

回転円すい体の外表面を上昇する液膜流れ*

足立 高弘*¹, 佐藤直也*², 小針 直人*³, 堀 紀弘*⁴

Liquid film flow rising along the outer surface of the rotating cone

Takahiro ADACHI*¹, Naoya SATO*², Naoto KOBARI*³, Toshihiro HORI*⁴

*¹ Department of Mechanical Engineering, Akita University, 1-1 Tegata-Gakuen, Akita, 010-8502 Japan

We have investigated fluid flow characteristics of liquid film flow rising along the outer surface of the rotating cone. The fluid is given a centrifugal force due to the rotation of cone, while strong surface tension maintains the centrifugal force at the outer surface of the liquid film flow. Therefore, the fluid does not spread outward the cone, but goes up along it. We have visualized the interesting flow phenomena with a high-speed video camera. In addition, we have measured the correlation between the wetted radius, rotation and flow rates of rising film flow.

Key Words : Liquid Film Flow, Surface Tension, Rotating Cone, Atomization, Flow Visualization

1. 緒 言

液体微粒化過程では、ファン、コンプレッサーおよびポンプなどを用いて液体に高圧をかけ、ノズルから噴出させることで液を微粒化させる方法がよく用いられている。しかし、複数の機械で構成されるため装置が大きくなることや噴霧特性（液滴の径や噴霧流の流量など）を制御することが難しいなどの問題点が存在する。そのため、コンパクトで消費電力が少なく手軽に噴霧特性を調節できる新しい噴霧流の生成機構が求められている。

本研究では、噴霧流の生成機構として回転円すい体を利用した方式を取り上げる。すなわち、円すい体の頂角を下にして水に浸し回転させることで、円すい体の外表面を液が上昇し、液膜を形成し微粒化する現象を利用するものである。これまでに、回転円すい体の内表面を遠心力によって水が上昇していく現象は広く知られており多くの研究がなされてきた^{(1),(2)}。しかし、回転円すい体の外表面を液膜流が上昇する現象については、これまでに研究報告がなく詳細は明らかではない。

本研究では、回転円すい体の外表面を上昇する液膜流の可視化実験および円すい体の回転速度と上昇液膜流の流量等との関係について実験的に調べる。

2. 実 験

2.1 実験装置 実験装置の概略図を図1に示す。テストセクションでは、作動媒体である水で満たされた円筒タンク中心に円すい体が設置される。円すい体を回転させると、円すい外表面を液膜が上昇し円すい上部の円板を伝って微粒化され外部に放出される。放出された水は回収され、流量を調節した上で再び円筒タンクに送られる。図2に、円すい体の寸法を示す。本研究では、頂角 $\theta = 25^\circ$ で、最大半径 $r_0 = 40\text{ mm}$ の円すい体を用いる。なお、円すい体の材質はアクリロニトリル・ブタジエン・スチレン (ABS) 樹脂である。また、円すい体表面は通常の切削表面であり、算術平均粗さ $Ra=1.6$ 程度で製作しており特別な処理はしていない。

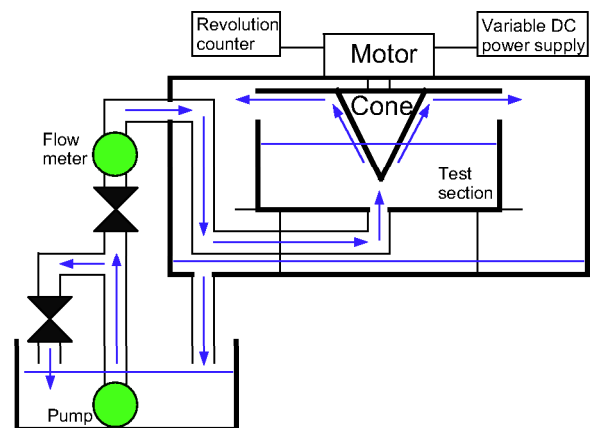


Fig.1 Experimental apparatus.

* 原稿受付 2009 年 9 月 10 日

*¹ 正員, 秋田大学 (〒 010-8502 秋田市手形学園町 1-1)

*² 秋田大学大学院工学資源学研究所

*³ 株式会社ノーリツ (〒 674-0093 明石市二見町南二見 5)

*⁴ 正員, 株式会社ノーリツ

Email:adachi@ipc.akita-u.ac.jp

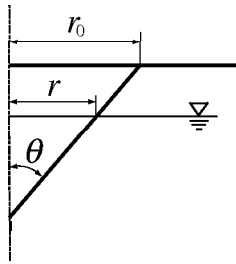


Fig.2 Dimensions of the cone.

2.2 上昇液膜流の可視化実験 円筒タンク内の円すい体を回転させると、外表面を上昇する液膜流が形成される。その様子を高速ビデオカメラを用いて可視化する。

図3は、回転速度を $\Omega = 0$ から 6000 min^{-1} (あるいは回転数 rpm) 程度まで徐々に変化させた場合の上昇液膜流のパターンを示している。図3(a)は初期状態で、円すいが静止している状態である。円すいが回転し始めると、図3(b)に見られるように水面が持ち上がる。しかし、この時点では回転速度が小さいため、それ以上液が上昇することはない。さらに、回転速度を増大させると、図3(c)のように水面の変形が大きくなり、持ち上がった水面位置が高くなる。そして、水面先端の液塊は半径方向に放射状に飛散する。水面先端の液塊が飛散した後には、図3(d)に見られるように、円すい体外表面に沿った薄い液膜流が形成される。

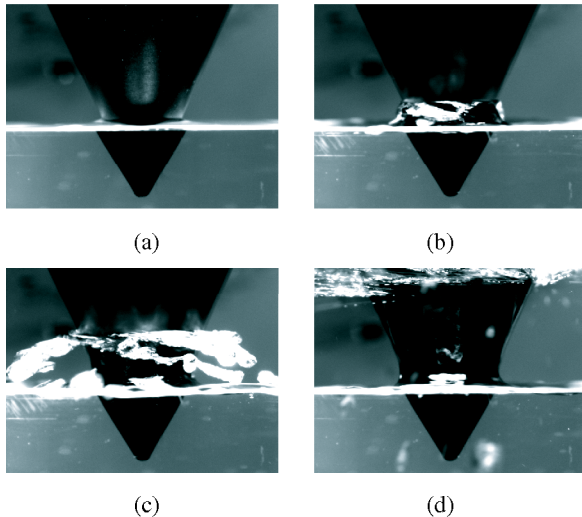


Fig.3 Visualization photographs of rising film flow.

2.3 回転速度、供給流量および浸水半径の相関 円すい体が水に浸っている程度を表わす量として、図2に示す水面での浸水半径 r を定義する。円すい体が回転し、液が吸い上げられると水面位置が低下し、 r が減少する。ある程度 r が小さくなると、液膜流の上昇は停止する。そこで、定常的に液膜流を生成するた

めに、円筒タンクに流量 Q を供給する。流量 Q を供給すれば、十分に時間が経過すると、上昇液膜流の流量と円筒タンクに供給される流量 Q が釣り合い定常状態になる。このとき、円すいの回転速度 Ω と供給流量 Q に対して釣り合いの位置 r が決まる。

図4は、浸水半径 r と回転速度 Ω との関係を $Q = 0.2, 0.3 \text{ l/min}$ に対して調べた結果である。図より、それぞれの Q (一定) に対して、回転速度が増加すると浸水半径は減少する。このことは、周方向の速度が大きいくほど、円すいの稜線に沿った液膜内の圧力勾配が増大することを示している。すなわち、周方向の速度が大きいくほど、その位置での圧力が低下し、円すいの稜線に沿った圧力勾配が大きくなる。その結果、液を上昇させる能力が増加するため浸水半径が減少することにつながると思われる。流量 Q の変化に対しては、 Q が減少すると、定常状態での液膜の上昇流量が減少することになるので、回転速度が同じ場合には浸水半径が減少することになる。

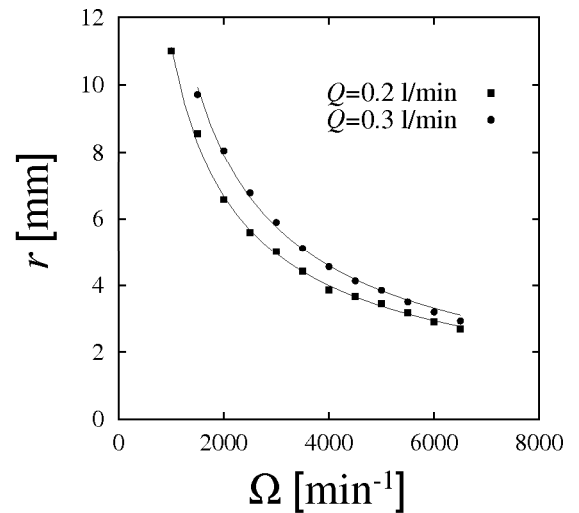


Fig.4 Wetted radius vs. rotation and flow rates.

3. 今後の展望

本研究では、新しい噴霧流生成機構に利用することが期待できる回転円すい体を用いた上昇液膜流の特性についての研究を行った。ここで示した回転円すい体外表面を液膜流が上昇する現象のメカニズムは、現在のところ明らかではないが、以下のように推論することができる。

液膜には円すい体の回転により、円すいの半径方向外向きに遠心力が作用し、液膜は円すいからはく離して飛散していくように考えられる。しかし、液膜の最も外側の気液界面には円すいの中心向きに表面張力が

作用し、液膜を円すい表面に保持する。一方、液は円すい表面を通過しないので、回転軸を含む断面を考えた場合には、円すいの稜線は一つの流線になっている。この円すいの稜線に沿って半径が増加するので周方向速度も増加する。その際、断面内の速度成分も増加することにより、ベルヌーイの定理から円すいの稜線に沿って圧力勾配が生じている状況にあると推察される。そして、この圧力勾配が液を上昇させる主要な駆動力になっていると考えられる。今後は、液膜流が上昇するメカニズムを明らかにし、回転速度や供給流量および頂角などの違いが液膜流の特性に与える影響を調べるのが課題である。

本研究を進めるにあたり、秋田大学の石田大己君と原田将平君から協力を得た。ここに感謝の意を表す。

文 献

- (1) S. Bruin, Velocity distributions in a liquid film flowing over a rotating conical surface, *Chemical Engineering Science*, Vol. 24 (1969), pp. 1647-1654.
- (2) S. V. Makarytchev, T. A. G. Langrish and R. G. H. Prince, Thickness and velocity of wavy liquid films on rotating conical surfaces, *Chemical Engineering Science*, Vol. 56 (2001), pp. 77-87.