

模擬材料によるマグマ破砕過程の室内実験

Laboratory experiments on magma fragmentation with analogous materials

栗原 秀哲 [1]; 鈴木 翔 [2]; 亀田 正治 [3]; 市原 美恵 [4]

Hideaki Kurihara[1]; Sho Suzuki[2]; Masaharu Kameda[3]; Mie Ichihara[4]

[1] 農工大・工・機械システム; [2] 農工大・工・機シス; [3] 農工大・工・機シス; [4] 東大・地震研

[1] Mecanical engineering systems, Tokyo Univ of A&T; [2] Mechanical Systems Eng., TUAT; [3] Mechanical Systems Engineering, TUAT; [4] ERI, U. Tokyo

1. はじめに

爆発的噴火には、マグマの破砕がともなうと考えられている。破砕条件や破砕過程を表す数理モデルの構築が進められている。破砕条件は気泡を含むマグマのレオロジーと密接に関係していると考えられている。しかし、その相関は未だ明らかではない。そこで、本研究では、急減圧発生装置を用いてマグマ模擬材料の破砕実験を行った。模擬材料には水あめを用いた。過酸化水素水を用いて水あめ中に酸素気泡を混入し、含水量の違いにより粘度を調整した。圧力差、粘度の違いによる破砕発生の有無を調べ、破砕を支配するパラメータを検討した。

2. 実験装置・方法

急減圧発生装置は、高圧管（内径 150 mm，長さ 800 mm，設計圧力 10 MPa），真空槽（体積 2.75 m^3 ），および両者を隔てる二重隔膜から構成されている。高圧管の底部には、模擬材料を入れるためのアクリル管（内径 50 mm，長さ 150 mm）が設置されている。アクリル管の様子は、高圧管側壁に取り付けた可視化窓を通じて観察することができる。高圧管、真空槽を所定の圧力まで加圧、減圧し、二重隔膜を破ることで急減圧を実現した。アクリル管上部・底部に圧力センサ、可視化窓外側に高速度ビデオカメラ・メタルハライドランプを設置し、破砕する瞬間の圧力・画像を計測した。また、急減圧実験と並行して薄板試験片の引っ張り試験を行い、模擬材料の破壊強度（応力）を測定した。

3. 模擬材料

模擬材料には、水あめ（林原製マルトランプ）を用いた。水あめは剛性が高く、マグマを模擬するには適した材料である。また、含水率により粘度が調整可能であり、物質のレオロジーを特徴付ける緩和時間（粘度/剛性率）を大きく変えることができる。含水率の調整は、水あめの加熱脱水により行った。回転式粘度計を用いて、粘度の含水率・温度依存性を測定し、そのデータに基づいて、急減圧実験における試料粘度を推定した。

水あめへの気泡混入は、過酸化水素水（濃度 35 wt%），二酸化マンガンを加え、酸素気泡を発生させることで行った。過酸化水素水投入量によりポイド率を、二酸化マンガンを投入量により反応速度を変化させることができる。本実験では、大気圧下で約 40% のポイド率となるよう過酸化水素水投入量を設定した。

4. 実験結果

室温（18℃）で実験を行った。水あめの固形質量分率を 87 wt% から 91 wt% まで 1% 刻みで変化させ、 $2 \times 10^5 \text{ Pa s}$ から $1 \times 10^8 \text{ Pa s}$ までの範囲の粘度を得た。また、加圧下でのポイド率は約 2% である。

まず、粘度を固定（ $3 \times 10^7 \text{ Pa s}$ ）し、5 通りの初期圧力（1 MPa から 4 MPa まで）に対する急減圧実験を行った。このときの試料はアクリル管側壁から離して（壁面の拘束を受けないよう）設置した。その結果、初期圧力が 2.5 MPa 以上の場合に、試料が破砕した。また、破砕が発生する初期圧力条件すべてについて、破砕は減圧開始後 4 ms 以内、かつアクリル管上部の圧力が初期圧力に比べて 1.2 MPa 減圧された瞬間に開始した。したがって、破砕の瞬間の気泡表面の周応力は、初期圧力にかかわらず 0.6 MPa 程度と一定である。

つぎに、初期圧力を固定（3 MPa）し、5 通りの粘度（ $2 \times 10^5 \text{ Pa s}$ から $1 \times 10^8 \text{ Pa s}$ まで）で急減圧実験を行った。この実験では、試料をアクリル管壁面に付着させた。その結果、粘度が $1 \times 10^7 \text{ Pa s}$ 以上の場合に破砕が生じることがわかった。また、破砕開始時の周応力は、ほぼ 0.7 MPa であった。

なお、引っ張り試験機による水あめ薄板試験片（粘度 $3 \times 10^7 \text{ Pa s}$ ）の破壊強度測定結果は約 0.7 MPa であった。

5. 考察

破砕発生を左右する特性時間として、物質の緩和時間（粘度/剛性率）、粘性流動をともなう気泡の膨張開始時間（粘度/初期圧力）の二つが考えられる。水あめの剛性率は約 700 MPa であり、今回の実験では、物質の緩和時間を 140 ms から 0.3 ms まで変化させたことになる。一方、初期圧力は 1 MPa 程度であり、粘性流動をともなう気泡の膨張開始時間は 100 ms 以上である。破砕は全て 4 ms 以内に開始していることから、破砕発生の有無は、物質の緩和時間に規定されていると考えられる。

また、今回の実験で破砕が見られた場合の気泡表面の周応力は引っ張り試験の破壊応力とほぼ等しかった。この実験で用いた水あめでは、周応力が破壊応力を超えることが破砕発生の有無を規定しているように思われる。

以上のことは、「必要な減圧量を『物質の緩和時間』の範囲内で生じさせる」ことが破砕の発生につながる、とまとめられる。もちろん、これは現段階での仮の結論、解釈であり、さらなる検証実験が必要である。