亀裂面の幾何学情報の取得と応力浸透連成問題に関する研究

埼玉大学大学院　正会員○山辺　正・長田昌彦
埼玉大学大学院　　学生　中島俊明・鈴木篤史
埼玉大学工学部　　学生　若林功起・斉藤清広

１．本研究の目的

岩盤を対象として放射線廃棄物の地層処分を考える時，地下空洞周辺に亀裂の発生や進展を伴う岩盤のゆるみ現象や，透水性の増大などを伴う掘削影響領域の発生が過去の調査等から報告されている．本研究では圧裂試験で破壊した破断面について，表面粗さ測定器を用いた形状測定を行い，亀裂面の幾何学情報を取得した．この領域に対し，透水解析を実施すると共に，応力浸透連成実験と比較した．

２．試験概要と試験方法

(1) レプリカ作成と再現性

本研究では供試体に田下凝灰岩と白浜砂岩を使用し圧裂引張破壊した亀裂面を作成した後，表面粗さ計測器(**図-1**)を用い縦横50mmの正方形領域に対して表面粗さを測定した．また，エポキシ樹脂を用いて亀裂面のレプリカを作成した．レプリカの再現性を検討するため，供試体とレプリカ共にレーザー測定器で形状測定を行い表面積を比較した結果，相対誤差は 0.17% 程度であり再現性の高い結果となった．**図-2**は，凝灰岩と砂岩のレプリカにおいて各辺の計測ピッチを100μmにした時の凹凸を比較したものであり，右図の砂岩が平坦であることが判る．次に，圧裂引張破壊した後に完全に分離した状態の亀裂２面に対し，共にレプリカを作成し噛み合わせた状態で垂直応力を作用させ，所定の応力毎に感圧紙による接触面積率を計測した結果を**図-3**に示す．レプリカ表面の凹凸に応じて，田下凝灰岩の接触面積率が大きく増加し，その応力依存性が高いことが判る．

(2) 亀裂面からなる空隙体積の算定

亀裂面の幾何学情報から空隙の体積を算出した．**図-4**に示す亀裂凹凸面の鉛直方向の最大値と最小値の差をｈ(mm)とし，縦横50mmで高さｈの体積をV1，亀裂で分離された上下の体積をそれぞれV2，V3とすれば，空隙体積ΔVは ΔV= V1 - (V2 + V3)となる．計測例と物性値を**表-1**に示す．

表-1 間隙率 n，一軸強度 qu，凹凸高さ h，空隙体積ΔV

	n (%)	qu (MPa)	h (mm)	ΔV (mm^3)
田下凝灰岩	33.0	7.30	6.39	706.9
白浜砂岩	10.6	62.0	3.37	47.80

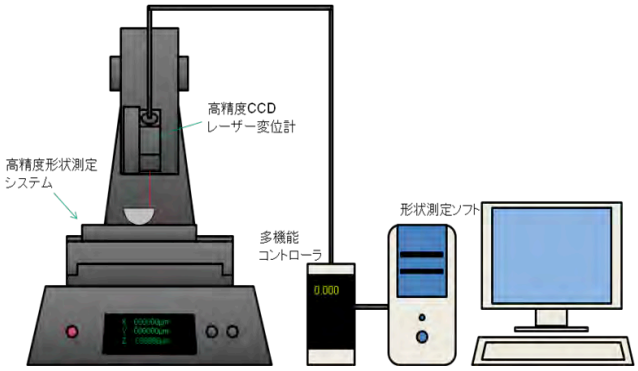

図-1 レーザー表面粗さ計測（解像度 ＝ 50μm）

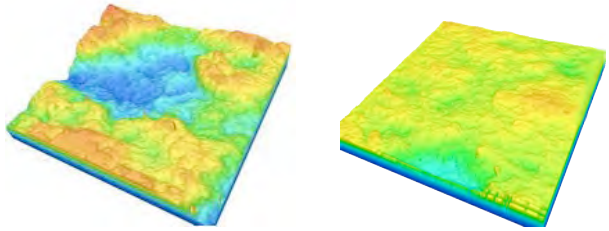

図-2 レプリカ表面の凹凸状況（計測ピッチ100μm）
左＝田下凝灰岩，右＝白浜砂岩（測定領域 50×50 mm）

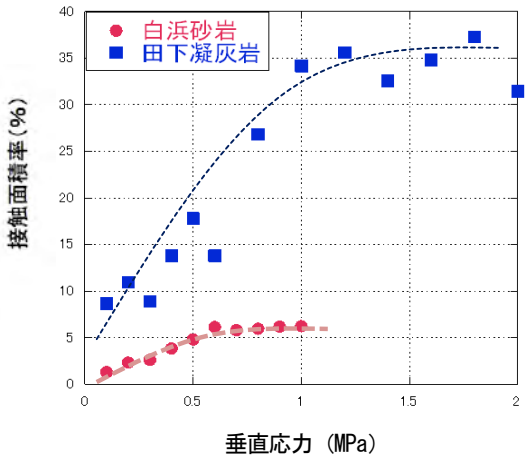

図-3 レプリカに対する接触面積の応力依存性

キーワード　掘削影響領域，亀裂面，透水特性，開口幅
連絡先　〒338-8570　さいたま市桜区下大久保255　TEL 048-858-3544　yamabe@mail.saitama-u.ac.jp

(3) 亀裂面からなる空隙の開口幅の算定

図-4で測定領域を平面に投影した面積S_0は2500mm^{2}であり，$\Delta V/S_0$は亀裂の幾何学的な平均開口幅を表している．また凹凸を含む亀裂面の面積をS_1とすれば，$\Delta V/S_1$は垂直応力=0に対する水理学的開口幅を意味すると考えられる．

3．亀裂面における流れ場のモデル化と数値解析結果

図-3,4において説明した接触面積率の測定結果の一例を**図-5**左に示す．同図は白浜砂岩の亀裂面に垂直応力0.6MPaを作用させた時に対応しており，亀裂面内の接触部分を黒く示す二値化処理画像である．この領域に対し数値解析プログラムCOMSOLを用いて透水シミュレーションを実施した．解析にあたって，Navier-Stokes方程式を流れの支配方程式とし，流入側に一定の流速を与え流体としては水の物性を用いた．**図-5**右が対応する流速分布の解析結果であり，白浜砂岩と田下凝灰岩に対して垂直応力0.2MPa～0.8MPaを作用させた状態を検討した結果，接触面積の増加に伴う透水経路の応力依存性が観察された．

4．水理学的開口幅に関する透水試験との比較

圧裂引張り破壊させた円柱供試体に対して圧縮応力下で透水試験を実施し，得られたデータから透水係数と水理学的開口幅を求めた．透水試験では，透水量Q，動粘性係数ν，導水勾配i，重力加速度g，供試体直径Dを用い水理学的開口幅bを決定した．Qの添字は，亀裂を含まない場合をintact,圧裂供試体の場合をall，と表し，**図-6**の下に示した．同図では，透水試験から得た拘束圧力下の水理学的開口幅と，亀裂の幾何学情報から得た無応力状態の水理学的開口幅を比較した．透水試験で田下凝灰岩は凹凸の差が大きいため応力依存性の効果が大きい．一方，白浜砂岩は比較的平坦な亀裂で基質部の剛性が高いため応力依存性は顕著ではない．

5．まとめ

再現性の高い幾何学情報を持つレプリカを用いて，接触面積の応力依存性を明らかにした．幾何学情報から得られた水理学的開口幅は，透水試験で得られた水理学的開口幅の拘束圧依存性を表す傾向線の非線形な延長上にあり，無拘束応力状態に対応することが判った．

6．参考文献

(1)Yasuhara, H. et al., Earth and Planetary Science Letters, Vol.244, pp.186-200, 2006.
(2)山辺,後藤,高橋, 資源・素材 2009(札幌), pp.23-24.
(3)山辺,岩永,中島,高橋,土木学会年次講演会2010,III-205.

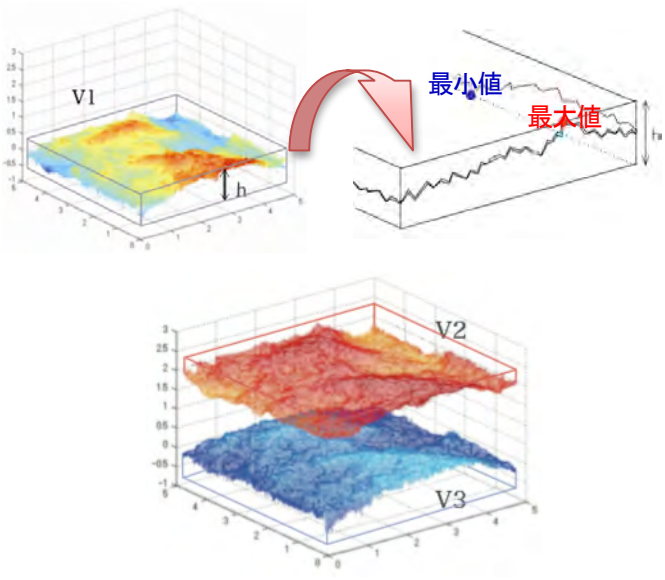

図-4 亀裂面の凹凸高さの差 hと体積V1，V2，V3の定義

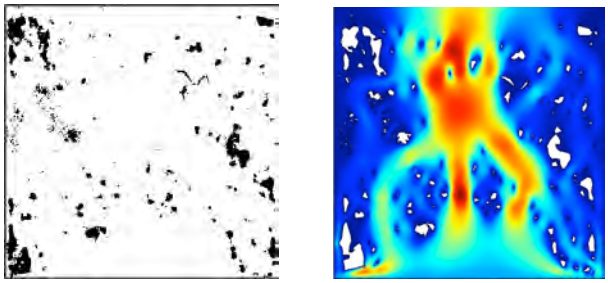

図-5 感圧紙二値化処理画像と対応する透水解析結果
(白浜砂岩，0.6 MPa の例)

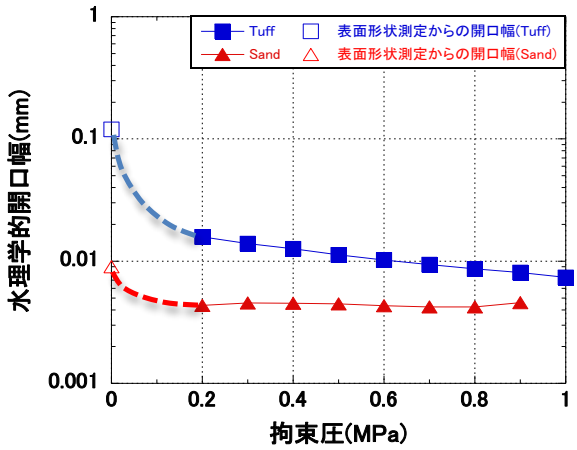

図-6 水理学的開口幅の比較．実験の開口幅は次式．

$$b = \sqrt[3]{\frac{12(Q_{all} - Q_{intact})\nu}{gDi}}$$