

地下深部条件下における断層破碎帯浸透率構造の推定 ー長野県大鹿村における中央構造線を例としてー

京都大学 正会員 ○上原 真一
京都大学 嶋本 利彦
京都大学 正会員 大西 有三

1. はじめに

地盤の透水性分布を評価することは、地下天然資源や液体燃料の地下貯留、放射性廃棄物地層処理、CO₂地中貯留等様々な分野に関連する重要な課題である。地殻変動の活発な日本では、岩盤中に断層や破碎帯といった構造が一般的に見られる。断層周辺では、断層活動によって岩石が変形を受け、周辺の岩石とは異なる特徴的な構造を持っており、従って特徴的な水理特性を有することが考えられる。

本講演では、断層の浸透率構造を検討した例として、長野県大鹿村における中央構造線断層露頭周辺の浸透率構造を調べた結果について報告する。中央構造線（以下 MTL とする）は日本最大の横ずれ断層であり、長野県大鹿村付近ではその断層岩に関する多くの研究がなされている（例えば参考文献 1））本研究では、まず、長野県大鹿村の 2 箇所の MTL 断層露頭及びその周辺における断層岩の分布を調査した。そして、特徴的に見られる岩石についてその試料を採取し、実験室において静水圧下条件下でガス浸透率の測定試験を実施した。それらの結果から、この断層帯の浸透率分布について考察した。

2. 中央構造線断層の内部構造

本研究地域において、中央構造線(MTL)は低圧・高温型の領家帯と高圧・低温型の三波川帯といった 2 つの対照的な変成岩帯の境界となっている。領家帯では主にトーナル岩(深成火成岩)が見られ、三波川帯では黒色片岩（泥質岩起源の変成岩）が観察される（図 - 1）。

北川、安康両地域における観察結果および過去の研究をもとに、大鹿村における MTL 断層内部構造をまとめたものを図 - 2 に示す。MTL 沿いには、未固結断層岩帯（幅約 5～30m）、領家マイロナイト帯（幅約 100～150m）、領家マイロナイト帯（幅約 1km）といった断層岩が分布している。未固結断層岩帯は黒色砂質断層

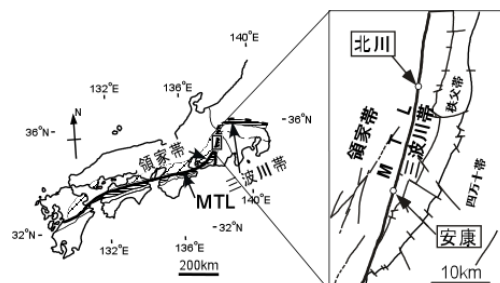


図-1 中央構造線と調査地の位置

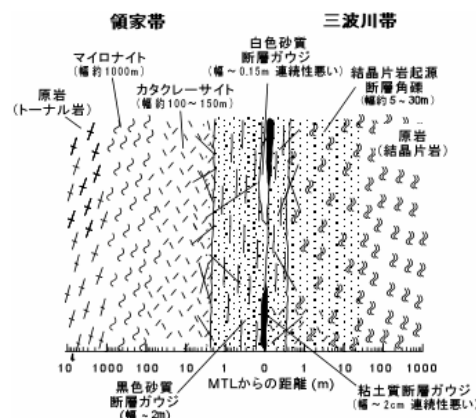


図-2 大鹿村における MTL 断層内部構造モデル

ガウジ（幅約 2～数 m）、不連続な粘土質断層ガウジ（幅 10～20mm）、白色砂質断層ガ

ウジ（幅～約 150mm で変動）、三波川帯結晶片岩の破碎帯（幅約 5～30m）からなる。ここでマイロナイトとは造岩鉱物が塑性変形している断層岩であり、カクレーサイトは深部条件下で脆性変形して形成された断層岩である。この地域では、領家カクレーサイトはマイロナイトを母岩としている。このような断層岩の分布は、この領家帯のせん断帯が、断層活動を繰り返しながら、地殻深部から地表面へ上昇してきたことを示唆している。以下、この内部構造モデルを基にして MTL 断層の浸透率構造について検討する。

3. 室内試験の方法及び測定条件

本地域で特徴的に見られる岩石について、直径 20 または 25mm の円柱状の試料を作成し、実験室において

キーワード 断層, 透水性, 岩石室内浸透試験, 浸透率の応力依存性, 地盤透水特性

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 TEL 075-753-5129

静水圧条件下でガス浸透率の測定試験を実施した。

測定には、京都大学のガス圧式三軸変形岩石試験機を用いた。図-3にその概略図を示す。この装置に関しては、例えば参考文献2)などで詳しく述べられている。静水圧応力条件の試験では、間隙圧を20MPa付近で一定とし、封圧を30MPaから徐々に増加させ、封圧が最高値に達した後、徐々に減少させた。その応力経路の諸段階において浸透率の測定を行った。封圧の最高値としては、110MPaもしくは200MPaを採用した。浸透率の測定は、主に間隙圧振動法を用いて行った（例えば参考文献3)）。

4. 静水圧条件下での試験結果と MTL 断層帯浸透率分布モデル

図-4に測定結果の例を示す。未固結断層岩試料の多くは、今回の測定条件においては、 10^{-13} から 10^{-17} m² の浸透率を示した。これは、固結岩石試料の浸透率に比べ2桁以上大きい。しかしながら、粘土質ガウジの試料は、高压下で 10^{-19} m² 程度の低い浸透率を示した。

浸透率の応力依存性についても、未固結・固結試料間で違いが見られた。すなわち、有効圧が100MPa増加した際、未固結断層岩試料に関しては浸透率が2, 3桁減少したのに対し、固結試料の多くは、その変化は2桁以下であった。また封圧の加圧-減圧サイクルにおいて、未固結岩は固結岩に比べて大きなヒステリシスを示した。

異なる種類の断層岩の浸透率を比較するため、また MTL 断層の浸透率分布を評価するために、有効圧 $P_e = 80$ MPa（昇圧過程）における各試料の浸透率測定値を、横軸に MTL からの距離をとってプロットした（図-5）。この結果によると、昇圧過程の $P_e = 80$ MPa では、断層岩類の母岩、領家マイロナイト及びカタクレサイトは断層ガウジに比べて3桁以上低い浸透率を示す。マイロナイトの浸透率は、その原岩であるトータル岩と同程度かもしくはより小さい値を示す。粘土質断層ガ

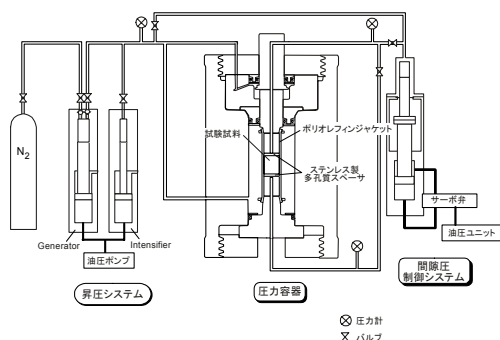


図-3 ガス圧式高压三軸変形浸透試験システムの概略

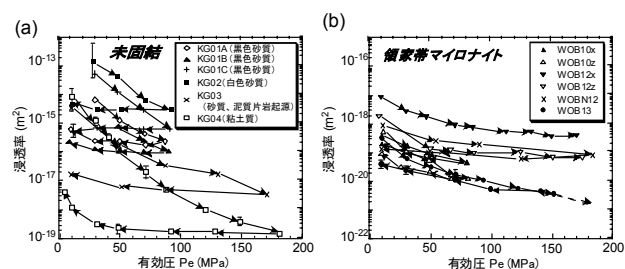


図-4 浸透率測定結果の例：(a)未固結，(b)固結試料

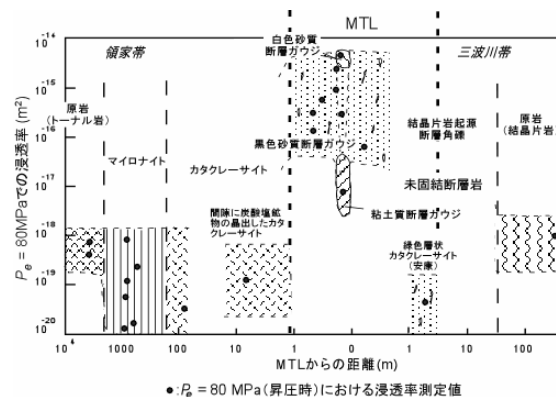


図-5 大鹿村 MTL 断層帯における断層岩及び浸透率分布モデル（昇圧過程 $P_e = 80$ MPa）

ウジは他の砂質断層ガウジと比べると低い浸透率を示すが、その分布の連続性は悪い。

5. まとめ

本研究では、長野県大鹿村の MTL 断層について、断層岩分布の調査と岩石試料の室内浸透率測定試験を行い、その浸透率構造を評価することを試みた。その結果実験試料スケールでは、少なくとも有効圧 P_e が180MPaに達するまでは、MTL 沿いの断層ガウジといった未固結断層岩の浸透率はカタクレサイトやマイロナイトに比べて、2桁以上大きな値を示した。以上の結果は、断層帯が非常に不均質な浸透率構造を持つことを示している。また、これらの岩石の浸透率の有効圧依存性は異なることから、断層内での浸透率のコントラストは深さによって異なることが予想される。

参考文献

- 1) Takagi, H.: Implications of mylonitic microstructures for the geotectonic evolution of the Median Tectonic Line, central Japan. Journal of Structural Geology, Vol. 8, pp. 3-14, 1986.
- 2) Wibberley, C. A. J. & Shimamoto, T.: Internal structure and permeability of major strike-slip fault zones: the Median Tectonic Line in Mie Prefecture, Southwest Japan. Journal of Structural Geology, Vol. 25, pp. 1-18, 2003.
- 3) 高橋美紀, 金子貴信: 間隙圧オシレーション法による浸透率・比貯留率測定方法と岩石の変形試料に対する適用例, 資源と素材, Vol. 119, pp.501-507, 2003.