

Hele-Shaw セル内における界面活性剤水溶液中の粘性指状体の成長現象

Growth phenomena of viscous finger in surfactant solution in a Hele-Shaw cell

○ 山下 敦史, 阪大院工, 大阪府吹田市山田丘 2-1, E-mail: rnr@rheol.mech.eng.osaka-u.ac.jp

山本 剛宏, 阪大院工, 大阪府吹田市山田丘 2-1, E-mail: take@mech.eng.osaka-u.ac.jp

森 教安, 阪大院工, 大阪府吹田市山田丘 2-1, E-mail: n.mori@mech.eng.osaka-u.ac.jp

Atsushi YAMASHITA, Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka

Takehiro YAMAMOTO, Osaka University

Noriyasu MORI, Osaka University

Growth phenomena of viscous finger in a square Hele-Shaw cell were examined. Surfactant solution was used as a high viscous fluid and air was used as a low viscous fluid. Pressurized air was injected from an inlet located in the center of downside of the Hele-Shaw cell filled with a surfactant solution and viscous fingers radiated out from the inlet. Three main growth patterns were observed, which depends on differences in concentration of sample fluids, injection pressure and channel size. Change of pattern during the finger growth and relation between these patterns and growth speed were examined. In addition, characteristic phenomena such as jumping of finger's tip and smaller splittings on side of straight finger were observed.

1. 緒言

流路に充填された高粘性流体に、低粘性流体を注入すると2つの流体の界面が指の形状に似た形になることから、この現象は粘性指状体と呼ばれる。本研究では、高粘性流体として界面活性剤水溶液、低粘性流体として空気を用いた。界面活性剤は親水基と疎水基から構成される化合物であり、水と油との界面などの互いに反発している界面に集まり、その界面張力を下げる特性を持つ。本研究では、界面活性剤水溶液中の粘性指状体の成長速度および成長パターンについて調べた。

2. 実験方法

高粘性流体として使用する界面活性剤水溶液には、界面活性剤として cetyltrimethylammonium bromide (CTAB)、塩として NaSal を用いた。本実験では CTAB と NaSal のモル濃度の比が 0.04 M : 0.308 M と、0.05 M : 0.385 M のものを使用した。流路として Hele-Shaw セルを用いて実験を行った。Hele-Shaw セルとは、2枚の平行平板をその面積に対して非常に小さい間隔をあけて設置した流路のことをいう。本研究では、2枚の正方形のガラス平板の4隅にスペーサを挟み、平板間に挟まれた空間を流路とする。ガラス平板のサイズは1辺450 mmのものを用い、スペーサの厚みは0.2 mmと0.3 mmの2種類を用いた。また、下の平板の中央に直径2 mmの注入口を設けた。次に実験方法について説明する。まず、界面活性剤水溶液に圧力をかけて Hele-Shaw セルに円状に充填する。その後一定圧力で空気を注入し、粘性指状体が放射状に成長する様子を上からビデオカメラで撮影した。

3. 実験結果および考察

ビデオカメラで撮影した映像から取り出した静止画像を二値化したもの、およびそれぞれの画像について次元解析した結果を図1に示す。次元解析は、注入口を中心とする半径と、その円内に含まれる指状体の面積の関係より、指状体の密度を調べたものである。この3つの結果は、界面活性剤水溶液の濃度を 0.04M に、スペーサの厚みを 0.2 mm に固定し、空気の注入圧力 P のみを 6kPa, 7kPa, および 8kPa に変えたものであるが、粘性指状体の形状が大きく異なっていることが分かる。これらのように、界面活性剤水溶液の濃度、スペーサの厚さ、および注入圧力を変えることにより、粘性指状体の成長パターンが大きく3つ (a: 先端が丸いもの、b: 直線的に成長するもの、および c: 先端が尖っていて分

裂を多く繰り返すもの) に分かれることが分かった。また、撮影した画像と次元解析の結果より、このパターンは成長途中に a→b, または b→c と変化することが分かった。さらに、パターン b および c の場合は成長 (圧力勾配の増加) とともに成長速度も増加するが、パターン a では単調に増加しなかった。これは、界面が丸みを帯びていることから、界面張力の影響が大きいため成長が抑制されているのだと考えられる。また、成長パターンが大きく変化することに加えて、直線的に伸びている指状体の側面に発生する細かい分裂や、成長の途中で指状体の先端が飛び出すなどの、界面活性剤水溶液特有の現象が見られた。

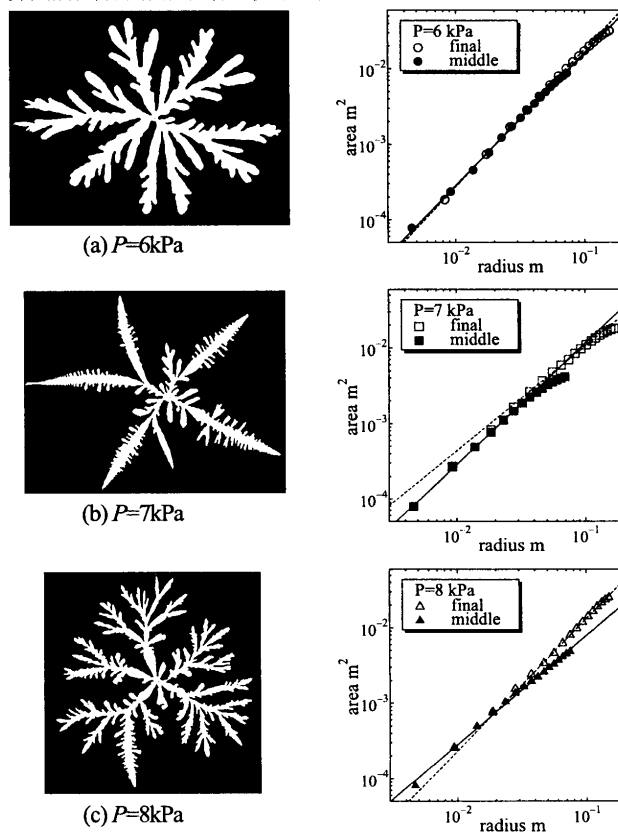


Fig. 1 : Finger growth patterns and change in finger density