

## Pure shearによる気泡変形：硬化するフォームの変形実験

### Bubble shapes deformed by pure shear: insights from a deformation experiment of solidifying foam

\*大橋 正俊<sup>1</sup>、佐藤 秀<sup>2</sup>、市原 美恵<sup>1</sup>、亀田 正治<sup>2</sup>

\*Masatoshi Ohashi<sup>1</sup>, Shu Sato<sup>2</sup>, Mie Ichihara<sup>1</sup>, Masaharu Kameda<sup>2</sup>

1. 東京大学地震研究所、2. 東京農工大学工学府機械システム工学専攻

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

背景：カルデラ形成を伴う破局的な噴火では、Tube Pumiceと呼ばれる噴出物が多く見つかる。Tube Pumiceとは軽石の一種であり、一方向に伸長した気泡から構成される。このような特徴的な気泡構造には、カルデラ噴火のダイナミクスに関する記録が残されている可能性があり、その形成機構の解明は極めて重要である。先行研究はマグマの流動に伴う気泡変形に焦点を置き、火道壁付近のせん断層におけるSimple shearと破砕面付近の一方向急膨張に伴うPure shearという二つの変形要因を提唱している (Dingwell et al., 2016)。Simple shearによる気泡変形を観察するため、大橋他 (2017, JPGU) はポリウレタンフォーム (PUF) のせん断変形実験を行った。PUFは常温常圧条件下で、発泡・流動・硬化する特徴があり、火道内での軽石形成過程を模擬するのに適した物質だと考えられる。実験の結果、気泡は変形したものの、一様かつチューブ状に伸びた気泡構造は作られず、Tube Pumiceの構造を再現したとは言い難い。そこで本研究では、もう片方の変形要因であるPure shearに注目し、PUFの引っ張り実験を行なった。

実験方法：PUFは化学反応によって発泡し、時間経過と共に硬化する特徴がある。硬化途中にあるPUFに対して、クリープメータを使用し、力を計測しながら引っ張り変形を与えた。引っ張り量は全て一定とし、各実験間で引っ張り速度と変形開始時の粘性率を変えている。実験後は、硬化した試料をX線CTスキャンにかけ、画像解析を行ない、PUFに含まれる気泡のサイズと変形度 $D$  ( $D=(a-c)/(a+c)$ ) を取得した。aは気泡の長軸半径、cは短軸半径である。D=0は気泡が球であることを意味し、D=1に近づくほど気泡が伸びる。また、MatlabのフリーツールであるPIVlab(Thielicke, 2014)を使用して、実験動画からPUFの各点における速度ベクトルを算出し、実験中の各時刻における歪み速度場を計算した。そして、1個の気泡に対して手動で位置追跡を行い、気泡が経験する歪み量を推定した。

実験結果：引っ張り速度が速い実験では、PUFが細くなり、一様かつチューブ状に伸びた気泡構造を得ることが出来た。これは、Tube Pumiceと非常によく似た構造である。次に、横軸に気泡の等価半径R、縦軸に変形度Dをプロットした散布図 (添付ファイルを参照) を見てみる。Rが小さい領域では、Rと共にDが急激に上昇する一方、Rが大きい領域では、Dが一定値に近づくように緩やかに増加する傾向が見られた。この一定値は実験ごとに異なり、引っ張り速度が1mm/sでは約0.2、3mm/sでは約0.5、5mm/s以上では約0.75となる。

考察：もし、気泡変形が定常状態に達している場合、Dの値はキャピラリー数(Ca)のみに依存し、Caが1より十分に大きいときD=1に漸近する。CaはRに比例するため、定常状態でR増加とともにDの値が漸近するのは1以外にあり得ない。1より小さい値に漸近する傾向は、過渡的な気泡変形で説明することが出来る。つま

り、引っ張り試験中に十分な歪みが加わらず、定常状態に至る前に気泡変形が止まったことを意味する。この領域では、 $Ca$ が1より十分に大きければ、気泡変形度 $D$ は歪み量だけに依存する。クリープメータで計測された力と動画から得られた試料半径、PIVlabで計測した歪み速度を元に、対象としている $R$ の範囲において $Ca$ が10より大きいことを確認し、モデルから変形度 $D$ を計算した。その結果、計算値と実験値が同じ傾向を示し、過渡的な変形が気泡形状を支配していることがわかった。一方、歪み量の大きいところでの $D$ の漸近値が実験では1になっておらず、単純なモデルでは表現しきれない重要な効果を示唆している可能性がある。 $R$ の増加と共に $D$ が一定値に近づくような現象は、天然の噴出物でも確認されている（Rust and Cashman, 2007）。過渡的な気泡変形に対する理解を深め、Tube pumiceに応用することにより、歪み量や気泡の変形メカニズムを特定出来る可能性がある。

謝辞：引っ張り試験を行うにあたり、株式会社山電のご協力を得ました。ご協力に感謝いたします。

キーワード：気泡変形、チューブパミス、純粋せん断

Keywords: Bubble deformation, Tube Pumice, Pure shear

