

炭酸塩岩貯留層酸処理におけるワームホール現象の研究

(早大*・JOGMEC**) ○古井 健二^{ふるい けんじ}・石渡 友章^{いしわたともあき}・土屋 慶洋^{つちや よしひろ}・伊藤 義治^{いとう よしはる}**

1. 緒言

炭酸塩岩貯留層でのマトリックス酸処理法では、高濃度の塩酸を圧入することで、ワームホールと呼ばれる高浸透率のネットワーク状流路が形成され、坑井の生産性が飛躍的に向上することが知られている。本研究では、炭酸塩岩貯留層におけるワームホール現象について、室内実験と数値解析の2つの側面からアプローチし、ワームホールの形成メカニズムの解明を目的としている。

2. 研究手法

2.1 トレーサーを用いたコア掃攻実験

Indiana Limestone, Austin Chalk, Edwards White の3種類の露頭サンプルについて、コア内の流動特性を把握することを目的とし、造影剤（3wt% NaI）を含有した塩水（KCl）を使用した水1相の流動試験を実施した。医療用X線CTスキャナによる流動時の撮影やイオン濃度分析により、ブレイクスルー時間や各コアに存在する選択的流路に関する分析を実施した。

2.2 酸処理コア掃攻実験

トレーサー試験を実施した炭酸塩岩コアサンプルについて、テキサス A&M 大学で、15wt%の塩酸を用いた酸処理実験を実施した。また、それぞれの岩種についてワームホール伸展効率曲線を作成し、コアサイズの変化によるワームホール伸展効率の変化を測定した。

2.3 数値解析モデルの開発

酸処理コア掃攻試験におけるワームホールの伸展を再現することを目的として、フェーズフィールド法を用いた数値シミュレータの開発を行った¹⁾。フェーズフィールド変数の時間発展方程式、酸の移流拡散方程式、孔隙流体流動方程式を有限差分法で離散化し、炭酸塩鉱物と塩酸の反応によるワームホールの発生・伸展を計算した。

3. 結果および考察

リアルタイム CT 画像撮影・トレーサー試験の結果より、Indiana Limestone、Austin Chalk、Edwards White コア内の3次元流体流動挙動のデータを取得した。酸処理コア掃攻実験を実施し、1.5"径、4.0"径コアのワームホール伸展効率曲線を作成し、コアサイズ効果の存在を確認した。図1に本研究で開発された数値解析モデルによるワームホール伸展解析の結果を示す。酸を高流量で圧入したケース b)において、複数のワームホールが発生し、最終的に一本の優勢なワームホールがコアを貫通する様子が再現できており、ワームホール伸展の酸圧入速度依存性を定性的に再現できることが確認できた。

a) Low injection rate b) High injection rate

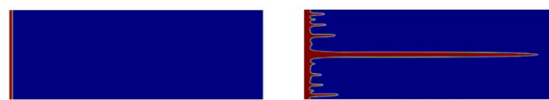


Fig. 1 Simulated wormhole growths at low (a) and high (b) injection rates (15wt% HCl, $\rho_{\text{mineral}}=2.71 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{acid}}=1.14 \text{ g/cm}^3$, $D=1 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\mu=1 \text{ cp}$)²⁾

- 1) Furui, K., Abe, T., Watanabe, T., Yoshioka, K. 2021. Phase-Field Modeling of Wormhole Formation and Growth in Carbonate Matrix Acidizing. Earth and Space Science Open Archive.
- 2) 阿部達朗・渡辺貴大・古井健二・伊藤義治・石渡友章・土屋慶洋, 酸処理におけるワームホール現象の実験的解析及び数値計算による研究、石油技術協会令和3年度春季講演会.