

応力依存性を考慮した透水・トレーサー試験

検査開発株式会社 正会員 ○佐藤 久
核燃料サイクル開発機構 正会員 吉野 尚人

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物を花崗岩等の亀裂性岩盤に地層処分する場合、核種は主に岩盤の亀裂内を地下水を介して移行すると考えられている¹⁾。すなわち、亀裂中の透水・物質移行特性を解明することは高レベル放射性廃棄物地層処分の長期性能評価に際して重要な検討項目の一つであるといえる。岩盤亀裂内の透水・物質移行特性についての研究事例は過去にも多くある²⁾が、岩盤内応力と透水・物質移行特性の関係については研究事例が未だ少なく、長期性能評価に際して十分な基礎資料がそろっているとは言い難い状況にある。本研究では、このような状況を鑑み、天然単一亀裂を対象として垂直応力と亀裂の透水・物質移行特性との関係について検討した。

2. 試験の概要

本研究で使用した試験岩体は、釜石鉱山産の花崗岩である。図-1 に示すように試験岩体の寸法は高さ 0.5m、幅 0.5m、奥行き 0.5m であり、ほぼ中央の高さに単一の亀裂を含んでいる。応力負荷装置としてサーボコンロー

表-1 試験ケース

ケース名	垂直応力(MPa)
Case-1	0.0000
Case-2	0.0392
Case-3	0.1568
Case-4	0.3920
Case-5	0.7056

ル式水圧ジャッキを使用しており、岩体に均等な垂直応力を負荷することが可能である。試験岩体の変位の測定には接触式変位計（東京測器：CDP-10）を試験岩体の4隅に設置しており、4つの変位計の変位量の平均値を試験岩体の全体変位量とした。注水設備としては図-2 に示すように堰を使用しており、注水堰水頭値 - 排水ポット水頭値 = 0.31(m)となるように境界条件を設定した。トレーサーには 1%NaCl 溶液を使用し、注入側と排水側のマスフラックスが最大値の 50%になる時間を使用してトレーサー流速を算出した。また、表-1 に示すように、垂直応力を5段階に変化させて透水・トレーサー試験を実施した。

3. 試験結果（垂直応力と透水・物質移行特性の関係）

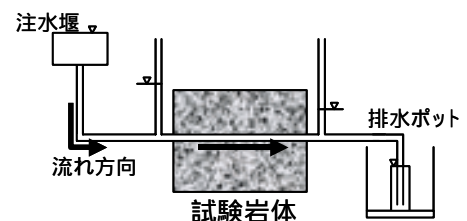
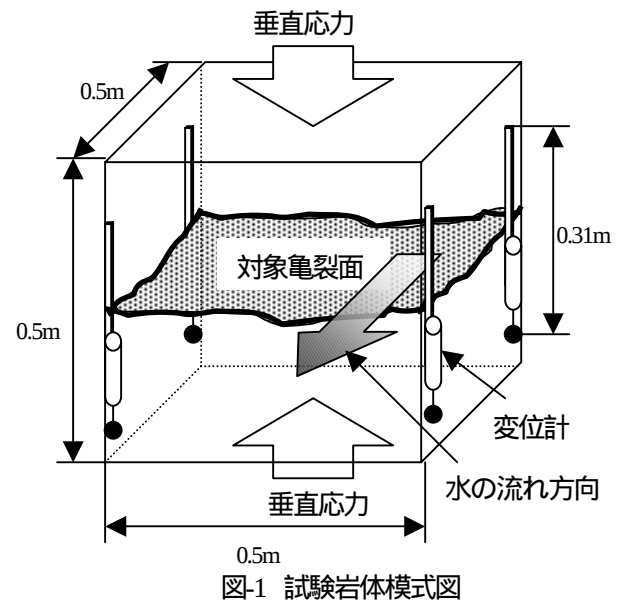
3.1 垂直応力と変位の関係

図-3 に、垂直応力と試験岩体の全体変位量の平均値（ $\delta 1$ ）、対象亀裂以外の部分の弾性変位量（ $\delta 2$ ）、開口幅変位量（ $\delta 3 = \delta 1 - \delta 2$ ）の関係を示す。なお、 $\delta 2$ は式(1)から算出している。

$$\delta 2 = \frac{\sigma}{E} \times d \quad (1)$$

ここで、 σ ：垂直応力(MPa)、 d ：変位計の計測長さ(m)、 E ：試験岩体の弾性係数（ $57.5 \times 10^3 \text{MPa}$ ）である。

$\delta 2$ は $\delta 1$ と比較すると極めて小さく、 $\delta 3$ は $\delta 1$ とほぼ等しくなっていることがわかる。このことから、計測された岩体の変位量は、開口幅の変化を表していると考えことにした。



：注水堰水頭値(堰水頭数=1)
：注水ポート水頭値(マンメータ数=5)
：排水ポート水頭値(マンメータ数=5)
：排水ポット水頭値(ポット水頭数=5)

図-2 注水設備の概要

キーワード：地層処分、透水特性、物質移行特性、水理学的開口幅、物質移行開口幅

連絡先 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話 029-276-1111 fax029-287-3528

3.2 垂直応力と透水量係数の関係

図-4 に垂直応力と透水量係数の関係を示す．同図より，垂直応力が大きくなると透水量係数が小さくなっていることがわかる．このことから，岩盤亀裂内の開口幅が減少し，透水性が小さくなっていることがわかる．

3.3 垂直応力と開口幅（水理学的・物質移行）の関係

図-5 には垂直応力と水理学的開口幅(bh)，物質移行開口幅(bt)，水理学的開口幅／物質移行開口幅(bh/bt)の関係を示す．なお，ここでの水理学的開口幅と物質移行開口幅は式(2)，式(3)で表され，亀裂表面の特性因子は1と仮定している．

$$bh = \left(\frac{12\mu Q}{\rho g \frac{\Delta h}{L} W} \right)^{\frac{1}{3}} f^{\frac{1}{3}} \quad (2) \quad bt = \left(\frac{12\mu V}{\rho g \frac{\Delta h}{L} L} \right)^{\frac{1}{2}} f^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

ここで， μ ：粘性係数(Pa・s)， Q ：単位時間流量(m³/s)， ρ ：密度(kg/m³)， g ：重力加速度(m/s²)， Δh ：水頭差(m)， L ：移行経路長(m)， W ：亀裂の幅(m)， f ：亀裂表面の特性因子(-)， V ：トレーサー流速(m/s)である．同図より，垂直応力の増大に伴いbhとbtは若干小さくなっており，bh/btは大きくなっていることがわかる．垂直応力が大きくなるに従いbh/btが大きくなることは亀裂の内部構造が若干変化していることを表していると考えられる．一般にbhとbtの大小関係は亀裂内の構造に起因するとされており，bt>bhの場合には流れ方向の開口幅変化よりも流れに垂直な方向の開口幅変化の方が大きくなり，bh>btの場合には流れ方向に垂直な開口幅変化よりも流れ方向の開口幅変化の方が大きくなるとされている³⁾．ただし，これは亀裂表面の特性因子の応力依存性にも影響を受けると考えられるため，亀裂内部の正確な開口幅分布を把握した上で再検討を行う予定である．

4．おわりに

本研究では，応力依存性を考慮した透水・トレーサー試験を実施し，垂直応力と透水・物質移行特性の関係について検討した．その結果，垂直応力の増大に伴い，水理学的開口幅や物質移行開口幅は減少するが，bh/btは増大することが判明した．今後はレジン材による開口幅測定を行い今回の試験結果を説明できるような亀裂内のモデルを構築する予定である．

参考文献

- 1)核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—分冊1 わが国の地質環境，-8～20，(1999)，JNC TN1400 99-021
- 2)例えば，P.A.Witherspoon, J.S.Y.Wang, K.Iwai, J.E.Gale：Validity of Cubic Law for Fluid Flow in a Deformable Rock Fracture, Water Resources Research, vol.16,No.6, pp1016-1024,(1980)
- 3)S.E.Silliman：An Interpretation of the differences between aperture estimates derived from hydraulic and tracer in single fracture, Water Resources Research, vol.25, No.10, pp2275-2283, (1989)

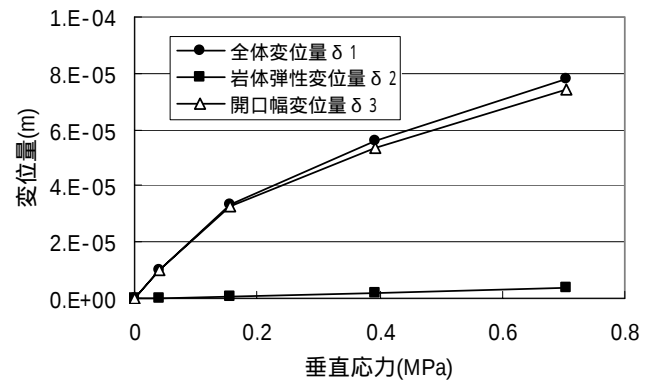


図-3 垂直応力と変位量の関係

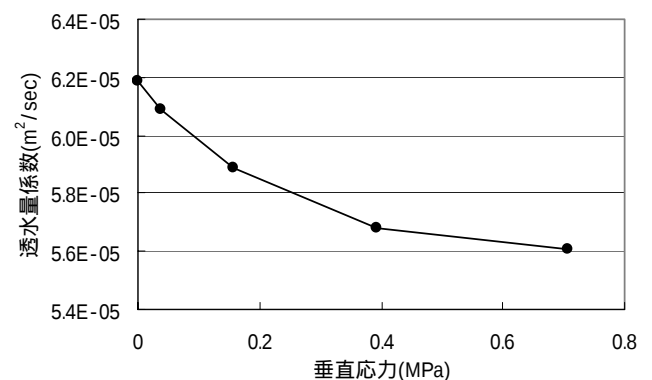


図-4 垂直応力と透水量係数の関係

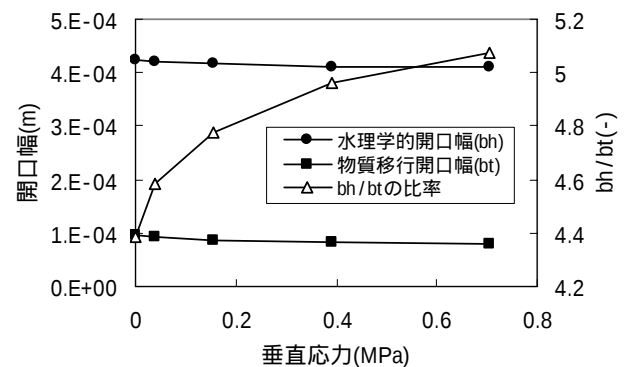


図-5 垂直応力と開口幅の関係