

急減圧を受ける気泡を含む粘弾性体の挙動の数値解析 Numerical analysis of the behavior of a viscoelastic body containing gas bubbles by rapid decompression

黒川 紀章^{1*}; 亀田 正治¹; 市原 美恵²
KUROKAWA, Noriaki^{1*}; KAMEDA, Masaharu¹; ICHIHARA, Mie²

¹ 農工大・工・機シス, ² 東大・地震研
¹ Mech. Sys. Eng., TUAT, ² ERI, Univ. of Tokyo

マグマの固体的破碎は火山の爆発的噴火のトリガとされる。Ichihara and Rubin (2010) は、粘弾性体であるマグマの固体的破碎をつかさどるパラメータとして脆性度を定義し、脆性破壊はこの値が1に近いときに生じると結論した。しかし Kameda ら (2013) は、マグマの破碎現象を模擬した室内急減圧実験から、固体的破碎は脆性度が比較的低い場合（流体的にふるまう状況）でも生じることを示した。彼らは、脆性度が低い状態でも破碎が生じる理由として、試料内の不均一な気泡分布をきっかけにき裂が進展することで部分的な破碎が生じ、その破碎をきっかけに生じる破碎面近傍の急減圧が次々と破碎 (sequential fragmentation events) を引き起こすと推測した。

本研究では、Kameda らの推測の妥当性を検証することを目的として、不均一に気泡が分布する Maxwell 粘弾性体について、周囲の減圧に対する粘弾性体内の応力、脆性度分布の時間変化を数値計算によって調査した。

数値計算は、COMSOL multiphysics ver5.0 をプラットフォームとした。空間次元には2次元軸対称、粘弾性モデルには一般化 Maxwell モデルを用いた。計算領域を半球 (4分の1円, 半径 100mm) とし、直径の異なる2つの球形気泡を配置した。大きな気泡 (直径 20 mm) は球の中心 (原点) と同じ位置に中心を持つよう配置した。もう一つの小さい気泡 (直径 5 mm) は、対称軸上に中心を持ち、気泡同士が孤立するように距離を設けて配置した。なお粘弾性体の物性値、急減圧の時間履歴は室内急減圧実験に用いる試料、減圧条件に準拠し、空隙内部の圧力は一定値とした。以降、この計算を計算 Case 1 とする。

Case 1 から大きい気泡と相対する小さい気泡の表面に応力集中が生じることが分かった。これに対して、大きい気泡の表面には応力集中は生じなかった。この理由を調べるため、Case 1 のジオメトリを用いて、Case 2: 大きい気泡にのみ圧力を作用させ、小さい気泡には圧力を作用させない場合、Case 3: 小さい気泡にのみ圧力を作用させ、大きい気泡には圧力を作用させない場合の二つの計算を行った。その結果、Case 2 では Case 1 と同様に小さい気泡の表面で応力集中が生じ、Case 3 では、大きい気泡の表面に応力集中が生じないことが分かった。

よって Case 1 で小さい気泡の表面にのみ応力集中が生じた理由は以下の様と考えられる。(1) 気泡周りに発生する差応力分布には影響領域があり、影響領域はその気泡の半径に依存する。(2) 大きい気泡が作る差応力分布の影響領域内に小さい気泡が存在すると、大きい気泡の作る差応力分布が乱されて小さい気泡の表面上に応力集中が生じる。(3) Case 1, 3 では、小さい気泡が作る差応力分布の影響領域内に大きい気泡は存在しなかったため、大きい気泡周りには応力集中が起きなかった。

次に、気泡の膨張にともなう気泡内圧力の変化を考慮に入れ、粘弾性体内における脆性度の時間変化を調べた。Case 1 の計算領域内にある気泡の体積を合わせた単一気泡の計算 (Case 4) を行った。気泡の内部圧力は等温変化を仮定して定めた。その結果、Case 1 と 4 では、気泡表面上の脆性度の時間履歴には大きな違いは見られなかった。一方、気泡周りの差応力の最大値は応力集中のおきる Case 1 のほうが急峻に増していった。この結果、差応力が破碎臨界値に達する瞬間の脆性度 (臨界脆性度) は、Case 1 のほうが高くなることが分かった。

以上から、複数の気泡が存在する粘弾性体の急減圧時の挙動に対し、次の結論を得た。(1) 周囲に存在する気泡表面との距離がその気泡の半径程度のとき、気泡表面に応力集中が生じる。(2) 応力集中を起こす気泡配置では、応力集中箇所の臨界脆性度が高くなる。

キーワード: マグマ, 粘弾性, 破碎, 数値計算

Keywords: Magma, Viscoelasticity, Fragmentation, Numerical analysis