

平成 28 年 5 月 11 日現在

機関番号：16301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630413

研究課題名(和文)シェールガス開発・地熱EGS適用を想定したプロパント処理岩盤き裂の透水特性の解明

研究課題名(英文)Evaluation of permeability change in proppant-treated rock fractures for development of shale gas and EGS

研究代表者

安原 英明 (YASUHARA, HIDEAKI)

愛媛大学・理工学研究科・教授

研究者番号：70432797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年、シェールオイル・地熱EGSが新たな資源として注目を浴びている。その背景に水圧破碎技術の革新が挙げられる。この技術は、坑井内を満たした流体を加圧して、坑井付近の貯留層に人工的な引張亀裂を発生させる技術である。また、亀裂の開放状態を維持するために、亀裂閉塞防止材であるプロパントを混入する。即ち、効率的かつ持続的にエネルギーを回収するために、プロパントを圧入した岩盤亀裂の透水特性評価が必要不可欠となっている。そこで、本研究では、地下の高温高压環境を再現し、プロパント供試体及びプロパント処理した岩石き裂に対する透水試験を実施し、透水性変化を時系列で観察した。

研究成果の概要(英文)：In order to efficiently and sustainably extract shale gas from deep subsurface, the permeability of the proppant-treated fractures are examined in detail. In this work, we have observed the evolution of permeability in the proppants and the proppant-treated fractures under the simulated stress and temperature conditions. In addition, the mechanisms of the permeability change were investigated. The experimental results show that the permeability in the proppants little changes for about 100 days, while it decreases with time significantly in case of the proppant-treated fractures. The reduction may be the interpenetration of the proppants and the mineral re-precipitation.

研究分野：岩盤力学

キーワード：岩盤 シェールガス 地熱EGS プロパント 透水特性

1. 研究開始当初の背景

現在、世界のエネルギー源の81.6%が化石燃料によって得られたものであり、石油、天然ガス、石炭の可採年数は、2008年の時点でそれぞれ42年、122年、60年と予測されている。将来、これらの資源は枯渇する可能性が考えられる。そこで、従来の天然ガス資源と採掘方法が異なるシェールガスが新たな資源として注目を浴びている。世界各地でのシェールガス革命の背景には、水圧破碎技術の革新が挙げられる。水圧破碎技術とは坑井内を満たした流体を加圧して、坑井付近の頁岩層に人工的な引張亀裂を発生させる技術である。水圧破碎技術によって発生させた人工的な亀裂は、岩盤に作用する地圧によって時間が経過すると共に閉塞してしまう。従って、開放させた亀裂から効率的かつ持続的にシェールガスを回収するために、開口状態を維持しなければならない。そこで、流体に亀裂閉塞防止材である砂粒(プロパント)を圧入・保持させることで、亀裂の開口状態を維持し、有効的な流量を確保している。しかし、高温高压環境である地下では、プロパントの破壊や続成作用により透水性能の低下が予測される。水圧破碎技術を用いて発生させる亀裂から回収するエネルギー量を長期予測するためには、プロパント処理した亀裂の長期的な透水特性変化の評価が必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、温度、拘束圧を制御した環境で、プロパント供試体及びプロパント処理した亀裂に対する透水試験を実施し、時系列で透水特性評価を行った。さらに、透水性変化に起因するメカニズムについても検証した。

3. 研究の方法

(1) 実験概要

本研究は、高温高压環境下である地下深部を模擬的に再現することでプロパントの透水性変化を確認した。供試体はプロパントのみで構成される粒状供試体と、人工的に泥岩にき裂を作製し、そのき裂にプロパントを挿入した岩石き裂供試体の2種類を用いて透水試験を実施した。粒状供試体においてはプロパントのみの透水性変化を評価し、岩石き裂供試体においては岩石の亀裂とプロパントとの相互作用に起因する透水性変化を評価した。

(2) 透水試験

透水試験は、等方圧を保持した環境で行い透過率の経時変化を観察した。その際に、水圧破碎を実施する周辺の岩盤に作用する応力を再現するため、拘束圧を10.0 MPaに設定した。さらに、室温条件である20℃と、水圧破碎を実施する周辺の岩盤に作用する温度を再現するため90℃の2つの温度に設定して実験を実施した。また、透水試験中

に透過水を採取し ICP 発光分光分析を行い、供試体より溶出した物質の濃度経時変化を評価した。

4. 研究成果

(1) 透水試験結果

本研究では、温度を20℃および90℃条件に設定し透水試験を実施した。粒状体透水試験では、62日目以降に温度を90℃に上昇させると透過率が減少した(図1(a))。これは、加温によりプロパントの体積が膨張し、粒子の格子構造が密になったためであると考えられる。そして、20℃条件および90℃条件での透過率がほぼ定常値を示していることから、プロパントの性能は100日程度で変化しないと考えられる。岩石き裂供試体では、20℃条件および90℃条件で82日までに2オーダー以上の減少がみられた(図1(b))。これは、プロパント粒子が泥岩き裂表面へ徐々に貫入したことによる、き裂開口幅の閉塞が要因であると考えられる。また、泥岩中の鉱物が溶解し、二次鉱物としてプロパント粒子表面に沈殿することによって、透過断面の間隙が減少し、透過率低下へつながったことも要因の一つとして挙げられる。

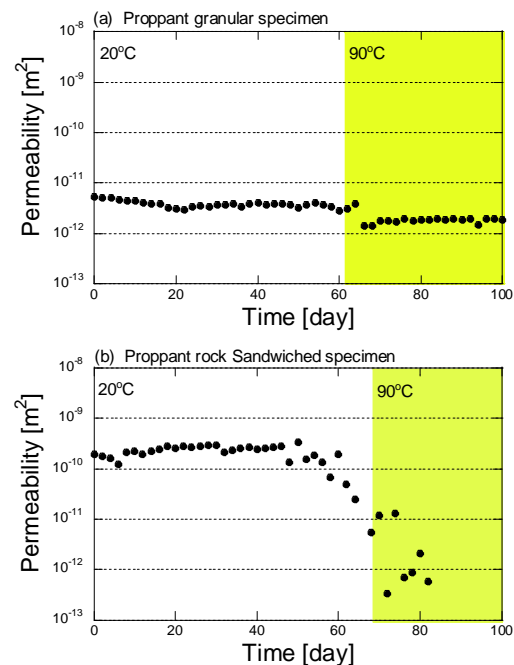


図1 透水試験結果

(2) 物質濃度変化

本研究では、透水試験で採取した透過水に含まれる元素の溶出濃度を測定した(図2)。粒状供試体の測定結果(図2(a))から、90℃に移行した際に、透過水中の元素濃度が全体的に増加していることが確認できる。また、20℃条件、90℃条件ともにSi濃度が最も高い結果が得られた。これはプロパントに含まれるSi元素が粒子表面より溶出したためであると考えられる。岩石き裂供試体(図

2(b))では、Si 濃度よりも Na 濃度が高い結果となった。しかし蛍光 X 線分析の結果よりプロパント自体に Na がほとんど含まれないことから、Na を含有する泥岩の鉱物溶解が起因していると考えられる。

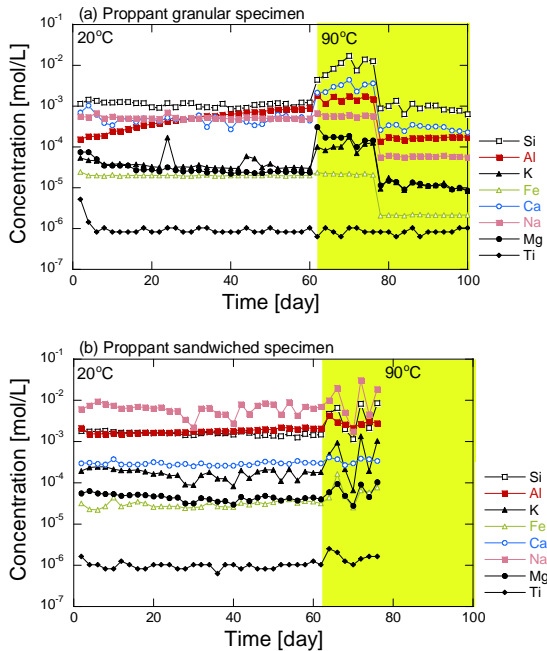


図 2 物質濃度変化

(3) X 線回折分析結果

本研究では、初期状態と透水試験後のプロパントを粉末にし、X 線回折分析を実施した。透水試験前のプロパントからはムル石 (Mul)、長石 (Fsp)、赤鉄鉱 (Hem)、鋭錐石 (Ant) が確認された(図 3)。これは、プロパントに元来含まれている鉱物であり、矛盾のない結果となった。同様に、粒状供試体を用いて実施した透水試験 100 日後のプロパントについてもムル石 (Mul)、長石 (Fsp)、赤鉄鉱 (Hem)、鋭錐石 (Ant) が確認されたが、それ以外の二次鉱物の生成は確認できなかった。粒状供試体同様、岩石き裂供試体は実験前後でほとんど変化が見られなかった。つまり本研究で実施した透水試験結果では、XRD で検出される程度の二次鉱物の生成は確認できなかった。

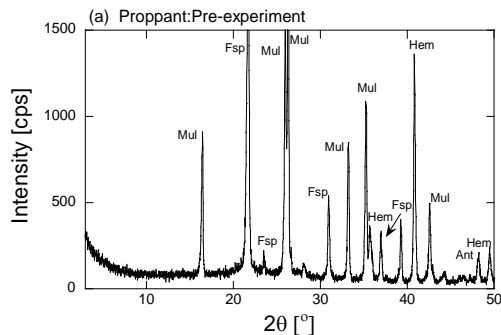


図 3 X 線回折分析結果

(4) 微視構造分析結果

本研究では、等方圧保持透水試験が供試体に及ぼす影響を、透水試験前後のプロパントの粒子表面を観察することで評価した。その結果、透水前のプロパントは全体的に球形に近く、粗い表面を確認できたが、粒状体透水試験で用いた透水後のプロパントは、実験前と比較して凹凸が減少し、表面が滑らかになっていることが確認できた。岩石き裂供試体で用いたプロパントは、表面が実験前のプロパントよりも粗くなっており、溶解した泥岩中の鉱物が二次鉱物としてプロパント粒子表面に再沈殿していることが確認できた。このことから、二次鉱物の沈殿が、透過流路を妨げる要因となり、岩石き裂供試体透水試験結果の 48 日目からの透過率低下に寄与したと考えられる。また、プロパントの貫入と考えられる凹部も確認された(図 4)。

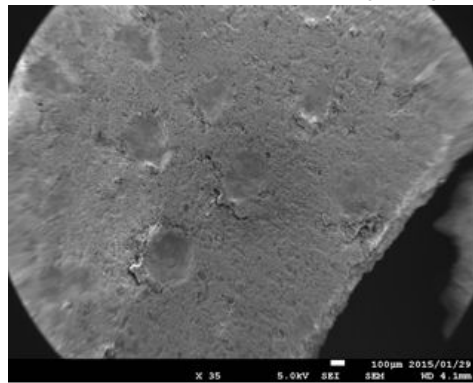


図 4 微視構造観察結果

(5) 結論

本研究では、プロパントのみで構成される粒状供試体とプロパントを泥岩で挟んだ岩石き裂供試体を対象とし透水試験を実施し、透水性の経時変化を観察した。本研究で得られた知見を以下に示す。透水試験では透水性を時系列で観察した。粒状供試体透水試験では、20 °C 条件で透過率の変化は確認できなかった。しかし、温度を 90 °C に上昇させると透過率が低下した。これは、温度上昇によってプロパントの体積が増加し、粒子の格子構造が密になり流路の間隙が減少したためであると考えられる。透水試験中に採取した透過水を用いて、ICP 発光分光分析を実施し供試体から溶出する物質濃度を時間変化で評価した。粒状供試体では、20 °C 条件、90 °C 条件双方とも Si 濃度が最も高い結果となった。これはプロパントに含有している Si 元素がプロパント粒子表面から溶出したことに起因している。岩石き裂供試体では、Si 濃度よりも Na 濃度が高い結果となった。これは Na を含有する泥岩の鉱物が溶解したことが要因であると考えられ、微視構造観察で見られた二次鉱物の成分元素であると推察される。鉱物分析では、実験前のプロパントと粒状供試体、岩石き裂供試体で用いたプロパントを対象に X 線回折分析を実施した。その

結果、双方の供試体のプロパントから二次鉱物の生成は確認されなかった。微視構造観察では、透水試験で用いたプロパントおよび泥岩を観察した。粒状供試体透水試験後のプロパントは、表面が滑らであることを確認できたこれは、粒子表面が溶解したと考えられ、物質濃度分析結果からプロパントの粒子表面の Si が溶出したためであると考えられる。また、岩石き裂供試体に用いたプロパントの表面には、泥岩き裂表面から溶解した鉱物が二次鉱物として粒子表面に再沈殿していた。このことから、二次鉱物の沈殿が透過流路を妨げる原因となり透過率低下に寄与したと考えられる。今後は、より高温・高圧・長期間の等方圧保持透水試験を実施することで、プロパントの劣化状況および透過率の経時変化について確認する必要がある。また、岩石き裂供試体透水試験に用いたプロパントを微視構造観察した際にみられた二次鉱物沈殿の透過率低下への寄与度を定量的に示すことが課題である。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

菅野巧、安原英明、木下尚樹、Dae-Sung Lee、プロパント処理した岩盤亀裂の透水特性評価、第44回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、2016年1月9日、九州大学(福岡県・福岡市)。

菅野巧、安原英明、木下尚樹、プロパント処理した岩石き裂の透水特性評価、平成27年度地盤工学会四国支部技術研究発表会、2015年11月19日、セカンドステージ(香川県・高松市)。

菅野巧、安原英明、木下尚樹、プロパント処理した岩盤亀裂の室内透水試験、土木学会四国支部第21回技術研究発表会、2015年5月23日、香川大学(香川県・高松市)。

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cee.ehime-u.ac.jp/~rock/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

安原 英明 (YASUHARA, Hideaki)

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：70432797