

57. 断層運動を模擬したすべり面上での表面構造観察結果

The SEM observation on artificial slip plane simulated the fault movement

○中田英二（電力中央研究所）

1. はじめに

断層の活動性を評価する方法の1つとして、電子顕微鏡（以下 SEM）によるすべり面微細構造観察がある。

断層が変位した場合、そのすべり面上の鉱物は破壊され、自形鉱物は消失すると考えられる。逆に晶出したままの形態を保持する自形鉱物、すなわち結晶のエッジが欠けていないものや、円磨されていないものが認められる場合、その鉱物が晶出した後の断層活動は無いと判断できる。しかしながら、断層活動時にすべり面上の鉱物がどの程度破壊されるか、不均一なすべりにより鉱物が破壊されない場所が残るのではないかと、さらにはすべり面の認定や、SEM 観察のための試料の取り出し方など、疑問や習熟度の問題も考えられる。

今回、実際に自形結晶で占められる沸石岩でせん断実験をおこない、せん断前後でせん断面上の微細組織の比較をおこなった。



図 1 調査位置図



図 2 塊状沸石岩の露頭

2. 地質・試料

試験にもちいた試料は秋田県湯沢市皆瀬町高野(図 1)の沸石岩採石場跡で採取した(図 2)。沸石岩は鮮新統の三途川層上部に分布する凝灰質シルト岩からなる。三途川層は中新世中期から後期に東北脊梁山脈上に形成されたカルデラ内に堆積物している。下部にはカルデラ湖成堆積物の基底をなす礫層が分布している。上位に向かって主部層の凝灰質シルト岩層、ガラス質凝灰岩層に移り変わり、粗粒の溶結凝灰岩に覆われる。沸石はアルカリ性のカルデラ湖水と凝灰岩の相互作用により生成したと考えられる。

今回検討にもちいた試料は最大厚さ 240m の主部層の凝灰質シルト岩層から採取した。主部層内ではランピングが認められるものの、概ね塊状で層理もほと

んど発達していない。

試料採取した採石場跡では、小規模な破碎帯が認められる。この破碎帯は上位の溶結凝灰岩に覆われており、古い破碎帯と推察される。また破碎帯内には条線を伴う岩片が点在する。

凝灰質シルト岩の一軸圧縮強度は乾燥試料で 20MPa、透水係数は 10^{-8} cm/sec と小さい中軟岩である。含まれる沸石は Ca 型モルデナイトを主体に、上部に Na 型モルデナイト、クリノプチロライト、火山ガラス主体へと移り変わる¹⁾。

3. 試験手法

せん断試験は手で実施した。持ち帰った試料は直径 35mm、長さ 50～80mm の円柱状に成形した。試験面は試料の側面にタガネを当て、その上をハンマーで打撃した引張り破断面とした。分割した片側の試料を万力に固定し、もう一方の試料を片手でこすり合わせた(図 3a)。試験は乾燥させた試料と蒸留水で飽和させた試料それぞれでおこなった。

せん断試験の垂直応力は 0.21MPa で、おおむね 10 回程度(1 回転 3 秒)の回転で全ての面に条線が形成された。変位速度は 1cm/秒前後で、変形試料は上盤チップを 10 回回転変位させることで作成した。最大総変位量は 35cm 前後である。

試験前後でのすべり面の形態は FE-SEM で観察した。用いた装置は日立ハイテク製 S-4500 で、加速電圧 20kV、対物絞り 3 としビームは小さく絞った。試料は室内に放置して乾燥させ、その後真空デシケータで真空引きをおこなった。蒸着は真空デバイス製のオスニウム蒸着で実施した。蒸着膜の厚さは 30nm に設定した。分解能は 100nm である。

4. 結果

せん断試験前の試験面に条線は認められず、せん断変形した痕跡は認められなかった。一方、せん断後のすべり面には幅 0.5mm の細粒破碎物が付着し、条線をとまう細粒破碎物が認められた(図 3b)。



図 3a せん断試験片

岩片を回転させて、すべり面を形成。



図 3b すべり面

すべり面に幅 0.5mm の破碎物と条線が生成。

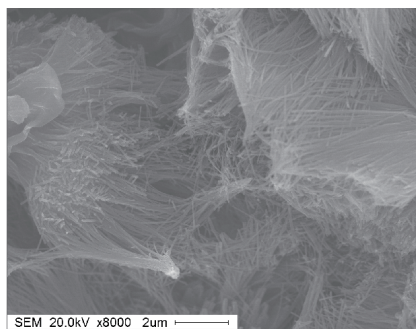


図 4 セン断試験前の試験面

繊維状のモルデナイトが粒子間を埋め尽くしている。

試料の沸石岩を構成する主要な鉱物はモルデナイトであった。SEM 観察では、せん断試験前の破断面上に細長い繊維状のモルデナイトが網目状に絡み合う様子が認められた (図 4)。

一方、せん断試験後のすべり面上に繊維状のモルデナイトは認められず、粒子を粘土状の粉碎物が糊状に覆い、岩石を覆う様子が認められた (図 5)。また、すべり面上の所々には凹地があり、その内部にも鉱物は認められなかった。すべり面上および、すべり面周辺に形成される幅を持った破砕部 (ガウジに相当するもの) 内に、自形結晶は認められない。

露頭で採取した破砕帯内部の条線を有する岩片の SEM 像からは、条線上に結晶化し掛けた鉱物が認められた (図 6)。これは微細で明瞭な結晶面が認められず、ソーセージ状に長細い。明らかに繊維状のモルデナイトとは異なる。EDS による組成分析結果では Si、Al、Ca に富む。

5. 考察

せん断試験のすべり面上では、モルデナイトの特徴的な繊維状の形態やスメクタイトの網目状の形態が認められなくなることが明らかになった。せん断試験は著者の手で沸石岩をこすり合わせたもので、地震のエネルギーと比べるとはるかに小さい。例えば、瞬間的な断層変位速度は S 波速度と一致するとの考えもあるし、マグニチュード 5.9 から 8.1 の地震での断層の平均すべり速度は 0.48m/sec から 1.5m/sec との計算もある²⁾。

本試験のすべり速度は 1cm/sec であり、断層変位を

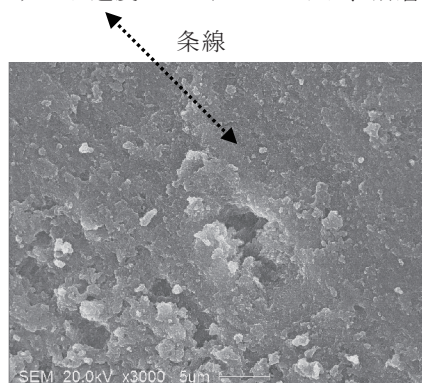


図 5 セン断試験後のすべり面

条線が発達。沸石は粉碎され認められない。

もたらす応力は極めて小さい。このような断層活動と比べて非常に小さな応力によるせん断変形でも、すべり面上の自形鉱物が完全破壊されることは、天然の断層変位により形成されたすべり面上の沸石やスメクタイトは容易に破壊されると考えられる。またアスペリティの影響も無視できると推察される。

当地域の沸石はカルデラ形成から上位のガラス凝灰岩の堆積までの最大 700 万年の間で生成したと推察される。繰り返し活動する活断層では一般的にガウジが発達している。また中田ほか³⁾では断層模擬実験として、紙やすりで挟んだ紙粘土 (ガウジに相当) を変位させ、紙やすりと接する面にすべり面は形成されず、粘土内に Y 面が形成されることを示した。沸石岩よりも柔らかいガウジ内のすべり面上の自形鉱物はより破壊され易いと推察される。

6. まとめ

実際の断層活動と比べて、小さな応力 (人力)、小さなすべり速度において変位させた沸石岩では、すべり面上から自形のモルデナイトが認められなくなった。最近活動した断層などすべり面上でも鉱物は十分に破壊されると考えられた。

活断層では方解石などの炭酸塩鉱物や Ca と似た挙動を示す Sr の移動を論じた報告のほかには、鉱物が晶出したと結論付けた報告は見当たらない。断層活動に伴い晶出する鉱物の存在が有るか無いか疑問はあるものの、断層活動によって鉱物が破壊されることは間違いなさであろう。

文献

- 1) Nakata and Chigira (1995) : Zeolitization and associated change of physical properties of vitric tuff in the Sanzugawa Formation, northeast Japan, WRI-8 proc., 463-456.
- 2) Heaton (1990) : Evidence for and implications of self-healing pulses of slip in earthquake rupture. Phys. Earth Planet. Interiors, 64, 1-20.
- 3) 中田ほか (2013) : 古第三系に認められた正断層ガウジの条線と微細構造, H25 応用地質講演集, 163-164.

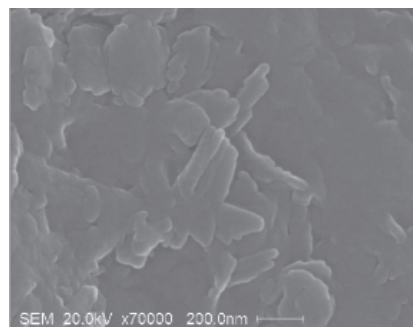


図 6 露頭で採取した条線試料の表面

結晶化した粒が積み重なっている。