

亀裂を有する凝灰岩の透水特性と流れ場のモデル化

埼玉大学大学院 学生会員 ○遠藤 孝志
 埼玉大学大学院 正会員 山辺 正
 埼玉大学 学生 染谷麻優子

1. 本研究の目的

近年、放射性廃棄物の地層処分など地下空間の積極的な利用が具体化しつつあり、岩盤の力学的・水理学的性質を把握することが重要な課題となっている。その際、トンネルや坑道掘削後の応力解放に伴い掘削影響領域(EDZ)が形成され、亀裂の発生や開口などを伴う地盤のゆるみ現象や透水性の増大などが発生する可能性もあり、それらを的確に評価することは緊急の課題である。また、岩盤の安定性を論ずる上で力学的特性と透水特性は相互に密接な関係を有している。本研究では単一亀裂を対象とし、一軸圧縮試験により基本的な力学的特性を把握し、定水圧岩石透水試験により透水特性について検討した。これらをもとに応力-変形-透水の関係を連成問題として評価するとともに流れ場のモデル化を目的とした。

2. 試験概要と試験方法

(1) 亀裂面閉塞量と透水特性に関する試験

単一亀裂面に対して垂直に応力が働く際の亀裂面の閉塞の様子と等方的に応力が増加する際の透水特性の関係を求めた。なお本研究では軽石凝灰岩と砂質軽石凝灰岩を用い、その物理的諸性質を表-1に示す。

一軸圧縮試験方法としてはまず直径 5.00cm 高さ 10.0cm の円柱供試体を一軸圧縮強度の約 30%にあたる垂直応力 0.80MPa まで載荷し、除荷後に高さ 5.00cm の位置で岩石カッターにより切断し亀裂面を発生させる。その後、再び、載荷を行う。ここで亀裂面閉塞量とは、亀裂面を持つ供試体の垂直変位から同一応力下での亀裂面を持たない供試体の垂直変位を引いたものとする。透水試験方法としては直径 5.00cm 高さ 5.00cm の供試体に対し、圧裂試験を行い、亀裂を発生させたのち軸方向に定水圧透水試験を行った。なお透水圧は 0.03MPa で一定とし、拘束圧を 0.05MPa から 1.00MPa まで変化させて透水量を計測し、ダルシーの式により透水係数を算出した。

(2) 亀裂内部における流れ場の把握

亀裂内部の流れ場をモデル化し検討するため、まず亀裂面に対し垂直応力が働いた際に形成されるブリッジの発生箇所とその広がりについて検討した。

試験方法としては直径 5.00cm 高さ 10.0cm の円柱供試体にカッターによる亀裂面を作った供試体と直接引張試験により引張亀裂面を発生させた供試体を用意し、それぞれの亀裂面間に圧力に対して赤色に反応する感圧紙と呼ばれるシートを挟み込み一軸圧縮試験を行った。各応力に対する感圧紙の変化を見るため、1.50MPa まで 0.10MPa ずつ応力を変化させて試験を行い、各応力段階の接点面積を計測した。

3. 試験結果と考察

(1) 亀裂面閉塞量と透水特性の関係

図-1 は軽石凝灰岩の亀裂面閉塞量と透水試験結果を一つのグラフに表したものである。この結果より亀裂を有する供試体は応力が 0.80MPa で、亀裂面閉塞量はほぼ一定の値 0.10mm に収束することがわかる。これは亀裂面の閉塞量が可能閉塞量に近づいたためだと考えられる。この傾向は Bandis(1983)によると、実験的に求めた2つの係数を含む双曲線関数を用いて精度よく表すことができる¹⁾。

また透水試験から、拘束圧の増大に伴い透水係数は非線形的に減少し、0.5MPa で透水係数がほぼ一定になりその値は 2.49×10^{-6} cm/sec となる。これらの結果より、亀裂面に対して垂直に応力が働くとき亀裂は閉塞し、それに伴って透水係数も減少、収束していると考えられる。

キーワード 掘削影響領域, 亀裂面, 透水特性, 応力依存性, モデル化

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-858-3544

(2) 亀裂内部における流れ場のモデル化

図-2 は砂質軽石凝灰岩に対して作成した二種類の亀裂面に関して感圧紙における接点面積と供試体断面積との比を垂直応力に対してプロットしたものである。この結果より亀裂面において実際に接触している面積は実験範囲内の最大応力時にも全体の 20%程度の面積であることがわかる。

4. 本研究のまとめと今後の展望

本研究では亀裂を有する岩盤の亀裂面閉塞と透水特性、さらに実際の流れを検討するため、単一亀裂面における接点の位置と変化について考察した。

トンネルや坑道の掘削に伴い発生する掘削影響領域(EDZ)では空洞からの距離に応じて応力分布が変化し、透水性が大きく変化することが報告されている。特に放射性廃棄物の地層処分においては亀裂が発生した場合の透水性の変化の評価は非常に重要である。

そのため、本研究では単一亀裂を人為的に発生させ応力依存性などの基本的な性質について調べたが、実際の流れ場を検討するためには亀裂面における接触程度に着眼した流れのモデル化が必要であると考えられる。また亀裂の発生においては異なる岩種の境界面における強度の低下も報告されている²⁾。

流れ場のモデル化の一例として、レーザー変位試験により求められた亀裂面の座標をメッシュ補間して二面を作成し、その接点にブリッジが形成されると仮定する。さらにブリッジ面積の広がり図が図-2 の結果に従うと仮定した複合モデルの結果が図-3 である。

今後は図-3 に示したような亀裂面における接点のモデル化を通して実際の水の流れの予測を行うこと、また岩石カッターによる仮想的な単一亀裂や引張亀裂だけでなく掘削影響領域(EDZ)を模擬した、複雑な亀裂を有する供試体の透水特性とそれに対する流れのモデル化の検討が必要である。

5. 参考文献

- 1)S. C. Bandis , A. C. Lumsden , N. R. Barton: Fundamentals of Rock Joint Deformation, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol.20, No.6, pp.249-268, 1983.
- 2)富田敦紀ら。空洞掘削時の応力状態を考慮した要素試験による堆積軟岩空洞掘削時の破壊現象の一考察。岩盤力学シンポジウム, 2006.

表-1 供試体の物理的諸性質

	湿潤密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)	一軸圧縮強度 (MPa)	ヤング率 (MPa)
軽石凝灰岩	1.569	56.35	2.11	423.7
砂質軽石凝灰岩	1.637	46.75	2.74	550.2

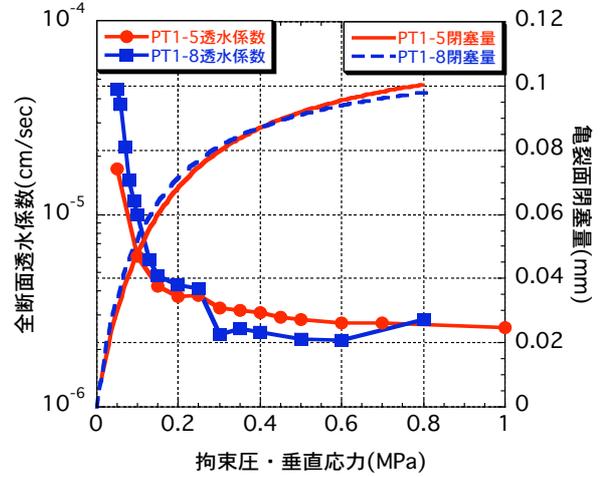


図-1 軽石凝灰岩の亀裂面閉塞量と全断面透水係数

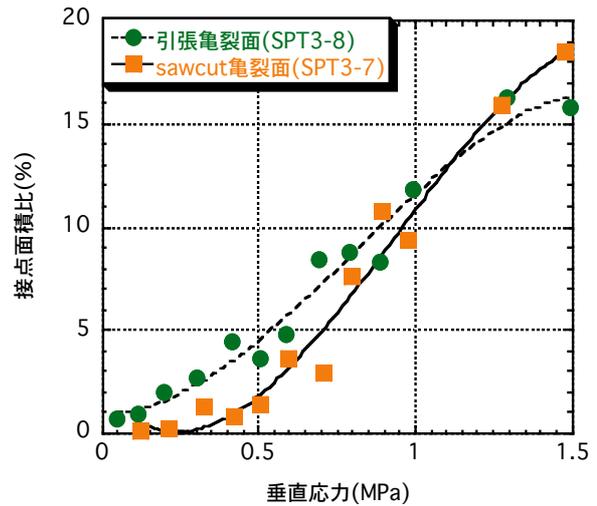


図-2 砂質軽石凝灰岩の接点面積比

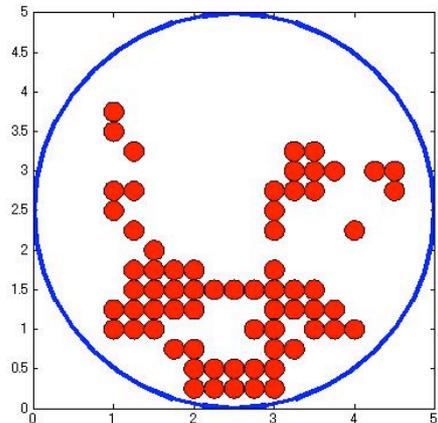


図-3 亀裂面モデル