細い配管における気液二相流の圧力特性

Pressure Characteristics of Gas and Liquid Flow inside the Tube with Smaller Diameter

正 朱 寧 (静岡理科大学) 〇高 宇 (静岡理科大学大学院)

Ning ZHU, Shizuoka Institute of Science and Technology, 2200-2 Toyosawa, Fukuroi, Shizuoka, 437-8555, Japan

Yu GAO, Graduate School of Shizuoka Institute of Science and Technology

1. 緒論

近年、熱交換器の分野において、省スペース化、コンパクト化、高性能化、高効率化などが求められるなか、設計上、内径が数 mm の細い配管がよく使用されるようになってきている。

小口径配管内の流れでは、界面張力の影響で、その流動特性および伝熱特性が通常の流路と異なる可能性がある。とくに、小口径配管内を流れる相変換を伴う流れでは、その流動伝熱特性がさらに複雑なものとなる。これまでに、熱交換器の設計に際し、通常の流路に関する経験式が用いられてきたが、細い配管を用いる設計では、新しい実験式に関する提案が必要である。

本研究は、細い配管における気液二相流の流動特性を明らかにすることを目的とする。研究では、まず、気液二相流の圧力損失測定実験システムを構築する。続いて二相流における圧力損失を計測定するとともに、可視化の実験を行う。最後に、摩擦損失勾配とクオリティとの関係を整理する。

2. 実験

Fig. 1 に気液二相流圧力損失測定実験システムの概略図を示す。水平状に設置したテストセクションは全長 1500mm、外径 6mm、内径 3mm の細い配管とする。

二つのポンプを使って、それぞれ一定流量の水と空気を流路に供給する。混合器では、異なる流量の水と流量を混合してからテストセクションを通過させる。テストセクションの

前後に設置した圧力計により圧力損失を測定する。一方、水と空気の流量は流量計によりそれぞれ測定される。

一方、可視化実験、気液二相流圧力損失を測定する実験のシステムを活かし、テストセクションでは、透明なチューブを設置する。観察のため、水に少量な油性顔料を混入する。ほかの流動条件は上述したもの一致する。

3. 結果と考察

3-1 細い配管内の圧力損失

流路断面の気相及び液相流量を m_g 、 m_l とすると、気相と液相の質量速度はそれぞれ式 (1) に示す。

$$G_g = m_g/A, \quad G_l = m_l/A \quad (1)$$

クオリティの計算式は式 (2) に示す。

$$x = \frac{G_g}{G_g + G_l} = G_g/G \quad (2)$$

実験では、空気コンプレッサの出口圧力を 1MPa と 1.5MPa、水の流量を $1 \times 10^{-3} \text{kg/s} \sim 6.06 \times 10^{-3} \text{kg/s}$ とし、測定したテストセクションの圧力損失とクオリティの関係を Fig. 2 に示す。

Fig. 2 から、まず、供給気圧が 0.15MPa 時の圧力損失は 0.1MPa 時の圧力損失より大きいことが分かった。続いて、クオリティが大きくなるにつれ、圧力損失も大きくなることが確認できた。

Fig.1 Experiment system for measuring pressure drop inside the tube for gas and liquid flow

Fig.2 Relation between quality and pressure drop

3-2 可視化実験の結果

Fig. 3 には可視化実験（空気コンプレッサの出口圧力を1Mpa）の結果を示す。左から右へ水の流量がそれぞれ $Q_g=1 \times 10^{-3} \text{kg/s}$, $Q_g=3.97 \times 10^{-3} \text{kg/s}$, $Q_g=6.06 \times 10^{-3} \text{kg/s}$ とするとき、透明なパイプを流れる二相流は、いずれも波状流として、上部では、空気が、下部では水が流れていることを確認した。とくに、空気と水の境界面のところでは、波が打つ様子も確認できた。波状流の流動様式を Fig. 4 に示す。

3-3 摩擦損失勾配との関係

可視化実験の結果を踏まえ、波状流として摩擦損失勾配とクオリティの関係を整理する。圧力損失の推算式としては極めて多数のものが提案されているが⁽¹⁻⁴⁾、本研究では、均質流モデルを用いることにした。

気液二相流において気液速度比スリップ $S=1$ つまり両相間の相対速度を無視すると、流れは単相流の式と全く同じ形で表示できることになる。均質流モデルに基づいて全流量が液相状態で流れた時の摩擦損失こう配は計算式 (3) を示す。

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta z}\right)_{Lo} = \frac{2f_L}{D} G^2 v_l \quad (3)$$

同様に、均質二相流の摩擦損失こう配は計算式 (4) で与えられる。

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta z}\right)_{TPF} = \frac{2f_{TP}}{D} G^2 \left[v_l + x(v_g - v_l) \right] \quad (4)$$

二相流の摩擦係数を液単相流の場合と同様に、計算式 (5) とおき、

$$f_{TP} = 0.079(GD/\eta)^{-1/4} \quad (5)$$

とおくと、摩擦損失勾配比は式 (6) で表わされる。

$$\begin{aligned} \Phi_{Lo}^2 &= \left(\frac{\Delta P}{\Delta z}\right)_{TPF} / \left(\frac{\Delta P}{\Delta z}\right)_{Lo} \\ &= \left[1 + x \left(\frac{v_g - v_l}{v_l}\right)\right] \left[1 + x \left(\frac{\eta_l}{\eta_g} - 1\right)\right]^{-1/4} \quad (6) \end{aligned}$$

ここで、 L は液相、 v は比容積、 D は管径、 f_{TP} は二相流摩擦係数、 η は粘度、 x はクオリティとする。

実験条件により算出したクオリティを横軸に、式 6 により算出した摩擦損失勾配、あわせて実際に測定した摩擦損失勾配を Fig. 5 に示した。

Fig. 5 では、クオリティが大きくなるにつれ、均質流モデルに基づく摩擦損失勾配も実際に測定した摩擦損失勾配も大きくなっていくことが分かった。しかし、均質流モデルによる計算値に比べて、実際に測定した摩擦損失勾配が低かった。

それは、表面張力の影響によるものかはまだ未明であり、引き続き調査して行く必要があると思われる。

6. 結論

- (1) 気液二相流の圧力損失測定システムを構築した。
- (2) 気液二相流の圧力損失を測定した結果、クオリティが増加するにつれ圧力損失が増大する。
- (3) 摩擦損失勾配もクオリティの増加に伴い増大することが分かった。

7. 参考文献

- (1) 平田哲夫、岩田博、田中誠、石川正昭、西田耕作、基礎からの冷凍空調、森北出版 (2007)
- (2) 赤川浩爾、藤田達夫、気液二相流、株式会社 コロナ社出版 (1974)
- (3) 日本機学会、気液二相流技術ハンドブック 株式会社 コロナ社出版 (2006)
- (4) 日本機学会、伝熱工学資料、丸善株式会社 (1986)

Fig.3 Result of flow pattern

Fig.4 Wavy flow

Fig.5 Relation between friction drop gradient and quality ($Q_g=3.9 \times 10^{-4} \text{kg/s}$)