ぬれにくい傾斜面上を落下する水滴の速度と幅*

細川 力**, 小松 源一**
細川 敬延**, 河合 彊***

The Velocity and Width of a Water Drop on an Inclined Unwet Surface

by Tutomu HOSOKAWA, Geniti KOMATU, Yosinobu HOSOKAWA, and Tutomu KAWAI

This study has been undertaken to clarify the motion of condensate drops under drowse condensation. It is difficult to clarify the behavior of the condensate drops on the condensing surface, because of their constantly changing weight and shape. Therefore, in the air, the behavior of a water drop with a constant weight on an inclined unwet surface was investigated using a video tape recorder. The velocity and width of a water drop were measured against the moving distance. The velocity and width of a tailless water drop were nearly constant. Moreover, in a tailed water drop, the tail was broken at some distance. The limit velocity and width of the hindmost edge were obtained both experimentally and theoretically.

Key Words: Phase Change, Dropwise Condensation, Inclined Unwet Surface, Falling Drop Velocity, Falling Drop Width

1. 緒 言

水蒸気の滴状凝縮熱伝達にはぬれにくい伝熱面が用いられ、凝縮水(滴)は落下に際し複雑な挙動を示し下部伝熱面の掃除作用による伝熱増進と被覆作用による伝熱妨害の相反する効果をもたらす⁽¹⁾。そのため、凝縮滴の挙動の解明が望まれ、いくつかの文献⁽²⁾⁽³⁾も見られる。しかし、落下凝縮滴は時間経過にしたがって、その質量と形状が変化し、蒸気流速など蒸気側の影響を受けること、さらに、接触角の測定の高難さなどのため、十分に滴挙動は、解明されていない。

したがって、本報では、前報⁽⁴⁾⁽⁵⁾に引き続き、大気中において、ぬれにくい傾斜面上の既知質量の落下滴に

関して、落下方向の速度と幅などについて実験を行い考察する。その結果の一部については、前報⁽⁴⁾で報告した類似の現象に対して求められている計算値と比較検討する。

2. 実験装置と方法

試験面は、滴が落下中にできるだけ行することのないように雨とゆ(曲率半径43.6 mm, 長さ2000 mm)を使用し、ぬれにくい面にするため表面にテフロン加工(接触角 $\theta_c=53.5\sim93.1^\circ$)を施した。水滴は、精密てんびんによってあらかじめ測定されている注射針から滴下する質量既知のいくつかの滴をテフロンで被覆したさじに受け試験面上に慎重に置かれた。実験期間中の水温は約10~15℃内であった。滴の挙動はビデオカメラによって撮影され、滴の落下速度、幅などの測定には被写体を約5倍に拡大し、3/100~4/100 sごとの測定時間で画像解析した。

3. 結果と考察

ぬれにくい傾斜面上の静止滴は、質量がしだいに増加すると無尾滴として落下運動をはじめ、速度も増加する。さらに質量が増加するにしたがって、無尾滴は有尾滴になり、そして、その後端部の尾はこまかく破

図1 滴形状の区別例(傾斜角15°)

* 昭和60年11月4日 中国四国支部・九州支部合同徳島地方講演会において講演、原稿受付 昭和60年3月27日。

** 正員、姫路工業大学(〒671-22 姫路市書写2167)。

*** 正員、鉄鋼短期大学(〒661 尼崎市西昆陽石田1-1)。

図 2 速度と位置の関係

断する現象が観察される。図 1 に、無尾滴と有尾滴の形状の区分例を示す。したがって、はじめに無尾滴の場合の落下速度と幅について検討し、その後、有尾滴の尾の破断が見られる現象について、その時の限界速度と限界幅等に関して考察する。

3.1 無尾滴の場合

3.1.1 速度と位置の関係 無尾滴では滴の前端速度 U_A と後端速度 U_R は等しくなるため、図 2 には各傾斜面上における U_A と落下位置 X の関係を示す。全体に滴質量が比較的小さい場合のため、落下滴は短い X の位置で定常状態になり、 U_A はほぼ一定値を示す。滴の質量が大きくなると、滴は加速され、最大速度に達した後、減速される現象が見られる。これは滴の有尾滴への移行が始まり、滴と面との間の接触角の変化、あるいは接触面積の変化が速度に影響をおよぼしていると思われる。傾斜角 α (水平面からの傾き) の U_A への影響は、図 2 (a), と (b), および、図 2 (c), と (d) の同一質量の値を比較して、 α が大きくなるほど U_A の絶対値は大きくなるが、 α の変化に対する U_A の変化割合は小さくなるようである。

3.1.2 幅と位置の関係 滴の落下方向に対する横幅 b と X の関係を図 3 に示す。図 3 より本実験範囲では、 b は X に対してほとんど変化することなく一定である。 b は同一質量で α が大きくなるほど小さくなり、同じ α の場合は、滴質量が大きいほど b は大き

図 3 幅と位置の関係

くなる。

3・2 有尾滴の破断の場合 落下滴の質量の大きい場合に有尾滴の尾部破断が見られる。この時の限界速度、幅について、次に示す計算式を用いて検討する。著者ら⁽⁴⁾は単一連続水流から流量を減じていく時に、破断現象が見られる際の限界流量 V_{rc} を求めたが、いま、この時の水流断面を円弧と近似することによって、限界速度 U_c と限界幅 b_c がそれぞれ、次式(2)、(3)より求められる。

$$V_{rc} = \left(\frac{27}{128} \right)^{1/5} \left(\frac{\sigma}{\rho} \right)^{4/5} \left(\frac{\mu}{\rho g} \right)^{3/5} \times \frac{\left(\theta_c - \frac{1}{2} \sin 2\theta_c \right)^{8/5}}{f(\theta_c)^{3/5}} \sin^{-3/5} \alpha \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$U_c = \left\{ \frac{2}{3} \frac{\rho g}{\mu} \frac{f(\theta_c)}{\left(\theta_c - \frac{1}{2} \sin 2\theta_c \right)^2} \sin \alpha V_{rc} \right\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$b_c = \left\{ 24 \frac{\mu}{\rho g} \frac{\sin^4 \theta_c}{f(\theta_c)} \frac{1}{\sin \alpha} V_{rc} \right\}^{1/4} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 g ：重力の加速度、 σ ：表面張力、 ρ ：密度、 μ ：粘性係数

$$f(\theta_c) = \frac{15}{8} \theta_c - \frac{3}{2} \theta_c \sin^2 \theta_c - \frac{13}{8} \cos \theta_c \sin \theta_c - \frac{1}{4} \cos^3 \theta_c \sin \theta_c$$

以下に示す U_c 、 b_c の計算値は、水温 10°C 、 $\theta_c = 90^\circ$ として求める。

3・2・1 限界速度と位置の関係 図4は、破断が見

図4 限界速度と位置の関係

図5 限界幅

られる有尾滴の前端速度 U_A および後端速度 U_R と位置 X の関係を示す。実験値の最終プロットは有尾滴が破断する直前の U_A , U_R の値を示す。図4中の実線は式(2)より求められる限界速度 U_c の計算値を示す。

図4より、いずれの滴質量の場合にも滴の破断が生じる直前の U_A , U_R の値は α に関してほぼ一定値を示している。また、その時の U_R は式(2)より求められる U_c の計算値に一致している。したがって、連続水流から滴への破断と有尾滴の尾部破断の二つの現象には類似点があると思われる。

3.2.2 限界幅および限界位置 落下滴の破断は尾部に見られるため、その時の尾部の幅 b_{Rc} の測定値を図5に示す。縦軸に b_{Rc} 、横軸に滴質量 M を表し、図5中の実線は式(3)より求められる限界幅 b_c の計算値を示す。図5より、 b_{Rc} は b_c と比較して、各 α とも全体に大きい数値を示しているが、各 α に対して、滴質量が変化してもほぼ一定値を示し、また、 α が大きくなるにしたがって、 b_{Rc} は小さくなっており、概略計算値の b_c の傾向と一致しており、 b_{Rc} は b_c で評価できる。

図6は、滴の破断時の限界位置 X_c と滴質量 M の関係を示す。 X_c の値は傾斜面に滴が置かれた原点から滴が破断した時の滴後端部までの距離を示す。図6より、同一質量の場合、 α が大きいほど X_c の値は小さくなり、短い距離で滴の破断が見られることがわかる。また、各 α に対して、 M が一定値以上になると一定距

図6 限界位置

離の X_c の位置で滴の破断が生じるようである。

滴状凝縮において、比較的伝熱面が大きい場合には、無尾滴の落下あるいは有尾滴の落下、さらに、下部伝熱面上の滴との合体などにより滴質量が増加し有尾滴の落下から尾部の破断への移行現象など、本実験結果と基本的には同様の現象が見られる。したがって、以上の結果と考察から、それらの凝縮水(滴)の掃除幅、被覆時間などが熱伝達におよぼす影響について検討する場合の基礎的な資料がえられる。

4. 結 言

大気中において、ぬれにくい比較的長い傾斜面上に水滴を転落させる実験を行い、次の結論をえた。

(1) 無尾滴の滴質量が小さい場合は、落下速度と幅は概略一定と見なされ、その形状はほぼ変化することなく転落する。

(2) 有尾滴の尾部に破断が見られる現象については、その時の後端速度と幅は、各傾斜角に対して一定値を示し、その傾向は連続水流の限界流量から求められる速度と幅の計算値と一致する。

文 献

- (1) 河合・永井, 機論, 23-136 (昭32), 922.
- (2) 河合・ほか2名, 機論, 31-229 (昭40), 1355.
- (3) 河合, 機論, 32-233 (昭41), 107.
- (4) 細川・ほか2名, 機論, 50-449, B (昭59), 168.
- (5) 細川・ほか2名, 機論, 50-456, B (昭59), 1981.