

急減圧に伴う発泡マグマの破碎に対するレオロジーの影響

Viscoelastic effects on the fragmentation of vesicular magma by decompression

亀田 正治 [1]; 島貫 延 [2]; 市原 美恵 [3]

Masaharu Kameda[1]; Susumu Shimanuki[2]; Mie Ichihara[3]

[1] 農工大・工・機シス; [2] 農工大・工・機シス; [3] 東大・地震研

[1] Mechanical Systems Engineering, TUAT; [2] Mech. Systems Eng., Tokyo Univ. of Agr. & Tech.; [3] ERI, Univ. of Tokyo

マグマの破碎は火山の噴火様式を決めるカギとなる現象である。我々は破碎の詳細なメカニズムを調べるために、マグマの模擬材料を急激に減圧して破碎させる室内実験を行った。

マグマは Maxwell 型粘弾性体であり、固体/流体遷移の緩和時間が存在する。緩和時間、粘性率を剛性率で除したものは応力を緩和する早さの指標である。緩和時間と現象の代表時間の比である Deborah 数の値によりその物体の性質が決定される。Deborah 数が大きければ、その物体中には応力が残留することで固体的な性質が示される。本実験では、減圧時間が現象の代表時間である。Deborah 数に加えて、本実験では、ポイド率、初期圧力、減圧量も、現象を支配する重要な物理量である。これらは、マグマ内部に発生する応力を決めるパラメータである。

マグマの模擬材料として酸素気泡を混入した水あめを使用した。水あめの粘度は固形分率を調整することにより簡単に制御することができる。固形分率の調整で剛性率は変化しないため、水あめの緩和時間は粘度のみに依存する。酸素気泡は二酸化マンガンを触媒として過酸化水素水より生成した。この時に使用する過酸化水素水の量を調節することで模擬材料中のポイド率を調節することができる。

実験装置は高圧管と真空タンクから構成されている。高圧管には観察用のガラス窓があり、そこに実験試料を設置する。高圧管を任意の初期圧力まで加圧し、真空タンクは約 10kPa まで減圧する。これらの部分は二段隔膜により隔てられており、この隔膜を破膜させることで高圧管を急激に減圧することが可能である。また、実験装置の流路を制限することでこの時の減圧速度を変えることができる。急減圧時は観察窓より高速度ビデオカメラにて試料を撮影し、実験試料上部の圧力センサにて高圧管内の圧力変化を計測する。初期圧力は 1.1, 2.1, および 3 MPa とし、0.1MPa/s から 280 MPa/s の範囲で減圧速度を変化させて実験を行った。実験試料のポイド率は 6% から 20% の範囲で変化させ、それぞれの実験試料は約 10^5 Pa s から約 10^9 Pa s の範囲で粘度を割り振った。

実験の条件により急減圧時の試料の様子が変化した。我々はそれらを破碎のモードとして次の 3 つに分類した：(a) 試料が延性変形せずに破壊が発生する「脆性破碎」、(b) 試料がわずかに延性変形した後に破壊が発生する「脆性的破碎」、(c) 試料は膨張するのみで破壊が生じない「延性膨張」。破碎の様子から、モード (a) は固体的性質に由来する脆性破壊、モード (b) は粘性流動も含んだ延性破壊を起こしていると考えられる。

破碎モードは Deborah 数を用いて良く整理することができた。脆性破碎 (モード (a)) は、初期圧力、ポイド率によらず、Deborah 数が 1 を超えると生じた。これに対して、脆性「的」破碎 (モード (b)) 発生の臨界 Deborah 数は、1 より小さいが、初期圧力、ポイド率に依存した。次に、破碎発生基準として良く用いられる試料内の気泡表面に生じる差応力に着目する。Deborah 数が 1 以上、すなわち脆性破碎では、破碎発生の臨界差応力はほぼ一定値となる。これに対して、Deborah 数が 1 未満の領域では、Deborah 数の減少にともなって急激に臨界差応力が大きくなることが分かった。

減圧開始から破碎が見られるまでの時間 (破碎発生時間) は、数ミリ秒から数 10 秒まで大きくばらつくものの、すべての場合において、試料内で気泡が粘性的に膨張を起こす時間よりは小さい。これは、試料内で応力緩和が生じると破碎が生じないことを意味する。

以上をまとめると、(1) 破碎の発生には、臨界差応力を超えるだけの減圧量を試料の緩和時間程度のスケールで与える必要がある。(2) 脆性 (的を含む) 破碎は、気泡が粘性的に膨張する時間スケール以内に生じる。