left\{ r_{in}^2 \left(1 + \frac{r_{out}^2}{r^2} \right) p_i - r_o^2 \left(1 + \frac{r_{in}^2}{r^2} \right) p_{out} \right\}$$

σ_{θ} : 円周方向応力 [MPa] p_{out} : 外圧 (側圧) [MPa] p_{in} : 内圧 (水圧) [MPa]

r : 中心から任意点までの長さ [m] r_{in} : 内半径 (円孔半径) [m]

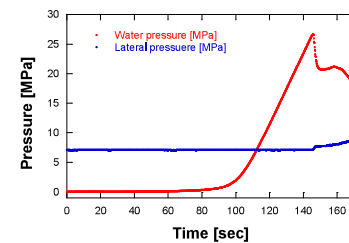
r_{out} : 外半径 (供試体半径) (円孔半径) [m]

6

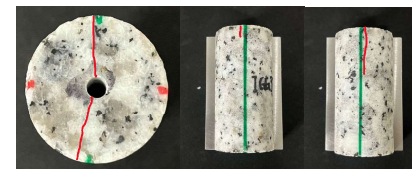
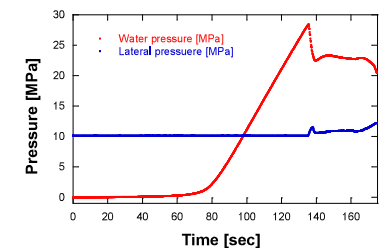
実験結果 (拘束圧の変化)



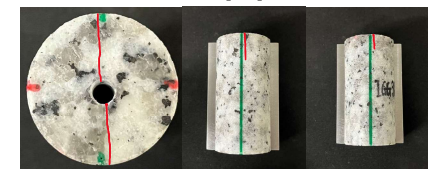
経時変化 (IGG37)



経時変化 (IGG38)



亀裂はrift方向, 上部断面から約25mm



亀裂はrift方向, 上部断面から約16mm

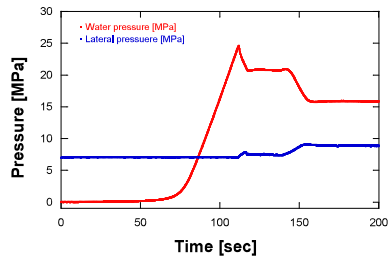
➡ 軸圧と側圧の差圧が大きい場合の方が亀裂が進展しやすい

8

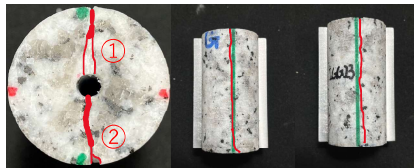
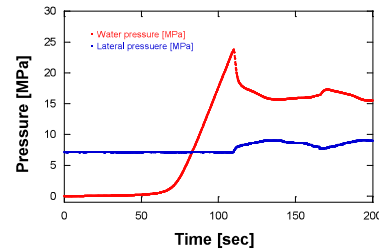
実験結果（寸法の変更）



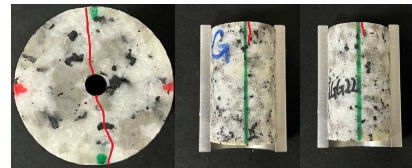
経時変化（IGG23）



経時変化（IGG22）



亀裂はrift方向，上部断面から約57mm



亀裂はrift方向，上部断面から約11mm

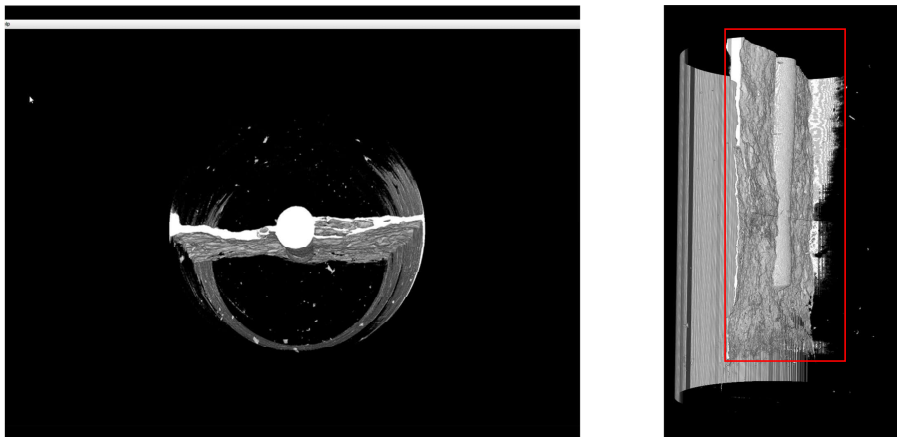
寸法が短い場合よりも長い方が亀裂が進展しやすい

9

亀裂の確認



画像解析ソフトImageJを用いて撮影したCT画像を基に3次元化を行った



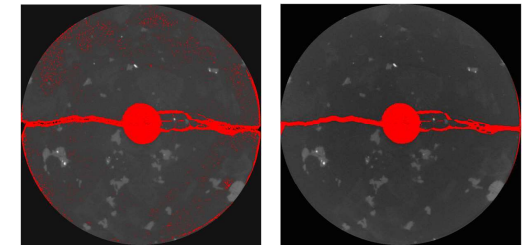
浸透圧をかけた円孔側で開口幅の大きい亀裂が発生
円孔から離れるほど亀裂の開口幅は小さい

11

亀裂の抽出

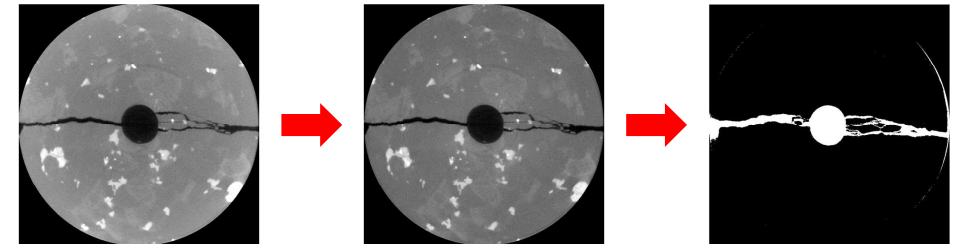


1. 実験供試体の内部の亀裂の性状を確認するためにCT画像を撮影
2. 画像データ上の余分なノイズを画像解析ソフトImageJを用いて除去
3. 亀裂のみの抽出
4. 3次元画像の作成



除去前の亀裂

除去後の亀裂



撮影したCT画像

光線硬化除去後
CT画像

亀裂のみを抽出した
CT画像

10

結言 今後の方針



拘束圧における比較

- 既往研究と比較し，浸透圧の低下，側圧の上昇を確認
- 拘束圧が軸圧20MPa，側圧10MPaの場合と軸圧20MPa，側圧7MPaの場合で比較拘束圧の差圧が大きい後者の条件の方が亀裂の進展が良好

亀裂進展方向の比較

- 亀裂の進展方向は8本中7本引張強度の小さいrift面に発生
- 弱面への亀裂進展が多い結果となった

寸法による比較

- 寸法が短い場合と長い場合で同様の条件で行ったところ，後者の場合の方が亀裂の進展が良い結果が得られた

今後の課題

- 今後は，最も亀裂が進展した条件で実験を実施し，供試体下部断面まで亀裂が進展するか確認する
- 3次元画像による亀裂の可視化画像を用いた解析・シミュレーション
- 亀裂にばらつき→今後データを蓄積した上での考察が必要

12