

高速せん断破壊に伴う透水係数の変化

Dynamic permeability change caused by high velocity friction

谷川 亘^{1*}, 廣瀬 丈洋¹, 坂口 真澄², 多田井 修²

Wataru Tanikawa^{1*}, Takehiro Hirose¹, Masumi Sakaguchi², Osamu Tadai²

¹(独) 海洋研究開発機構高知コア研究所, ²株式会社マリン・ワーク・ジャパン

¹JAMSTEC/Kochi Core Center, ²Marine Works Japan. LTD

せん断破壊に伴う断層帯の水理定数(透水係数, 貯留係数)の変動過程を明らかにすることは, 巨大地震断層や地滑りの動的滑りメカニズム, 地震前後において地下観測抗で観測される急激な水理化学的性質(流量, 間隙水圧, 間隙水中のイオン濃度)の変動プロセスを理解するうえで重要である. とりわけ地震すべりのような高速滑り環境下においては, 断層帯近傍の透水係数は摩耗物生成, 摩擦発熱, および化学反応により大きく変化することが予想される. そこで本研究では室内摩擦実験により0.00013m/sから1.3m/sの滑り速度でせん断変形させた後の岩石の透水係数の測定を行い, せん断破壊に伴う透水係数の変化を調べた. さらに実験後の試料の内部構造観察と発熱温度計算の結果をもとに透水係数が変化するメカニズムについて考察を行った. また, ダイナミックな透水係数変動が断層帯の強度低下プロセス(thermal pressurization)に与える影響について考察を行った.

本研究では水理定数の異なる3つの岩石(ベレア砂岩(間隙率=20-22%), インド砂岩(10-15%), および庵治花崗岩(<1%))を用いて行った. 摩擦実験は高知コア研究所の回転式摩擦試験機を用いて行った. 本実験装置は直径25mmの円筒形の試料断面をこすり合わせることで剪断すべりを再現する. いずれの実験も垂直応力2MPa以下, すべり変位量8m以下ですべり速度を一定に制御して行った. 透水係数は封圧5-120MPaで変化させて封圧依存性を調べた. また間隙流体は蒸留水, 間隙水圧は0-2MPaでランジェントパルス法および定差圧流量法を用いて行った.

摩擦実験の結果, いずれの岩石も遅いすべり速度条件下では変位とともに緩やかに摩擦係数が下がる傾向を示したのに対して, 0.13m/s以上のすべり速度では, 摩擦係数が大きく変動する不安定な挙動が認められた. ベレア砂岩はすべり速度の増加とともに透水係数が減少する傾向が認められ, 1.3m/sの速度において, 透水係数は実験前(封圧10MPa時の透水係数= $4 \times 10^{-14} \text{m}^2$)と比較して1桁($5 \times 10^{-15} \text{m}^2$)減少した. 一方, インド砂岩と庵治花崗岩は0.1m/s以下の速度範囲では実験前後でほとんど透水係数の変化は認められなかったのに対して, 0.39 m/s以上の速度では急激な透水係数の増加が認められた. インド砂岩は実験前後で透水係数が約5倍増加して($2 \times 10^{-17} \text{m}^2$ から 10^{-16}m^2), 庵治花崗岩は約3桁増加した($4 \times 10^{-20} \text{m}^2$ から $4 \times 10^{-17} \text{m}^2$). また1.3m/sの高速滑り条件下において, ベレア砂岩の透水係数は滑り変位とともに緩やかに減少していったのに対して, インド砂岩と庵治花崗岩の透水係数は約4m滑ったのちに急激に増加する傾向が認められた.

μ X線CT装置および薄片を用いた微細構造観察の結果, いずれの岩石も摩擦に伴いすべり面には母岩の粒子径よりはるかに細粒な摩耗物(ガウジ)の生成が認められた. またガウジの生成量は0.1m/s以上のすべり速度から急激に増加する傾向が認められた. さらに0.13m/s以上の速度においては μ XCT画像で明確にわかる大きさのフラクチャーの発達も認められた. また断層滑り面の凹凸度(roughness)は, 滑り速度の増加とともに大きくなる傾向が認められた. 内部構造観察および2次元熱伝導解析の結果をもとに考察を行うと, ベレア砂岩で認められる滑りに伴う透水係数の減少は, 低い透水性を示すガウジ層の発達によるものと考えられる. 一方, インド砂岩と

庵治花崗岩で認められる高速滑りに伴う透水係数の増加は熱破壊に伴うフラクチャーの発達が主な原因と考えられる。さらに1) 滑り面近傍における急激な温度勾配, 2) 石英の α - β 相変化, 3) 温度上昇に伴う岩石強度の低下, が熱破壊の主たる原因として挙げられる。滑り速度増加に伴うガウジ生成量の増加も熱破壊に起因する部分が大いと考えられる。

実験結果をもとにthermal pressurization機構の解析を行った。その結果, インド砂岩と庵治花崗岩は, 滑り始め直後において摩擦発熱に伴い流体圧が上昇し, 断層の強度低下が促されたが, その後, 熱破壊に伴い透水係数が増加して流体圧の急激な減少が認められた。一方ベレア砂岩はせん断滑りに伴う透水係数の減少の影響はほとんど認められなかった。本結果は, これまでthermal pressurizationが起りやすいと考えられていた低い透水係数を示す断層帯でも, 熱破壊に伴う透水係数の増加により必ずしも単純に起りえないことを示している。

キーワード: 透水係数, 熱破壊, 摩擦係数, thermal pressurization, 摩耗

Keywords: permeability, thermal fracturing, friction coefficient, thermal pressurization, wear rate