

亀裂接触面の応力依存性と透水異方性に関する解析

埼玉大学大学院理工学研究科
埼玉大学大学院理工学研究科
産業技術総合研究所

正会員 ○山辺 正
岩永啓佑・中島俊明
正会員 高橋 学

1. 本研究の目的

岩盤は放射性廃棄物の地層処分、液化天然ガスの備蓄などに利用されるため、地下空間形成の際に地下構造物の安全性、信頼性を向上するためにはその力学的・水理学的な検討は重要な項目となる。本来自然の産物である岩盤は一般に不連続体であり、大小さまざまな不連続面の存在に伴う不均一性や異方性などにより発生する複雑な挙動を定量的に捉える試みも多い^{(1)~(5)}。本研究では掘削影響領域(EDZ)に関する岩盤の透水性を解明するため、単一亀裂を対象とした力学特性と変形を伴う透水実験を実施し、亀裂内部をモデル化した上で、有限要素法を用いた透水シミュレーションを行うことで、亀裂面内部における透水異方性について評価することを目標とした。

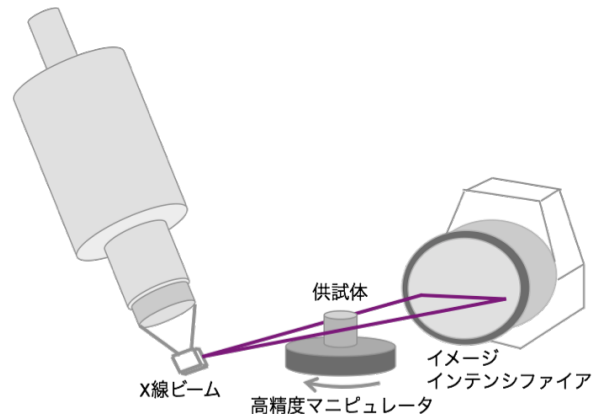


図-1 マイクロフォーカスX線CT

2. 試験概要と試験方法

(1) 亀裂面における流れ場のモデル化

供試体に発生した亀裂面の幾何学特性を元に亀裂接触部(ブリッジ)の広がりとその場所をモデル化するため、まず三軸感圧試験を行った。圧裂引張亀裂を発生させた亀裂面間に感圧紙を挟み込み、三軸圧縮試験を行った。試験後の感圧紙から接触点の面積比を計測し、接触面の応力依存性について検討した。次に、室内試験により発生させた単一亀裂面の座標情報を取得するために、マイクロフォーカスX線CT試験(図-1)、およびレーザー表面粗さ計測試験(図-2)を実施した。対象とした供試体は、直径5cm、高さ5cmの田下凝灰岩を圧裂引張破壊させたもの、直径5cm、高さ10cmの田下凝灰岩を一軸および三軸圧縮せん断破壊させたものである。さらに、図-3のモデルにおいて亀裂面に垂直応力が作用したとする模擬的な解析を行い、亀裂が閉塞する際の接触位置の形状変化について高精度な情報を得た。

(2) 有限要素法を用いた亀裂内部流れの数値解析

亀裂内部の透水性について考察するため、せん断亀裂面に対して有限要素法を用いた数値解析を実施した。これを実験データと比較し、変形と透水の相互作用を考慮した連成問題について考察した。また、流入・流出方向を変化させた場合の透水異方性を検討するため、流入角度を0°~360°まで10°ごとに計算を行った。

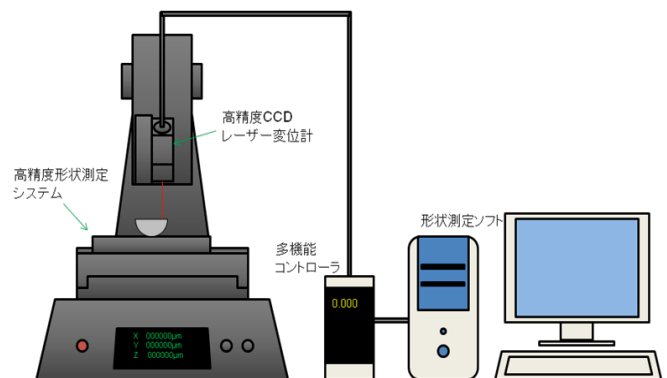


図-2 レーザー表面粗さ計測

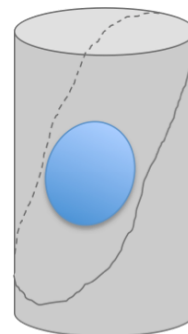


図-3 せん断面内のモデル化円形領域

キーワード 掘削影響領域、亀裂面、透水特性、異方性

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255

TEL 048-858-3544

3. 試験結果及び考察

(1) 亀裂面における流れ場のモデル化

各拘束圧下における三軸感圧試験の結果を図-4に示す。この結果において、拘束圧が作用した場合の接触面積比を仮定した。図-5は、三軸圧縮せん断亀裂面に対し、レーザー表面粗さ計測の計測データから両端面が完全に接触した場所を淡色で表し、直径5cmの円形領域(図-3)を抽出したものである。せん断方向に沿って閉塞形状が連なる様子が観察される。亀裂内部ではブリッジ形成箇所を避けて透水すると考えられるので、亀裂内部の流れにおいて不均一性や異方性が発生することが予測される。

(2) 有限要素法を用いた亀裂内部流れの数値解析

解析結果の一例を図-6に示す。流入・流出方向を 10° ずつ回転させて仮想的に透水係数を求め、グラフ化したものが図-7である。せん断方向の透水性が顕著で、最大主方向とは異なる方向にも小さな極値が存在する。以上から、この場合には亀裂内部の流れを表現するには2階のみならず、より高階なテンソル量も必要となることを意味しており、ここでは4階のテンソル成分を導入した。このように得られた近似式を図-7に併せて示す。最大主方向の透水係数は、接触面積比にかかわらず他の極値の3倍程度の値を示した。また、接触面積比が大きくなるにつれ、最大主方向にほぼ直交する方向に存在する極値のピークはなだらかになる。さらに、接触面積比を変化させると主方向が変化することも確認した。

4. まとめ

本研究では亀裂を有する岩石の透水特性について検討するため、せん断亀裂の流れ場を高精度にモデル化し、透水解析を実施した。せん断方向に沿った閉塞形状が確認され、透水解析結果も閉塞形状の影響を受けるため構造的に分散する傾向を示した。透水場を回転させることで透水異方性を検討し、せん断方向に透水性が高い事を確認した。また、解析結果を近似する手法について検討した。

5. 参考文献

- (1) Yasuhara, H. et al., Earth and Planetary Science Letters, Vol. 244, pp. 186-200, 2006.
- (2) 廣野, 高橋, 林, 資源と素材, Vol. 119, No. 9, pp. 603-607, 2003.
- (3) Nemoto, K. et al., Earth and Planetary Science Letters, Vol. 281, pp. 81- 87, 2009.
- (4) 岩永, 遠藤, 山辺, 第12回岩の力学国内シンポジウム, pp. 259-264, 2008.
- (5) 山辺, 後藤, 高橋, 資源・素材2009(札幌), pp. 23-24.

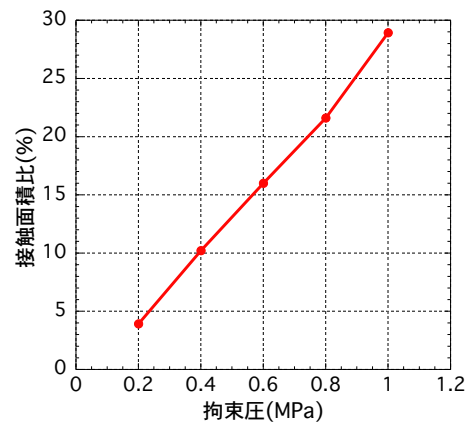


図-4 亀裂面間の接触面積比

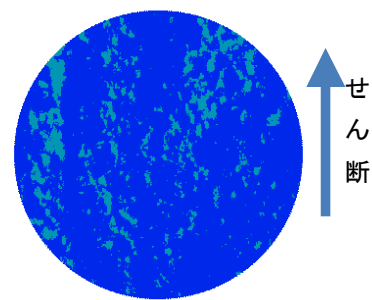


図-5 せん断亀裂面モデル(接触面積比10%)

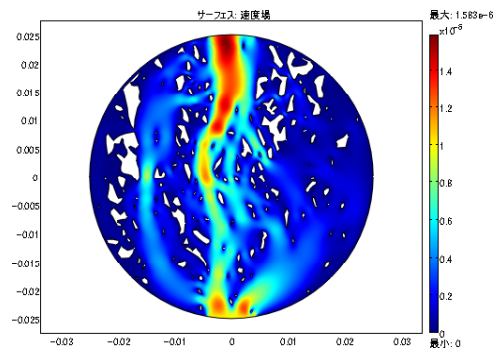


図-6 流速分布 (接触面積比10%, 流入角度 0°)

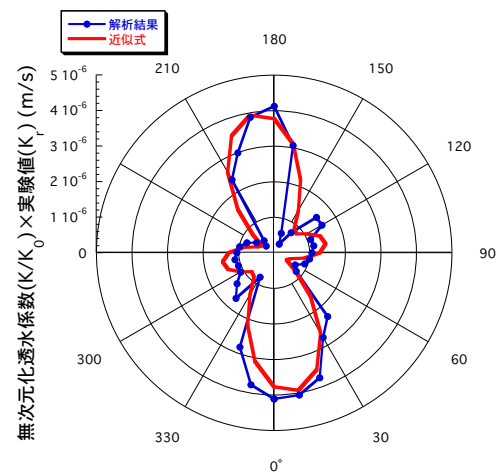


図-7 透水異方性 (接触面積比10%)