

低温環境における岩石の透気特性評価

愛媛大学大学院 学生会員 ○加藤雅也 正会員 安原英明
正会員 木下尚樹

1. はじめに

我が国では，社会資本整備に伴い地下空間の利用方法が複雑化，多様化している．例えば，エネルギー資源の乏しい我が国において，化石燃料の貯蔵について地下空間の利用は有効な手段の1つである．その場合，貯蔵タンクとなる地下岩盤の長期安定性を評価することは必須である¹⁾．天然ガスはハイドレート化することで天然ガスハイドレート（NGH）となる．NGHは大気圧下，-20℃で安定し，地下岩盤タンクでの長期備蓄が可能である．そのため，-20℃の環境下での地下岩盤タンクの堅牢性，気密性を評価することは必須である．本研究ではその基礎となる室温・低温下における岩石の気体の固有浸透係数を把握するため，低温透気試験装置を開発し，異なる飽和度での低温下・低温履歴後における透気特性を評価した．

2. 実験概要

低温透気試験²⁾とは-20℃の環境下での透気特性を評価するための試験で，異なる飽和度のベレア砂岩供試体を用いて低温透気試験を行うことにより，低温下において，飽和度の違いによる透過率への影響について精査した．また，この試験の前後で室温透気試験を実施することで低温履歴の影響も精査した．使用した透気試験装置の模式図を図1に示す．供試体は，ベレア砂岩を用いて，直径30mm×高さ60mmの円柱供試体（B11～B14，B16～B19）とした．透気試験の境界条件を表1に示す．ベレア砂岩供試体の透気試験では，固有浸透係数をダルシー側が成り立つと仮定して，式より求めた．

$$k_g = \frac{2\mu_g Q L P_{down}}{A(P_{up})^2 - (P_{down})^2} \quad (1)$$

ここで， μ_g ：N₂ガスの粘性係数 [Pa s]，Q：流量 [m³ s⁻¹]，L：供試体高さ [m]，A：断面積， P_{up} ：試料上端の透気圧 [Pa]， P_{down} ：試料下端の透気圧 [Pa]である．なお，室温状態で透気試験をする際には，供試体を絶乾状態にした．

3. 室温・低温下における固有浸透係数

室温・低温下における，固有浸透係数と透気差圧の関係を図2に示す．透気差圧の増加に伴い，固有浸透係数が小さくなることを確認した．これは，透気差圧の増加に伴って気体分子同士の衝突回数が増え，気体流が乱れた影響であるといえる．また，室温と比較し，低温下において固有浸透係数が小さくなることを

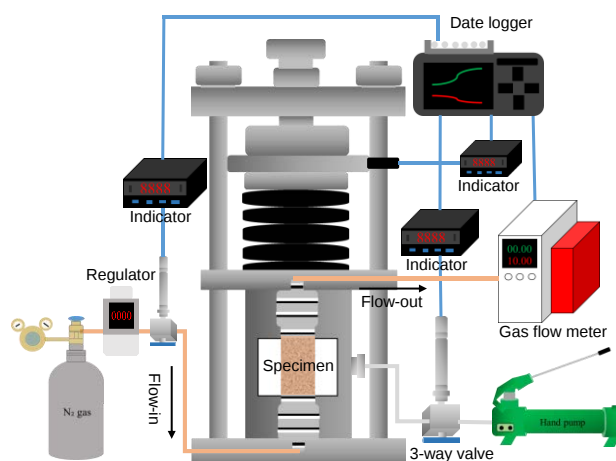


図1 透気試験装置

表1 境界条件

供試体	温度 [℃]	透気圧 [kPa]	拘束圧 [MPa]
B-11～B-14 B-16～B-19	20, -20	50～800	3.0

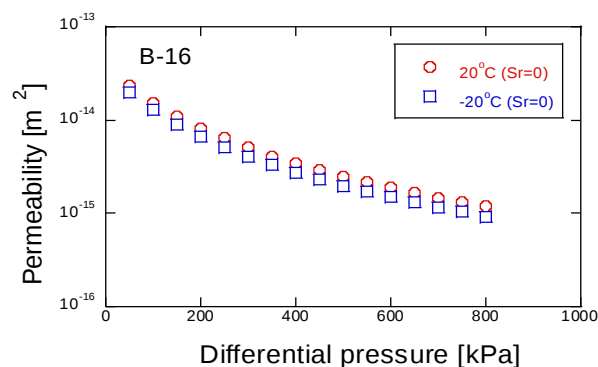


図2 室温・低温下における固有浸透係数の比較
(B-16)

確認した。これは、温度低下に伴い、供試体が収縮して空隙径が小さくなり、 N_2 ガス分子が空隙を通りにくくなったためと考えられる。

4. 低温履歴の固有浸透係数への影響

低温履歴の固有浸透係数への影響を確認するため、室温・低温透気試験を繰り返し行った。本研究では、間隙水の凍結が固有浸透係数に与える影響を確認するため、水飽和度を 0%, 20%, 30% に設定し、低温履歴を与え、低温履歴 2 cycle 後の固有浸透係数を低温履歴前の固有浸透係数で除した値を比較した。なお、20°C で実施した試験は、供試体を一旦絶乾状態にして実施している。結果を図 3 に示す。図 3 より空隙内の水が氷になり体積が膨張することで、微小クラックが発生し、固有浸透係数は増加すると考えられたが、各飽和度の場合で、低温履歴を与えてもほとんど変化が見られなかった。

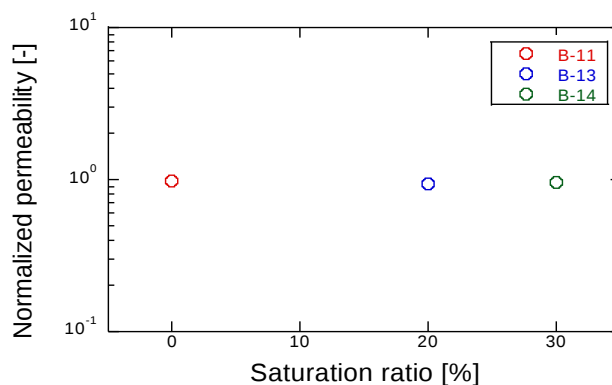


図 3 各飽和度での低温履歴前に対する低温履歴 2cycle 後の透過率 (B11,B12,B14)

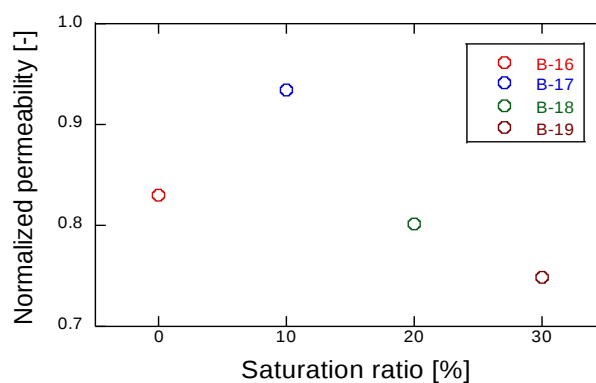


図 4 各飽和度での室温透気試験に対する低温下における固有浸透係数の比較 (B16~B19)

5. 各飽和度における低温下での固有浸透係数

各飽和度での低温における透過率を、絶乾状態での室温における透過率で除した値を比較した。飽和度は 0%, 10%, 20%, 30% とした。結果を図 4 に示す。飽和度が増加するのに伴い、固有浸透係数の相対変化が小さくなっていることがわかる。これは、飽和度が高いほど、供試体の空隙内で凍結する水が多く、空隙内の N_2 ガスが透過する流路が小さくなるためと考えられる。

6. おわりに

本研究では各飽和度での、低温下・低温履歴後における透気特性への影響を評価した。低温履歴の固有浸透係数への影響では、絶乾状態・飽和度を変えた場合 (0%, 20%, 30%) で、低温履歴を与えても、ほとんど変化がみられなかった。また、低温下における透気試験での固有浸透係数への影響では、水飽和度の増加に伴い、室温透気試験に対する固有浸透係数が小さくなることを確認した。今回、低温履歴において固有浸透係数に変化がみられなかったが、より高い飽和度、多くの履歴を与えることで、亀裂の発生が生じ、固有浸透係数に影響を与える可能性がある。今後も継続して低温環境における検証実験を行う必要がある。

7. 参考文献

- 1) 鴨志田 直人, 大河原 正文, 齊藤 剛: 低温下における飽和含水岩石の力学的性質に及ぼす間隙水の影響, 日本材料学会, Vol.67, No.3, pp.330-337, 2018.
- 2) 大内健太郎: 透気・透水試験装置の開発と低温下の岩石流体浸透に関する基礎的実験, 愛媛大学大学院理工学研究科学位論文, 39pp., 2020.