野島断層ガウジの摩擦実験：地震性断層すべり時の動的強度低下と地震発生の証拠となりうる新たな断層岩組織

Friction experiments on Nojima gouge: Dynamic weakening at seismic slip rates and a new textural evidence for earthquake faulting

溝口 一生[1], 嶋本 利彦[2]

Kazuo Mizoguchi[1], Toshihiko Shimamoto[2]

[1] 京大・理・地球惑星, [2] 京大・院・理・地鉱

[1] Earth and Planetary Sci., Kyoto Univ, [2] Dept. of Geol. & Mineral., Graduate School of Science, Kyoto Univ.

断層の高速摩擦特性は、地震時の断層の力学的性質と関連して重要である。最近の高速摩擦実験によって、高速・大変位下の断層が岩石溶融に伴う強度低下を起こす可能性があることがわかった。しかしそれらの実験は、シールする必要のない rock-rock の摩擦実験であった。そこで我々は、断層ガウジの高速シールを開発し、野島断層ガウジの高速摩擦実験を試みた。

実験に用いたガウジ試料は、野島断層の平林露頭において採取した花崗岩起源の断層ガウジである。実験に使用した試験機は、京都大学の回転式高速摩擦試験機である (Shimamoto and Tsutsumi, 1994)。実験は、ガウジ試料を一組の円柱形花崗岩の間に挟み、片側の花崗岩を回転させておこなった。ガウジシールには、内径を花崗岩外形に合わせて加工した円筒形テフロンを用いた。実験は、垂直応力 0.3 - 1.2 MPa, 等価変位速度 1.03 m/s [1200 rpm], 変位量 0 - 60 m, 常温無水条件でおこなった。

実験によって得られた断層ガウジの摩擦挙動および剪断方向に対して垂直な方向の変位変化の典型的な結果を以下に示す。摩擦係数は、実験開始直後に 0.8 ぐらいまで急激に増加する。その後摩擦係数は徐々に低下していき、最後にはほぼ定常状態 (摩擦係数 = 0.2 - 0.6) に達する。定常摩擦レベルは垂直応力に強く依存し、2.1 MPa の最大垂直応力では 0.25 以下の非常に低い摩擦係数を示した。地下深部での高圧下においては断層の摩擦はさらに小さくなる可能性が高い。

垂直変位については、実験開始後短縮が起こり、その後ほぼ一定の値になる。実験開始直後の垂直変位の短縮は、おそらく断層ガウジの細粒化、粒子の再配列および圧密によると思われる。実験中断層ガウジが断層面から漏れ出すことはほとんどなく、実験の再現性は得られている。

低速の摩擦実験により調べられた岩石やガウジの摩擦係数は 0.5 - 0.8 の値である。一方サンアンドレアス断層沿いでの地殻熱流量測定から推定された天然の断層の摩擦係数は 0.2 以下であるとされており、この室内実験との不一致は長い間多くの地震学者を悩ませてきた。この応力・熱流量パラドックスを説明するために、これまで thermal pressurization や rock melting, acoustic fluidization, elastohydrodynamic lubrication などいくつかの断層の強度低下機構が提案されてきた。しかし今回の我々の実験結果から速いすべり速度下の断層は非常に低い摩擦強度であることがわかり、わざわざ上述したような強度機構を考慮する必要がないのかもしれない。

次に我々は断層ガウジの力学的挙動と変形組織との関係を明らかにするために、異なる変位量において実験を止めて回収したガウジ試料の薄片観察を行なった。実験開始直後には回転側断層壁面沿いで粉砕による粒子の細粒化が起こり、その後次第に変形ゾーンが形成され、変形ゾーンと未変形ゾーンの境界が明瞭になっていく。さらに変形が進行すると変形ゾーンの幅が広がっていき、またそのゾーンの Y せん断面に沿って強い定向配列を持つ面構造が発達していく。以上は摩擦強度の低下過程で観察される組織である。定常摩擦過程においては、変形・未変形境界の波状構造や変形ゾーン内における褶曲構造や流理構造が観察された。これらの構造は、通常の低速・小変位の摩擦実験では報告されておらず、地震時のような高速・大変位下でのみ形成されるのかもしれない。