

マグマ模擬材料を用いた固体/流体遷移領域での破砕過程の観察

Observation of the fragmentation process of the analogous magma in the solid/liquid transition regime

岡部 渉¹, 志田 司^{1*}, 亀田 正治¹, 市原 美恵²

OKABE, Wataru¹, SHIDA, Tsukasa^{1*}, KAMEDA, Masaharu¹, ICHIHARA, Mie²

¹ 東京農工大学 工学府 機械システム工学専攻, ² 東京大学地震研究所

¹Department of Mechanical Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

マグマの破砕は爆発的噴火のトリガとされ、火山噴火様式を決めるカギとなる現象である。我々は破砕発生メカニズムを調査するために、マグマの模擬材料（酸素気泡を混入した水あめ）を急減圧して破砕させる室内実験を行ってきた。その実験における破砕発生の有無を、「脆性度」(Ichihara and Rubin, 2010) を用いて評価した結果、以下のことが分かっている。「脆性破砕」は加えられる差応力の大小に関わらず、脆性度が 0.9 から 1.0 の間で起こっている。そして、脆性度が 0.9 よりも小さいとき、臨界差応力程度の差応力が加えられた試料は破砕を起こさず、流体的に膨張する。一方、臨界差応力よりも十分大きな差応力（1.5 倍程度以上）を加えられた試料は「遅れ破砕」を起こす。本研究では、この「遅れ破砕」に焦点を当てる。

「遅れ破砕」は、固体/液体遷移の緩和時間、粘性率を剛性率で除したもので、よりも後に発生する破壊を示す。さらに、気泡を含んだマグマの減圧では、粘性流動による気泡膨張によってマグマに加わる応力が緩和される。この粘性流体中における気泡膨張の特性時間は、初期気泡内圧力、粘性率、そしてポイド率の関数である。「遅れ破砕」の発生時刻を粘性流体中の気泡膨張特性時間を用いて整理した。その結果、「遅れ破砕」の発生時刻は、すべてこの特性時間より小さいことがわかった。ゆえに、「遅れ破砕」は膨張した気泡同士の間隔によってマグマを分裂させる液体的破砕ではなく、差応力によってマグマを破壊する固体的な破砕（脆性的破砕）である。

この脆性的破砕が、脆性度が小さいところで発生している原因として、(1) 急減圧時の試料冷却による粘度上昇、(2) 試料に気泡を混入することで生じるクラックの影響が挙げられる。したがって、それぞれの影響を調査するための実験を行なった。まず、試料表面と試料付近に設置された温度センサ（K 型熱電対）を用いて、急減圧による試料冷却の影響を調べた。装置内のガスの温度は、100 ms 後には数十度低下した。一方で、試料表面温度は破砕が起こるタイムスケール（100ms 程度以内）において、温度低下は見られなかった。したがって、急減圧による試料冷却の影響はないことが分かる。

次に、ポイド率（気泡混入量）が大きく異なる試料を作成し、同程度の脆性度、最大差応力において実験を行なった。脆性度が同じで、ポイド率が大きく異なる場合について比較すると、ポイド率が高くなると破砕が発生する傾向が見られる。また、ポイド率の大きな試料について、加圧する直前に断面を観察すると、内部の気泡同士が連結している様子がみられ、この状態で加圧することで気泡形状は複雑になると推定される。急減圧時に試料に加わる差応力が臨界差応力よりも十分に大きく、かつ高ポイド率によって応力が集中する部分があると、試料内部で気泡連結によるクラックが成長するだろう。このクラックが表面に到達し、内部から高圧ガスが吹き出すことにより、二次的な急減圧が発生し、破砕が誘発されることが考えられる。

減圧イベントから時間遅れを持って破砕が発生する現象は、実際の火山噴火にも見られ、本研究の観察結果は、これらの実現象に重要な示唆をあたえるだろう。

キーワード: 破砕, 粘弾性, 模擬実験, 脆性度

Keywords: fragmentation, viscoelasticity, analogous experiment, brittleness