

摩擦発熱による間隙圧の上昇と断層の強度低下—花折断層を例として—

Thermal pressurization and strength reduction of a fault : an example of Hanaore Fault

野田 博之[1], 嶋本 利彦[2]

Hiroyuki Noda[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.

地震発生時の断層変位に伴う断層の強度低下の機構として、摩擦発熱による間隙圧の上昇が提唱されている (Sibson, 1973; Lachenbruch, 1980; Mase and Smith, 1985; 1987)。摩擦発熱により間隙圧が上昇し、これが断層面にはたらく垂直応力を支えると摩擦応力は減少する。浸透率は岩石の種類や圧力によりオーダーで変化するためこの機構による効果を評価する上で最も重要な物性値の1つである。しかし、実際の断層岩から得た浸透率の値を用いてこの効果を評価した例はほとんど無い。

本研究では断層ガウジを伴う花折断層の破碎帯露頭を調査し、露頭よりサンプルを採取、浸透率の測定を行った。また測定した浸透率の値を用いて摩擦発熱による間隙圧の上昇に伴う断層の強度低下、及び温度上昇を計算した。

調査地点および周辺地質

調査を行った露頭は滋賀県高島郡今津町の途中谷地区に位置し、花折断層ストリップマップ (吉岡ほか, 2000) に Loc. 1 として記載されている露頭である。同地区では過去に2度のトレンチ調査が行われ、その結果最新活動時には2~5mの右横ずれ変位が生じたと推定されている (東郷ほか, 1997; 吉岡ほか, 1998)。基盤岩は丹波帯の堆積コンプレックスの1つである棕川コンプレックスの混在岩相である。この混在岩相は黒色-暗灰色の泥岩基質に砂岩、チャートのレンズ状岩塊を基質支持で含み、基質の泥岩には劈開が発達するのが特徴である。

露頭観察

露頭には棕川コンプレックスの混在岩起源の破碎帯が露出する。黒色の粘土質断層ガウジが幅5cm以下で直線状に分布し、この部分が変形が最も集中した部分であると考えられる。またその東側は約1mの幅で細粒化しており、変形集中によってできたと思われる、石英質なクラストと細粒なマトリクスからなる帯 (幅数mm) がしばしば鏡下で観察される。さらに東側の破碎帯では混在岩の基質泥岩に数mmの間隔で劈開が発達し、その面構造を横切って細粒な帯 (幅10cm程度) が存在する。また鏡下では、粘土鉱物と思われる微細な鉱物の消光位が面構造と平行に良く揃っているのが観察できる。

浸透率測定

露頭よりサンプルを採取し、浸透率の測定を行なった。試験機は京都大学のガス圧式高温高压変形透水試験機を用い、測定方法は間隙圧振動法を用いた。間隙流体は窒素ガスを用い、温度は室温、間隙圧を20MPaで一定とし、封圧を200MPaまで段階的に加圧、その後30MPaまで段階的に減圧しながら測定を行った。黒色の粘土質断層ガウジから採取したサンプルの浸透率は有効圧80MPaで $1.9 \times 10^{-18} \sim 6.1 \times 10^{-18} [\text{m}^2]$ 、180MPaでは $1.4 \times 10^{-20} \sim 3.5 \times 10^{-20} [\text{m}^2]$ であり、他の部分から採取したサンプルに比べ有効圧による変化が大きかった。その東側の細粒化した部分から採取したサンプルの浸透率は、有効圧80MPaで $7.1 \times 10^{-19} \sim 3.4 \times 10^{-18} [\text{m}^2]$ 、180MPaでは $9.3 \times 10^{-20} \sim 6.2 \times 10^{-19} [\text{m}^2]$ の値を示し、内部に変形の集中によってできたと思われる構造を持つサンプルの浸透率が最も低いという結果が得られた。さらに東側の劈開の発達する基質泥岩から採取したサンプルの浸透率は、有効圧80MPaで $3.8 \times 10^{-17} \sim 6.2 \times 10^{-17} [\text{m}^2]$ 、180MPaでは $1.5 \times 10^{-18} \sim 1.8 \times 10^{-18} [\text{m}^2]$ の値を示した。

モデル計算

(Mase and Smith, 1987) の数学的なモデルと測定した浸透率の値を用いて、断層変位時の断層の強度低下と温度上昇を差分法を用いて計算した。浸透率構造には、変形の集中ゾーンの内側と外側で浸透率が不連続に変化するモデルを用いた。地下5kmで相対変位速度1m/s、変形の集中ゾーンの幅を5cmとした場合、変位が1mのときには断層強度が初期値の数%にまで低下し、断層中央での温度上昇は数十度程度となるという結果が得られた。

Dc パラドクス

地震発生の要因の1つとして、断層変位時に断層の強度が低下することが挙げられる。断層が強度を失う変位距離Dcは地震学の分野で重要なパラメータの1つである。しかし、室内で行われる摩擦試験ではDcが数十~数百 μm となるのに対し、地震波の解析ではDcは数十cm~1m前後となる。この数桁の違いが長い間大きな問題となっている。今回行った計算の結果、Dcは1m前後となり、地震波の解析結果と良く合う。このことから断層の周辺で間隙が水で満たされている場合、この機構でDcパラドクスを説明できる可能性が強くなった。