

マグマの流れに直交するき裂断面形状に及ぼす熱変形の影響

Effect of thermal deformation on a cross-sectional shape of fracture driven by magma flow

伊藤 高敏[1]

Takatoshi Ito[1]

[1] 東北大・流体研

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

<http://geo1.ifs.tohoku.ac.jp/index-j.html>

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、マグマは周囲岩体に比べて非常に高温であり、その温度差によって生じる二次的な効果、つまりマグマの熱によって周囲岩体が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を検討した報告は見あたらない。そこで本研究では、特にマグマの流れ方向、換言すればき裂の進展方向に直交するき裂の断面形状に注目し、その形状変化に及ぼす熱変形の影響を有限要素法による数値シミュレーションによって調べてみた。

解析においては、き裂内を流れるマグマの圧力と温度は流れ方向にゆるやかに変化すると仮定し、平面ひずみの2次元問題を考えることにした。すなわち、平面ひずみ状態にあるき裂を有限要素モデルによって作成し、そのき裂内壁に一定の圧力 P と一定の温度 T を境界条件として与えたときに、時間経過に従ってき裂形状が変化する様子を数値計算によって評価した。ここで、想定したき裂長さ ($2L_y$) は 1, 2, 5 m の 3 種類、また、1000 degC のマグマ温度 T に対して、マグマ貫入前の岩体初期温度 T_{r0} を 950 ~ 1000 degC の間で適当に変化させた。ただし、いずれの解析においても過剰圧 DP 、すなわちマグマ圧力 P と地殻応力 S との差は 1 MPa ($= P - S$) で一定とした。解析には Swenson et al. (1995) によって開発された 2 次元の有限要素解析コード Geocrack2D を用いた。このコードでは、熱ひずみを含む弾性変形、き裂内の流体移動と熱伝導の問題を連成させて解くことが可能である。

このような計算によって以下のことがわかった。まず、マグマ温度とマグマ貫入前の岩体初期温度との差 DT ($= T - T_{r0}$) が零でなければ、き裂の開口幅はマグマ貫入からの時間経過と共に減少し、やがて完全に閉じてしまう。この現象は明らかに熱変形によるものである。ここで、き裂が完全に閉じる時間を t_{close} とすると、温度差 DT が小さいほど、また、き裂が大きいほど t_{close} は長くなる。例えば ($2L_y$) = 5 (m) のときには、 DT が 10, 20, 50 degC のそれぞれの場合について、 t_{close} は 193000, 35000, 3780 sec という結果であった。次に、各計算結果における $t = t_{close}$ のときのき裂周りの温度分布を比較したところ、き裂表面からマグマの熱が伝播した距離とき裂長さの比が、き裂長さによらずほぼ一定の関係になることがわかった。このことは、き裂が短ければ、わずかなき裂周囲岩体が暖められるだけでき裂は閉じるが、き裂が大きくなると、き裂長さに比例したより広い範囲のき裂周囲岩体が暖められるまでき裂が閉じないことを意味している。当然ながら、より広い領域が暖まるには、より長い加熱の時間が必要となる。このことが、き裂が大きいときほど、 t_{close} が長くなった理由と考えられる。ではなぜ、大きいき裂ほど、き裂が閉じるためにより広い領域の岩体が暖まる必要があるのであろうか。その理由は次のように説明できる。温度が上昇すると岩体は熱膨張を起こす。この効果によって、き裂周囲の岩体が暖められると、その部分が膨張するために、それに伴ってき裂の開口幅が減少すると考えられる。このとき、その減少量は第一義的に暖められた岩体の大きさに比例するはずである。一方、マグマ圧力によってき裂が開く幅は、き裂長さに比例して大きくなる。したがって、き裂がより大きくなると、マグマ圧力によって生じる、より大きなき裂開口幅をうち消してき裂が閉じるためには、上述の数値計算結果のように、より大きな領域の岩体が暖まる必要があるものと考えられる。以上のような考察と数値計算結果に基づいて、 t_{close} を与える理論式を導出した。この関係を用いれば、任意のき裂長さ、過剰圧 DP および温度差 DT における t_{close} を評価できる。これにより、例えば DP が 1 MPa 程度の時、き裂長さが 1000 m であっても、 DT が 500 degC であれば、およそ 2 週間でき裂が閉じると予想される。