

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630047

研究課題名(和文)不均一に気泡が分布する粘弾性体の固体/流体遷移領域における破砕メカニズムの解明

研究課題名(英文) Mechanism of fragmentation of inhomogeneous porous viscoelastic liquid in solid/fluid transition regime

研究代表者

亀田 正治 (KAMEDA, Masaharu)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70262243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：爆発的火山噴火のトリガーである発泡マグマの破砕過程を解明するための室内実験と数値シミュレーションを進めた。まず、X線CT撮影により内部の3次元空隙構造を把握した発泡マグマ模擬材料を用いた急減圧実験、その試料の応力分布を算出する3次元有限要素法解析から、き裂進展のきっかけとなる気泡周りの応力集中と実験で見られたき裂発生箇所が良く一致することを示した。次に、フェーズフィールド法と有限要素法のカップリングによる、マクスウェル粘弾性体内き裂進展計算ソルバを開発した。モデル計算として、切欠きを有する2次元平板の一軸引張過程を解いたところ、粘度の違いによるき裂進展過程の変化をとらえることに成功した。

研究成果の概要(英文)：We conducted laboratory experiment and numerical simulation for fragmentation of vesicular magma, which is a trigger of explosive eruption. We observed the fragmentation of vesicular magma analog whose three-dimensional (3D) pore structure was determined by X-ray tomography. We simulated 3D internal stress distribution of the analog by finite-element analysis (FEM). By combined analysis of experimental observation and FEM analysis, we found that the location of crack initiation is coincide with the maximum stress concentration point around the pore. We simulated crack propagation in Maxwell fluid based on a continuum approach using the phase-field method coupled with FEM. We successfully captured the difference in crack propagation in a two-dimensional plate under the different viscoelasticity.

研究分野：流体工学

キーワード：流体工学 固体地球惑星物理学 計算力学 火山爆発 破砕 き裂 フェーズフィールド法

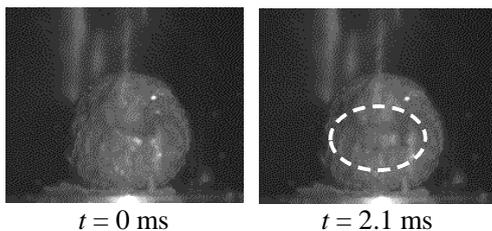
場の時間発展を求める .PF 法を用いることで、弾性ひずみエネルギーを最小化するように、自然にき裂が進展することを表現できる。

(4) き裂進展解析のプラットフォームには、第(2)節と同様のマルチフィジックス解析ソフトウェア (COMSOL) を用いた。応力場の FEM 解析には COMSOL に実装されているソルバーを用いた。一方、PF 計算については、完全弾性体中のき裂進展シミュレーションへの適用実績がある Karma らのモデル (Karma et al, Phys. Rev. Lett. 87 (2001), 045501) に基づく数値計算コードを COMSOL 内の PDE ソルバー用いて自作した (学会発表)。

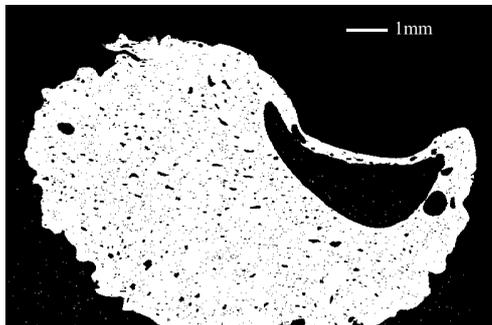
(5) き裂進展計算の実証例として、2次元平板におけるき裂の進展過程を取り上げ、完全弾性体と粘弾性体とでの挙動の違いを評価した (学会発表)。

4. 研究成果

(1) 高速度可視光カメラにて撮影した、破碎の一例を図 2 (a) に示す。この試料の粘度は $50 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ 、加圧後の平均ポイド率は 7.6% 、減圧特性時間は 3.15 ms である。図 1 から、手前の部分で破碎が起こっていることが分かる。図 2 (b) に減圧前の初期状態の CT 撮影結果に基づき 3次元再構成して求めた試料の断面図を示す。図 2 (b) 中の試料右側を見ると、大きい気泡の外殻に隣接してやや小さな気泡が存在することが分かる。図 2 (a) との比較から、この二つの気泡をきっかけにす破碎を引き起こされたと考えられる (学会発表)。



(a) 急減圧時の試料表面の変化



(b) 3次元 CT 再構成による断面図

図 2 急減圧による破碎実験

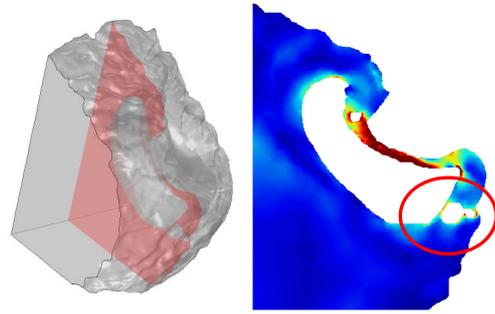
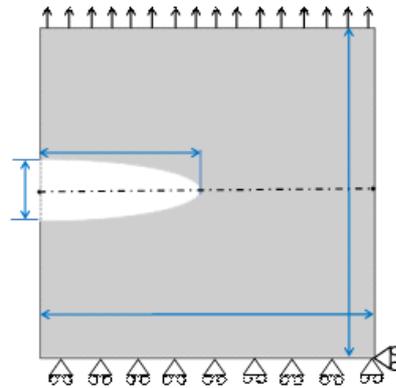
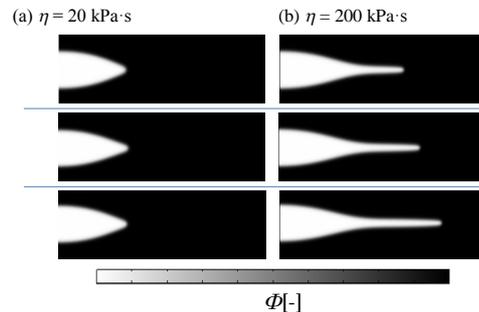


図 3 試料内応力場計算結果



(a) 計算領域, 境界条件



(b) 粘度によるき裂進展の違い

図 4 PF-FEM 連成によるき裂計算

(2) 一方、同じ粘度の試料においても、全体的に中型の気泡が存在しており、全体的に破碎が起こるケースや、小さい気泡のみ存在しており、破碎が起こらなかったケースも存在した。以上より、粘度が同じ場合においても、内部の気泡構造の違いにより、破碎する場合と破碎しない場合がある、ということが確認できた。

(3) 急減圧を受ける試料の応力場計算を行った。ただし、コンピュータ資源の制約から、計算には破碎に大きく関与したと思われる気泡と、その周辺をトリミングした領域 (図 2) を用いた。計算に用いた各物理量は、急減圧実験のものを使用した。

(4) 計算結果 (図 3) をみると、大気泡と小気泡の間では応力集中が起こっており、実験結果を支持していた。また、試料の表面応力

場の計算結果と、可視光による高速度カメラ撮影によって得られた破断面の画像を比較すると、周りよりも応力が高い部分と、破砕が起こった部分は一致していた。よって、応力計算により破砕箇所の再現を行うことが可能である、ということが分かった(学会発表, ,)。

(6) き裂進展解析のための計算モデルを図4(a)に、粘度の異なるマクスウェル粘弾性体におけるき裂進展の様子の違いを図4(b)に示す。き裂領域が楕円の先端を細めて、材料(黒色)内を進展する様子が確認できた。また、2つの計算条件を比較から、粘度の低くなると亀裂が進みづらくなることが明確にとらえられることがわかった(学会発表)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 8 件)

Kameda M. and Ichihara M. (2016) "FRAGMENTATION OF A POROUS VISCOELASTIC LIQUID BY RAPID DECOMPRESSION: IMPLICATION TO VOLCANIC ERUPTION," The 9th International Conference on Multiphase Flow (May 23, 2016, Firenze, Italy), 口頭発表.

Kameda M., Ichihara M., Maruyama, S., Aoki, Y., Okumura, S. and Uesugi, K. (2016) "Fragmentation of Vesicular Magma with Non-Uniform Distribution of Bubbles," The 26th Goldschmidt Conference (June 30, 2016, パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市), 口頭発表.

丸山祥吾, 青木ヤマト, 黒川紀章, 吉田広志, 亀田正治, 市原美恵, 奥村聡, 上杉健太郎 (2016) "不均一な気泡分布をともなう発泡マグマ破砕過程の解明," 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 (2016年5月24日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県千葉市), ポスター発表.

黒川紀章, 亀田正治, 市原美恵 (2015) "急減圧を受ける気泡を含む粘弾性体の挙動の数値解析," 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (2015年5月25日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県千葉市), ポスター発表.

青木ヤマト, 亀田正治, 津郷光明, 山田晶史, 市原美恵, 奥村聡, 上杉健太郎 (2015) "X線CT撮影による発泡マグマ模擬材料の破砕観察," 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (2015年5月25日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県千葉市), ポスター発表.

黒川紀章, 山中晃徳, 亀田正治 (2015) "急加圧を受ける空孔を有するマクスウェル粘弾性体におけるき裂の進展," 日本機械学会 第 28 回計算力学講演会 (2015年10月11日, 横浜国立大学, 神奈川県横浜市), 口頭発表.

亀田正治, 志田司, 市原美恵, 津郷光明, 奥村聡, 上杉健太郎 (2014) "発泡マグマ模擬材料における脆性的遅れ破砕のメカニズム," 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 (2014年5月2日, パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市), 招待講演.

志田司, 青木ヤマト, 亀田正治, 市原美恵, 奥村聡, 上杉健太郎 (2014) "X線CT撮影による発泡マグマ模擬材料遅れ破砕の観察," 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 (2014年5月2日, パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市), ポスター発表.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://web.tuat.ac.jp/~kamelab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀田 正治 (KAMEDA, Masaharu)
東京農工大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 7 0 2 6 2 2 4 3

(2) 研究分担者

山中 晃徳 (YAMANAKA, Akinori)
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 5 0 5 4 2 1 9 8

(3) 連携研究者

市原 美恵 (ICHIHARA, Mie)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号: 0 0 3 7 6 6 2 5

奥村 聡 (OKUMURA, Satoshi)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 4 0 5 3 2 2 1 3

上杉 健太郎 (UESUGI, Kentaro)
高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・研究員
研究者番号: 8 0 3 4 4 3 9 9