

き裂面加熱に伴う周囲岩体の熱膨張によるき裂内流動性変化の室内実験による検討

Experimental verification for the effect of thermal expansion of a rock on fluid flow in a fracture

伊藤 高敏 [1]; 関根 孝太郎 [2]

Takatoshi Ito[1]; Kotaro Sekine[2]

[1] 東北大・流体研; [2] 東北大・流体研

[1] Inst. Fluid Sci., Tohoku Univ.; [2] Inst. Fluid. Sci., Tohoku Univ

火山の噴火機構解明のため、マグマによって発生したき裂が地下岩体内を成長するために必要な条件が様々な角度から検討されている。しかし、マグマと周囲岩体の温度差によって生じる2次的な効果、つまりマグマの熱によって周囲岩体加熱されて起こる変形（熱変形）や、それに伴って発生する熱応力がき裂挙動に及ぼす影響は明らかではない。そこで我々は先に、その影響を数値シミュレーションによって調べてみた（伊藤, 地球惑星連合大会, 2005）。この結果、マグマ流れと直交する方向のき裂幅（ $2L_y$ ）が100 m以上となるような大きなき裂であっても、貫入した流体（マグマ）が周囲岩体より数百度高温であれば、き裂周囲岩体が熱膨張する効果で1日前後という有意な時間でき裂が閉じてしまうことが明らかとなった。また、様々な条件で実施した数値シミュレーション結果を整理したところ、以下のような特徴のあることがわかった。

(i) マグマと周囲岩体の温度差 T （以下、過剰温度）には臨界値 T_c が存在し、それ以下の T では永久にき裂は閉じないこと。

(ii) T_c は、いわゆる過剰圧 P に比例し、また、き裂寸法には無関係であること。

(iii) マグマの貫入からき裂閉口までに要する時間は、 $\{L_y \cdot P / (T - T_c)\}$ なる量の自乗と比例する関係にあること。

ここで、き裂面の加熱による周囲岩体の熱膨張によってき裂が閉じるという現象は流体の温度のみに依存し、粘性等の流体特性とは無関係である。したがって、流体がマグマの場合のみならず、マグマから発生した高温のガスが火道壁面のき裂を通して低温の周囲岩体中に拡散するようなときにも、上記と同様なことが起こるはずである。これら数値シミュレーションの結果を検証するために本研究では、熱変形によるき裂内流動性の変化を室内実験によって調べることにした。

実験には東北大学流体科学研究所が有する高温岩体圧縮試験装置を利用した。この装置は、円柱型試験片に軸力と流体圧で半径方向の封圧を加えるという、いわゆる軸対称三次元圧縮試験を実施できるものであるが、 75×135 mm という比較的大型の試験片に、内熱式のヒータで温度を加えた試験ができることに特長がある。この装置を使って、本研究では次のような実験を行った。まず、試験片は花崗岩からなる外径が 75 mm、内径が 20 mm の中空円筒と、外径が 20 mm の円柱という2つの部分で構成されていて、実験時には円柱部が中空円筒部の内側に収まり、両者の間に挟まれた隙間がき裂状の流路（以下、単にき裂と呼ぶ）となる。この試験片を上記試験機に取り付けて荷重を加えた後、き裂部に所定温度の水を試験片軸方向に流し、そのときのき裂浸透性と水温の関係を測定する。ここで、き裂に進入する水の温度は、き裂入口付近の流路内に置いたヒータで適当な熱を加えることで調整する。また、水が蒸気にならないよう、き裂出口側の流路に保圧弁を設け、流路内の圧力が飽和蒸気圧より大きくなるように調整する。この要領にて試験片に 10 MPa の軸力と封圧を加え、水圧ポンプの圧力を 3 MPa、保圧弁の圧力を 2 MPa に調整してき裂内に水を流した。そして、き裂に進入する水の温度を、き裂入口位置において室温（約 20 °C）から 70 °C まで 2 °C/min の割合でゆっくり上昇させた。この結果、温度変化に伴ってき裂浸透性が大きく変化し、低温側で流れやすく、高温側で流れにくくなった。両者の遷移点は 50 °C 付近に有り、その前後で 8 対 1 程度の割合で浸透性が急激に変化した。このような現象を起こしたメカニズムは以下のように説明できる。まず、本実験では地殻応力に相当する封圧 S が 10 MPa であるのに対して、き裂内水圧 P は $2 \sim 3$ MPa であって封圧より小さい。これは、いわゆる過剰圧が負であること意味し、これと同じ状態が地下で起これば、き裂は完全に閉じた状態となる。しかし、本実験で用いた試験片では、その構造上、 $S > P$ の条件であってもき裂面が接触していない状態、つまり、開口している状態があり得る。このことを踏まえると本実験では、低温側ではき裂が開口しており水が流れ易い状態だったが、水温が 50 °C 付近になると熱変形によってき裂が閉口、つまり、き裂面同士が接触し、それ以上の水温では水があまり流れなくなったと考えられる。そのような浸透性の急激な変化が、高々数十 °C 程度の水温変化で起きていることから、き裂面加熱による周囲岩体の熱変形がき裂内の流動性に大きく影響していることは明かである。ただし、本実験で観測された結果が、数値シミュレーションによって得られた先述の (i) ~ (iii) の特徴とどのような定量的関係に有るのかははっきりせず、さらなる検討が必要である。