

高温・高圧下における岩石の透水性

愛媛大学工学部	正会員	稲田 善紀
愛媛大学大学院	学生員	木下 尚樹
住友セメント(株)		沖原 直生
(株)竹中工務店技術研究所	正会員	中崎 英彦
(株)竹中工務店技術研究所	正会員	上田 貴夫

1. はじめに

ゴミ焼却場や発電所等で発生する廃熱を利用して水を熱水に変え安定した供給を行うためには、これを地山の岩盤内に設けた空洞に一時的に貯蔵することが考えられる。この場合、空洞周辺には温度分布および熱応力が発生しかつ時間的に変化する。空洞の安定性に関してはすでに筆者らによって確かめられているが¹⁾、さらに空洞からの熱水の漏水も問題となるので、高温・高圧下での岩盤の透水性を検討する必要がある。

本研究では高温および高圧が岩石の透水性にどのような影響を及ぼすかを実験により求め考察した結果について述べる。さらにこれらの結果に基づき種々の条件下における岩石の透水係数を簡易に推定する式を提案している。

2. 実験方法

本実験に用いた岩石は、花崗岩(愛媛県越智郡大島産)で空隙率は1.99%であった。供試体は円柱状コアを直径3 cm, 長さ6 cmに成形し、端面の平行度および平坦度は5/100mm以内におさえるようにした。この際、いわゆる石の目の方向を弾性波伝播速度を測定することによって知り、これを円柱供試体の軸方向と一致させて実験に供した。

本実験に用いた三軸透水実験装置を概念的に示したものが図1である。油圧により周圧を供試体の半径方向に作用させ、軸圧と透水圧は軸方向に作用させた。また、周圧、軸圧および透水圧は設定値の±1%以内で制御した。供試体は熱衝撃を避けるため0.5℃/min以下で昇温し、所定の温度に達した後60分以上保温した後実験を開始した。供試体中央部と上下部との温度差は±1℃以内になるようにした。透水量については水の流れが定常状態となった後、レコーダーに記録し2 cc以上を採取した。なお、透水係数の算定方法はDarcyの法則を適用した。

ただし、本実験では岩石の透水性に影響を及ぼすと思われる周圧、軸圧、透水圧および温度をパラメータとして実験を行った。

3. 実験結果および考察

実験結果を図2～5に示す。図2から周圧の増加とともに透水係数が減少することがわかる。これは流路とするマイクロクラックが周圧の増加にともない収縮し、流れが妨げられたためと考えられる。また、図3から軸圧を増加させた場合も周圧を増加させた場合と同様、透水係数は減少する傾向が認められる。しかし、周圧を300kgf/cm²で一定に保った場合は周圧を150kgf/cm²とした場合と比べ、軸圧の変化による透水係数の変化が小さい。これは前述のように供試体内の石の目を軸方向と一致させ、この方向に透水させているため、周圧の増加による供試体内のマイクロクラックの収縮の影響が軸圧のそれよりも大きかったためと思われる。

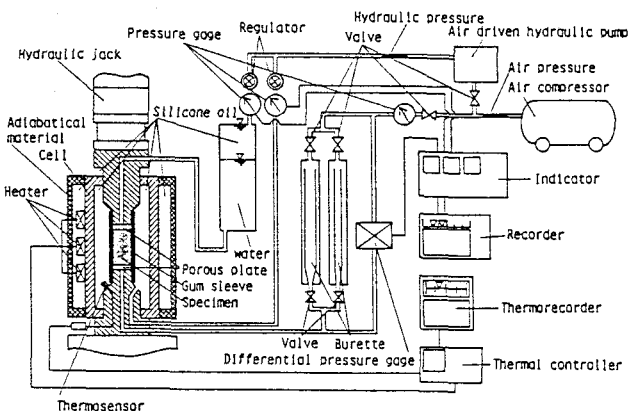


図1. 高温三軸透水実験装置の概念図

さらに透水圧を変化させた場合には、図4から透水圧の増加とともに透水係数が増加することがわかる。これは、周圧や軸圧により収縮していた供試体内部のマイクロクラックが、透水の際拡大されたり増加したためと思われる。

次に、周圧、軸圧および透水圧を一定に保ち、供試体温度を常温から90℃まで変化させた場合の実験結果を図5に示す。温度の上昇にともない透水係数は減少することがわかる。これは花崗岩中の構成鉱物粒子が温度の上昇により膨張するが、本実験では周圧と軸圧により周囲から供試体が拘束されているので、構成鉱物粒子の膨張が内部に向かい、結果としてマイクロクラックの収縮が起こり透水係数の減少がみられたものと考えられる。

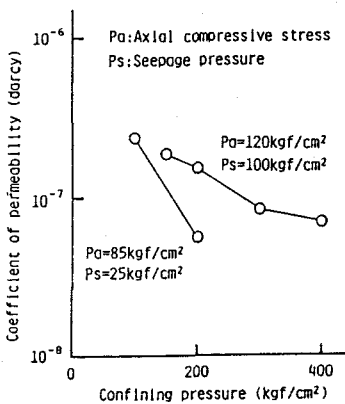


図2. 周圧が透水係数に及ぼす影響

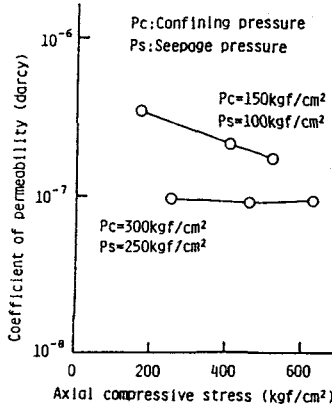


図3. 軸圧が透水係数に及ぼす影響

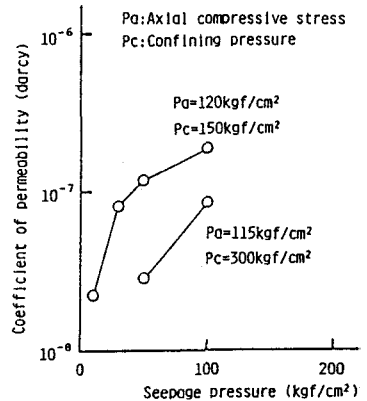


図4. 透水圧が透水係数に及ぼす影響

4. 透水係数の簡易推定

熱水貯蔵時の空洞からの漏水を検討するためには熱応力が時間的に変化するので種々の条件下における空洞周辺の岩盤の透水係数を知る必要がある。ここでは前述の実験結果に基づき、周圧、軸圧、透水圧および温度を変数とする透水係数の簡易推定式を求めた。

その結果を式(1)に示す。

$$\log K = (-6900 - 0.67Pa - 3.8Pc - 5.0T + 100\sqrt{Ps}) \times 10^{-3} \quad (1)$$

ただし、K : 透水係数(darcy)

Pc : 周圧(kgf/cm²)

Pa : 軸圧(kgf/cm²)

Ps : 透水圧(kgf/cm²)

T : 温度(℃)

5. おわりに

本研究で得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 花崗岩の石の目に平行に透水実験を行った結果、透水係数は周圧の影響を大きく受け、温度、透水圧および軸圧の影響をわずかながら受けることがわかった。
- (2) 今回の実験結果から岩石の透水係数を簡易に推定する式を提案した。

参考文献

- 1) Y. Inada, T. Manabe, S. Ohashi and M. Yoshikawa; Stability of underground openings due to storage of heated water, Proc. of the 3rd Int. Conf. on Underground Space and Earth sheltered Buildings, pp. 338~343, 1988.

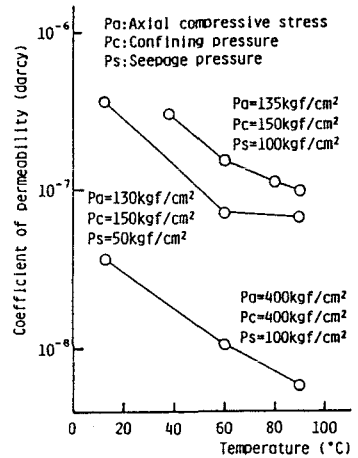


図5. 温度が透水係数に及ぼす影響