

## 摩擦熔融に伴う断層の強度低下機構

## Weakening mechanism of faults during frictional melting

# 廣瀬 丈洋[1], 嶋本 利彦[1]

# Takehiro Hirose[1], Toshihiko Shimamoto[2]

[1] 京大・院・理・地鋳

[1] Dept. Geol. &amp; Mineral., Kyoto Univ., [2] Dept. of Geol. &amp; Mineral., Graduate School of Science, Kyoto Univ.

断層沿いに産出するシュードタキライト（細粒・緻密な脈状岩）の多くは、地震時の断層運動にともなう摩擦熔融によって形成されたと考えられている。構造地質学者は、地質時代に活動した断層がかつて地震を起こした証拠（地震の化石）として、長年この岩石に注目してきた。最近では、摩擦加熱が地震の発生に大きな影響を与える可能性があることから、シュードタキライトは地震学者からも急速に注目を集めるようになった。しかし、摩擦熔融が断層の力学的性質にどのような影響を与えるかは明らかにされてこなかった。本研究では、高速摩擦実験によって、断層の摩擦熔融に関与した物理的過程を明らかにし、摩擦熔融が断層の力学的性質に与える影響を評価することを試みた。

摩擦実験は、京都大学の回転式高速剪断摩擦試験機を用いておこなった。試料は斑レイ岩の円筒形試料（外径 25 mm, 内径 15 mm）を使用し、実験条件はすべり速度が 0.96-1.60 m/s, 垂直応力が 1.25-2.19 MPa, 156.8 m 以下の変位量である。実験の結果、すべりの増加とともに 2 つの摩擦強度のピークと、各ピーク後にそれぞれすべり軟化が起こることが確認された。天然の断層沿いにみられるシュードタキライトは、2 つ目のすべり軟化における熔融プロセスで形成されたと考えられ、大地震の一部は、このすべり軟化が引き金となって起こっている可能性がある。そこで本研究では、メルト層の形成に伴うこの第 2 のすべり軟化を詳しく調べた。

すべり軟化の間、母岩は断層沿いのメルト層で完全に分離しているため、断層の摩擦抵抗はこのメルト層の粘性率と剪断歪み速度によって決まることになる。そこで、剪断応力と剪断歪み速度からメルト層の粘性率を求め、さらに粘性剪断に対するメルト中の気泡と岩片の影響を既存の実験データ (Frith et al., 1996; Lejeune et al., 1999) を用いて補正し、メルトそのものの粘性率を求めた。その結果、すべり軟化の初期段階においてメルトの粘性率は 45 Pa·s から 145 Pa·s に急増し、その後、摩擦の定常状態に向かって 90 Pa·s まで減少することが判明した。粘性率が上昇するにも関わらず断層の摩擦抵抗が減少するのは、断層のすべりとともにメルト層が厚くなり、それによって剪断歪み速度が減少するからである。従って、メルト層の成長速度を規定する「岩石の熔融速度」が、摩擦熔融時のすべり軟化距離（地震の発生を規定する重要なパラメーター）を決めるもっとも重要な物理量であることが明らかとなった。

天然の断層から測定可能なパラメーターと断層の力学的挙動の対応関係を知ることによって、地震時のすべり軟化距離を推測することが可能である。実験的研究から、これに使えるようなパラメーターとして摩擦熔融面のフラクタル特性と、変位とメルト層の厚さの関係の 2 つが有効であることがわかった。Sibson (1975) が測定した変位とシュードタキライトの厚さの関係は特に実験結果とその傾向がよく似ており、この結果から、天然のシュードタキライト形成時のすべり軟化距離は数 10 cm のオーダーであったことが明らかになった。本研究によって、地震の発生過程において重要であるにも関わらず、決定することが非常に難しいすべり軟化距離を決める方法が開発されたことは極めて意義深い。

過去約 20 年間、地震から決まるすべり軟化距離（ $10^{-1}$ - $10^0$ m 程度）が通常低速摩擦実験で決まる値（ $10^{-5}$ - $10^{-4}$ m 程度）よりも数桁大きい原因が、研究者の間で大きな議論になってきている。多くの研究者は、断層の表面形態のスケール効果をこの違いの原因であると考えてきた。摩擦熔融実験によって決定されたすべり軟化距離が、地震波の解析から得られる値とほとんど同じオーダーになることから、高速摩擦が地震の発生過程に大きな影響を与える可能性が高いと考えられる。本研究により、従来、断層に固有の値であると考えられてきたすべり軟化距離が、発熱速度などによって大きく変化することが明確に示された。断層の変位そのものが断層の力学的性質を変えてしまうというこの非線形な現象を、さらに定量的に解析して、地震発生のモデルに組み込むことが必要である。