

伸張気泡群を含むマグマのガス浸透率における臨界空隙率へのスケールの影響

Finite scale effect on percolation threshold for elongated bubbles

新村 裕昭[1]; 岩室 嘉晃[2]; 小屋口 剛博[3]

Hiroaki Niimura[1]; Yoshiaki Iwamuro[2]; Takehiro Koyaguchi[3]

[1] 東大・地震研; [2] 東大・新領域・複雑理工学; [3] 東大・地震研

[1] ERI, Univ. Tokyo; [2] Complexity Science and Engineering, Univ. of Tokyo; [3] ERI, Univ Tokyo

火道中で発泡するマグマのガス浸透率は、火道からの脱ガス過程において重要な要素である。近年の研究に、数 cm ~ 20cm 長の天然試料を用いた浸透率計測や、気泡サイズに対して高々100 倍程度の小さな多孔質媒体を数値的にモデル化した浸透率計算があり、火山岩の浸透率と空隙率の関係に対して気泡の変形が大きな影響を及ぼすことが示唆されている (Saar and Manga, 1999; Blower, 2001)。その影響とはつまり、伸びた気泡の変形の度合いが高まるほど、気泡の長軸方向に沿った浸透率は増加し、マグマが浸透性をもつための空隙率 (臨界空隙率) は減少するというものである。一方で臨界空隙率の値、したがって浸透率が、多孔質媒体のスケールに強く依存していることが知られている。従って、小さなスケールの多孔質媒体に対する上記のような結果が、10m 以上もする火道に対して適用できるのかどうかは、いまだ未解決の問題である。我々は、伸びた気泡を含む多孔質なマグマの浸透率に対するスケールの効果を、解析的に研究した。一般的に、浸透率は臨界空隙率近傍の空隙率変化に対して敏感である。故に我々は本研究で、有限なサイズの多孔質媒体中の伸びた気泡に対する臨界空隙率の、スケールへの依存性に焦点を当てる。

我々は近年の浸透理論をもとに、伸びた気泡群を含む有限サイズの多孔質媒体に対する臨界空隙率 (P_c) を表す関係式を導出した。気泡の長軸方向に対するその関係式は、

$$P_c(L,R) - P_c(L,1) = - A L^{(-1/U)} (\ln R)^{(1/B)}$$

となる。ここで L はスケール変数で、気泡の長軸の半分のサイズに対する多孔質媒体のサイズの比と定義する。 R は気泡のアスペクト比であり、 U 、 A 、 B は数値的に決定されなければならない係数である。浸透理論によると、 U は空間次元数にしか依存しない普遍定数で、3次元での値は0.9である。我々は数値計算をおこなって A 、 B の値をそれぞれ 1.4、1.5 と決定した。この関係式の左辺は、有限サイズの多孔質媒体 (スケール L) に含まれる気泡形状が、ある方向に伸びた場合 (アスペクト比 R) と球の場合 (アスペクト比 1) それぞれの臨界空隙率の差を示している。その差は、気泡の伸びのためにおこる臨界空隙率の異方性の程度を意味している。我々の結果から、この異方性の度合いは気泡のアスペクト比の増加とともに増加すること、しかしながらそのような気泡の伸びの効果はスケールの増加にともなって弱まっていくことが示された。臨界空隙率に対する気泡の伸びの効果は、気泡サイズに対する多孔質媒体のサイズが 10^3 倍以上になる場合には検出できないであろう。