

剪断破壊に伴う透水係数の変化とすべり速度依存性

Influence of slip rate on the evolution of permeability in simulated fault rocks

谷川 亘 [1]; 廣瀬 文洋 [2]; 林 為人 [3]; 多田 井 修 [4]; 坂口 真澄 [5]

Wataru Tanikawa[1]; Takehiro Hirose[2]; Weiren Lin[3]; Osamu Tada[4]; Masumi Sakaguchi[5]

[1] JAMSTEC; [2] (独) 海洋研究開発機構; [3] 海洋研究開発機構高知コア研究所; [4] (株) マリン・ワーク・ジャパン; [5] (株) マリン・ワーク・ジャパン

[1] JAMSTEC; [2] JAMSTEC; [3] Kochi Institute / JAMSTEC; [4] MWJ; [5] MWJ

断層帯の流体移動特性は、地震断層の動的すべり過程や地震前後で観測される水圧変動のメカニズムを理解する上で重要な物性値である。とりわけ透水係数は断層の破壊と変形に伴い大きく変化することが予想される。これまで、微小な圧縮歪下や非常に遅いすべり速度での破壊に伴う透水係数の変化については、室内変形実験により調べられてきた。しかし、地震性すべりのような非常に速いすべり速度における岩石の透水係数の変化については、これまでほとんど調べられていない。そこで本研究では、速いすべり速度領域における剪断破壊に伴う透水係数と弾性波速度の変化を調べるために、摩擦実験により岩石を剪断させた後、透水係数と弾性波速度の測定を行い、各々の物性の変化とすべり速度の関係について調べた。

本研究ではベレア砂岩（間隙率 = 20-22%）インド砂岩（14-15%）および安治花崗岩（1%）の3つの異なる岩石を用いて行った。摩擦実験により剪断させた試料を大気圧下で弾性波測定を行った後、封圧下において透水係数の測定を行った。実験後の試料は μ X線CT装置および薄片を用いて微細構造観察を行った。

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、すべり変位量2mですべり速度を一定に制御して行った。また、一定すべり速度は0.13 mm/s ~ 1300 mm/sの範囲で変化させた。弾性波測定は超音波速度測定装置（ソニックピュアーS X, 応用地質株式会社）を用いて大気圧下で測定を行った。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でト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時には変位とともに緩やかに摩擦係数が下がっていく傾向を示したのに対して、0.4 m/s以上のすべり速度では、摩擦係数が激しく変動する不安定な挙動が認められた。またいずれの岩石も速度が速くなると摩擦係数が小さくなる傾向が認められた。ベレア砂岩は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て、1.3m/sのすべり速度では、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、インド砂岩と安治花崗岩は0.1m/s以下の速度範囲では実験前後で透水係数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、速い速度領域では急激な増加が認められた。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 ）、安治花崗岩は3桁増加した（ $4 \times 10^{-20} \text{ m}^2$ から $4 \times 10^{-17} \text{ m}^2$ ）。安治花崗岩は速度の増加とともにP波速度が減少する傾向が認められたが、他の二つの岩石については明瞭な速度依存性は認められなかった。ベレア砂岩のポアソン比は、速度に対してわずかに正の依存性が認められた。いずれの岩石も摩擦に伴いすべり面に細粒摩耗物（ガウジ）が生成し、ガウジの粒子径は母岩の粒子径よりはるかに小さく、また生成したガウジの厚さはすべり速度に比例して増加する傾向が認められた。さらに0.4 m/s以上の速度においては μ XCT画像で明確にわかる程度のフラクチャーの発達も認められた。

以上の結果から、透水係数の速度依存性はガウジとフラクチャーの生成過程に大きく関係することがわかる。ガウジの生成量は速度とともに増加し、フラクチャーは速い速度領域のみ発達が認められた。ベレア砂岩については速度に比例する形で母岩より細粒でかつ低い透水係数を示すガウジが生成したことから、速度の増加とともに透水係数が低くなったものと考えられる。一方インド砂岩と安治花崗岩については、速度の増加とともにガウジの生成量も増加するものの、ガウジの透水係数は母岩と同じかやや高い透水係数を示すため、ガウジの透水係数への影響はほとんど無視されるものと考えられる。一方、フラクチャーは母岩と比較してはるかに高い透水係数を示すために、速い速度において透水係数が大きく増加したものと考えられる。

本研究の結果は、高い透水係数を示す断層岩は地震すべりとともに透水係数は減少し、低い透水係数を示す断層岩は地震すべりとともに透水係数は増加することを示唆している。よってこれまで低い透水係数を示すためにThermal pressurizationが起きるだろうと予想されていた断層帯も、すべりに伴う急激な透水係数の増加のためにそのような強度低下プロセスが起きないこともあり得ることを示唆する。