

中央構造線近傍の断層岩の摩擦特性

Frictional properties of fault rocks developed along the Median Tectonic Line

岡本 あゆみ¹、*清水 以知子¹、Niemeijer André R.²、Spiers Christopher J.²、荒井 駿³、竹下 徹⁴、上田 匡将¹

Ayumi S. Okamoto¹, *Ichiko Shimizu¹, André R. Niemeijer², Christopher J. Spiers², Shun Arai³, Toru Takeshita⁴, Tadamasa Ueda¹

1. 東京大学、2. ユトレヒト大学、3. 東北大学、4. 北海道大学

1. The University of Tokyo, 2. Utrecht University, 3. Tohoku University, 4. Hokkaido University

我々はユトレヒト大学の熱水回転せん断試験機を用いて、 $\sim 300^{\circ}\text{C}$ の高温、法線応力300 MPaの高圧、間隙水圧240 MPaの高間隙圧といった天然の条件に近い条件下で中央構造線（MTL）に沿って露出する断層岩の摩擦特性を調べた。MTLは日本最大の断層であり、西南日本の領家帯と三波川帯の境界断層と定義されている。実験は領家帯のカタクレサイト2試料とプロトマイロナイト1試料の模擬ガウジを用いて行った。カタクレサイト試料は両方とも ~ 30 wt.%の粘土鉱物を含み、一方は ~ 14 wt.%の白雲母を、他方は ~ 14 wt.%の緑泥石をそれぞれ含んでいる。

また、我々はプロトマイロナイトと緑泥石に富むカタクレサイト中の緑泥石の鉱物化学組成分析を行い、緑泥石温度計（Bourdelle *et al.* 2013 CMP）を用いて変形時の温度を見積もった。プロトマイロナイトの結果は二峰性の分布（ $230\text{--}240^{\circ}\text{C}$ 、 $290\text{--}340^{\circ}\text{C}$ ）を示し、低温を示した緑泥石の多くはブロボ状（ $\sim 1\text{--}2$ mm）に産し、白雲母ラメラを伴う。これらの緑泥石は原岩のトーナル岩を構成していた黒雲母の仮像として発達している。高温を示す緑泥石は白雲母を伴わず原岩のトーナル岩の粒間や破砕面に発達している。低温を示す緑泥石は変質によって形成された可能性があるため棄却し、高温側 $290\text{--}340^{\circ}\text{C}$ の温度を、プロトマイロナイトを裁つ破断面の形成時温度であると推定する。緑泥石に富むカタクレサイト試料も二峰性の温度分布（ $180\text{--}220^{\circ}\text{C}$ 、 $240\text{--}300^{\circ}\text{C}$ ）を示したが、微細組織の違いとは対応しなかった。

これらの試料は摩擦実験の模擬ガウジを作成するために粉碎され、 $50\ \mu\text{m}$ 以下に篩われた後、少量の蒸留水と共にリング状に押し固められた。プロトマイロナイトの定常状態での摩擦係数は ~ 0.68 であったが、白雲母に富むカタクレサイトと緑泥石に富むカタクレサイトの摩擦係数は間隙流体圧に伴って変化することが明らかとなった。具体的には、間隙流体圧120 MPaの場合、それぞれ ~ 0.65 と ~ 0.56 であった摩擦係数は、間隙流体圧240 MPaでは ~ 0.87 と ~ 0.66 へと増加していた。滑り速度を $0.001\ \text{mm/s}$ から $0.1\ \text{mm/s}$ へと段階的に変化した速度ステップ試験では、すべての実験で速度弱体化または速度中立挙動が示された。これらの結果は調べたすべてのガウジタイプで温度 300°C 、深さ約10 km（法線応力300 MPa）の場合に地震が発生する可能性があることを意味する。さらに我々は断層帯の弱体化に貢献していると考えられるフィロケイ酸塩鉱物である純粋な緑泥石（クリノクロア）の摩擦実験を行った。その結果、緑泥石の摩擦係数は温度によってのみ変化し、 400°C 以下の場合に $\sim 0.20\text{--}0.30$ 、 500°C 以上の場合に $\sim 0.3\text{--}0.4$ であることが明らかとなった。また滑り速度を $0.0003\ \text{mm/s}$ から $0.1\ \text{mm/s}$ へと段階的に変化した場合、ほぼすべての実験条件下で速度強化が認められることが明らかとなった。これは上記の天然の断層岩の場合と異なり、この発見は緑泥石が豊富にかつ安定に存在する深さや温度で形成されたガウジ中では地震が発生しないであろうことを意味している。これらの比較より、緑泥石は断層帯の強度低下に貢献し得るが、 ~ 14 wt.%というMTLの断層岩中の緑泥石含有量はガウジ全体の強度に影響を与えるには十分ではないということが示された。断層岩中の緑泥石の含有量が増えたり、緑泥石に変形が集中したりすると、断層帯の強度は低下するが、緑泥石の速度強化の性質によって大規模破壊イベントの開始および伝播は妨げられる傾向があると推測される。

キーワード：摩擦特性、断層岩、緑泥石、高圧熱水条件、中央構造線

Keywords: Frictional property, Fault rock, Chlorite, High-pressure hydrothermal condition, Median Tectonic Line