

# 312 液体泡沫の液流下特性

## Drainage of Liquid Foam

正 ○ 戸倉郁夫 (室蘭工大)

小林泰徳 (KYB 株)

Ikuo TOKURA, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto-cho,  
Muroran, Hokkaido  
Yasunori KOBAYASHI, KYB Corporation Limited

*Key Words:* Liquid Foam, Foam Drainage, Foam Density

### 1. はじめに

液体泡沫は、石鹸やシャンプーなどの泡のように、液膜を連続相とする多数の気泡の集合体である。泡沫には 1) 気体の保持性がよい、2) 流動性がある、3) 熱容量が小さい、などの性質がある。そのため、鋼材の冷却媒体として、あるいは液体燃料の着火性の改善への応用が考えられてきた。近年、アスベストによる人体への悪影響が明らかになり、その処理が問題となっている。有害な繊維を飛散させずにアスベストを除去するために、泡沫を使用した処理方法が提案されている<sup>(1)</sup>。その場合、液体泡沫は重力による液流下のため、泡沫中の処理剤含有量が時間的に変化することになる。

本実験では、アスベスト処理剤水溶液で生成した泡沫層の液流下による密度変化を調べた。それらの結果から、泡沫密度の時間的変化を予測する方法について検討を行った。

### 2. 実験装置および実験方法

泡沫生成装置は前報<sup>(2)</sup>で報告したものと同一である。アスベスト処理剤として、製品名がプロテクターシーラント<sup>(3)</sup>(ニチアス株)と呼ばれるものを使用した。この処理剤は、水溶性アクリル系合成樹脂エマルジョン(原液比重 1.07)の液体である。本実験では、この処理剤 1 に対して水 10 の割合で希釈した水溶液に、界面活性剤(花王(株)MX968)を重量比で 1% 加えた発泡液を使用して泡沫を生成した。溶液タンク中の発泡液をポンプで発泡器のノズルへ圧送し、圧縮空気とともに金網を通すことにより、泡沫が連続的に生成される。液流下実験には、底部に金網を設置して液体が流出できるようにした 5 本(長さ 100、200、300、400、500 mm)のアクリル製円筒容器(内径 φ 94mm)を使用した(Fig.1)。これらの容器に泡沫を充填

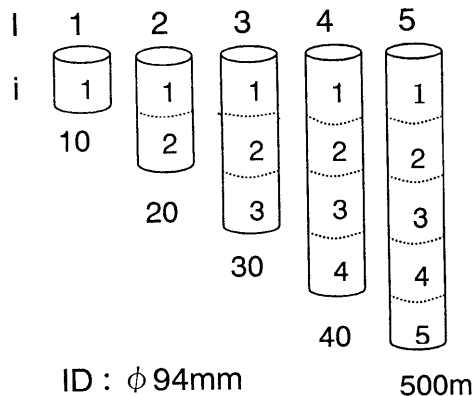


Fig.1 Five foam-containers

し、電子天秤に吊るして泡沫重量を測定した。なお、泡沫重量のデータは、電子天秤の通信機能(RS232C)を利用して 5 秒毎に 15 分間パソコンに収録した。実験は室温で行った。

### 3. 実験結果および考察

**3.1 泡沫層の密度分布** 容器内泡沫質量(単位底面積あたり)の時間変化の一例(初期の泡沫密度  $72.8\text{kg/m}^3$ , 空隙率 0.92)を Fig.2 に示す。

Fig.2 のデータから、500mm 厚さ泡沫層内のある高さ(100mm 単位)における泡沫密度  $\rho_i$  は、以下の式で求められる(Fig.1 参照)。ここで、 $m_I$  は  $I$  番目の容器内の泡沫質量、 $V$  は長さ 100 mm の容器の体積である。

$$\rho_i = \frac{m_I - m_{I-1}}{V} \quad (1)$$

500mm 厚さ泡沫層の高さ方向密度分布の一例を Fig.3 に示す。Fig.3 より、泡沫は初期の密度低下が大きく、約 8 分以降の密度変化は小さいことが分かる。また、泡沫層下部の密度変化が上部に比べて小さい。これは、上部の液が重力によって下部の方向に流下するため、下部の液量の変化が小さくなるからである。

**3.2 泡沫液流下速度** 液流下の主要因は重力なので、容器から流出する液量は容器内に存在する液の質量に比例すると考えられる。Fig.2 より、容器からの液排出速度を求め、両対数紙上に示したものが Fig.4 である。Fig.4 の縦軸は、1 分間に容器の単位底面積あたり流出する液量(液

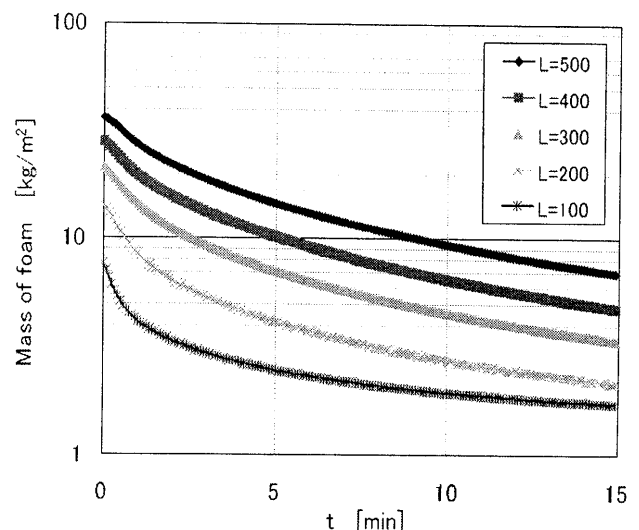


Fig.2 Mass of foam in containers ( $\rho_i = 72.8\text{kg/m}^3$ )

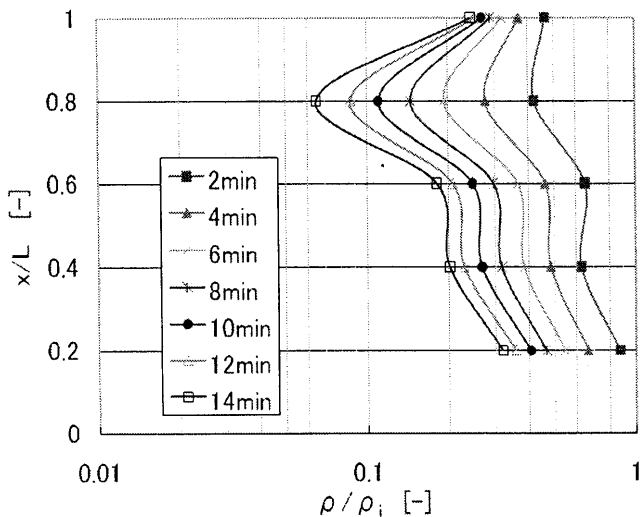


Fig.3 Density distribution in foam layer ( $\rho_i = 72.8\text{kg/m}^3$ )

流出速度)である。横軸は容器内の液質量(単位底面積あたり)である。Fig.4より、泡沫の全質量が同じ場合、泡沫層の厚さが大きいほど液流出速度が小さくなることわかる。これは、泡沫層が厚いほど泡沫の液膜が薄くなり(全液量が同じ場合)、また、重力で液が流下する際、流下する距離も長くなるため流動抵抗が増加するからであると考えられる。

実験開始初期(約2分間)と後期を除き、実験値は $a$ 、 $b$ を定数として以下の関係で近似される(図中の直線)。

$$-\frac{dm}{dt} = bm^a \quad (2)$$

( $m$ : 容器内泡沫質量(単位底面積あたり) [ $\text{kg}/(\text{m}^2\text{min})$ ],  $t$ : 時間 [min])。

初期空隙率が異なる三種類の泡沫について得られた定数 $b$ の値は、泡沫の空隙率や泡沫層厚さに関係せずに約0.01(一定)と近似することができた。この値を使用して定数 $a$ の値を算出し、両対数紙上に示すと、Fig.4のように泡沫層厚さに対して直線的に変化する結果が得られた。

Fig.4の直線的関係より、式(1)中の定数 $a$ は $c$ 、 $d$ を定数として次式で表わされる( $h$ : 泡沫層厚さ)。

$$a = dh^c \quad (3)$$

ここで、 $c$ および $d$ は泡沫の性状(処理剤の種類、初期空隙率など)に依存する定数であり、初期空隙率が0.92の泡沫(Fig.4)では $c = 1.53$ 、 $d = -0.332$ となる。

式(1)を、初期条件 $t = 0$ のとき $m = m_0$ ( $m_0$ : 容器内単位底面積当りの初期液量 [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ])とした条件で積分すると、つぎの解が得られる。

$$m = \left[ m_0^{(1-a)} + b(a-1)t \right]^{\frac{1}{1-a}} \quad (4)$$

したがって、 $a$ (式(2))と $b$ の値を代入すれば、泡沫層全体の液量変化を計算できる。

式(3)より、ある時間経過後の泡沫層の泡沫質量が求められるので、式(1)に代入することにより液流下速度を求めることができる。式(3)は、ある厚さの泡沫層について、全液量の時間変化を求める式であり、高さ方向の液量分布を与えるものではない。したがって、ある時間経過

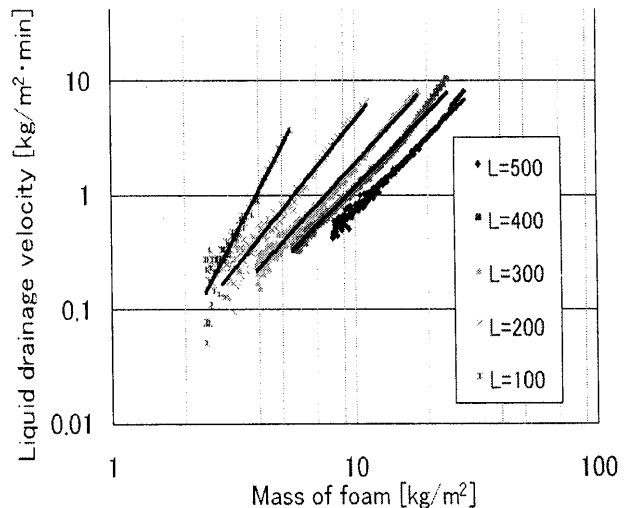


Fig.4 Rate of drainage of liquid from foam( $\rho_i = 72.8\text{kg/m}^3$ )

後、泡沫層の表面から深さ $H$ の位置での泡沫密度 $\rho_t$ を求めるためには、以下の手順が必要である。

- (1) 深さ $H$ を挟む2つの厚さ $H - \Delta H$ 、 $H + \Delta H$ ( $\Delta H$ は微小高さ)の泡沫層を考え、それら2つの泡沫層の $t$ 時間後の泡沫質量を式(3)より計算する。その場合、泡沫層厚さ $h$ が異なるので、係数 $a$ の値には式(2)を使用する。
- (2) 以上(1)で得られた2つの泡沫層の泡沫質量(単位底面積あたり)を $m_{1t}$ 、 $m_{2t}$ とすると、深さ $H$ の位置での泡沫密度 $\rho_t$ は次式で求められる。

$$\rho_t = \frac{m_{2t} - m_{1t}}{2\Delta H} \quad (5)$$

#### 4. むすび

本実験では、厚さ500mmまでの泡沫層に対して高さ方向の密度分布を調べたが、実際のアスベスト処理では数メートルの高さの垂直壁面も想定される。本実験結果がそのような高さの泡沫層に対しても外挿できるとすれば、以上の方法により、任意の高さでの泡沫密度の変化を推算することが可能である。今回はアスベスト処理剤として「プロテクターシーラント」を使用した。他の処理剤を用いて同様の整理を行うためには、式(3)中の $a$ と $b$ の値を調べる必要がある。今回行ったような液流下実験を行ない、 $a$ と $b$ の値が一定または近似式によって高さの関数で表すことができる場合、式(1)～(4)を用いて任意の厚さの泡沫層に対して泡沫質量や密度分布を求めることができる。

謝辞 本研究を行うにあたり、援助いただいた(株)植崎製作所、および日鋼工営(株)に感謝の意を表します。

参考文献 (1)日鋼工営(株)、ほか:「石綿の重合固化処理システムの開発」事業報告書(2007)。(2)戸倉、ほか4名:機械学会北海道支部第32回講演会前刷集, No.921-1(1991)109-111。(3)ニチアス(株):「アスベスト処理薬液プロテクターシーラント」説明書。(4)S. Ross: J. of Physical Chemistry, Vol.47(1943), 266-277。(5)G. D. Miles, et al.: J. of Physical Chemistry, Vol.49(1945), 93-107。