円管内での蒸気と空気の混合流体の下降流における凝縮熱伝達

Condensation Heat Transfer for Downward Flows of Steam-Air Mixture in a Circular Pipe

*村瀬 道雄[1]，歌野原 陽一[1]，冨山 明男[2]
[1]原子力安全システム研究所，[2]神戸大学

直径 49.5 mm の鉛直伝熱管内を下降する蒸気と空気の混合気体における温度分布と熱流束の測定値から凝縮熱伝達率を求め、熱輸送と物質輸送の相似則および拡散層モデルに基づく従来相関式と比較評価した。

キーワード：鉛直管，蒸気・空気混合気体，凝縮伝熱，熱伝達率

1. 緒言　前報[1]では、直径 49.5 mm の鉛直伝熱管内を下降する蒸気と空気の混合気体の半径方向温度分布、伝熱管壁内の半径方向温度勾配および外部冷却水の半径方向温度分布を測定し、凝縮熱流束の実験式を導出した。本報では、混合気体の温度分布と熱流束から凝縮熱伝達率を求め、Araki et al. [2]による熱輸送と物質輸送の相似則に基づく相関式および Liao and Vierow [3]による拡散層モデルに基づく相関式と比較した。

2. 評価の方法と結果　実験の入口条件は、圧力が約 0.125 MPa、蒸気流量 $W_{s,in}$ = 0.74～5.9 g/s、空気流量 W_a = 1.5～9.0 g/s、空気質量流量比 $x_{a,in}$ = 0.36～0.92、混合気体レイノルズ数 $Re_{g,in}$ = 3600～22700（流速 $j_{g,in}$ = 1.2～8.0 m/s）である。凝縮熱抵抗 $1/h_c$ は、熱流束 q_c [1]および中心と壁面との温度差(T_c-T_w)から求めた熱通過率 h_t、液膜熱抵抗 $1/h_f$ と対流熱伝達率 h_{fc} を用いて、次式[2, 3]で計算した。

$$h_t = q_c/(T_c-T_w),\ 1/h_t = 1/(h_c+h_{fc})+1/h_f \quad (1)$$

液膜厚さは Nusselt の層流モデルで計算し（約 0.1 mm 以下）、h_f と液膜表面温度 T_f を求めた。h_{fc} は Colburn の式を用いて計算した。Araki et al. [2]および Liao and Vierow [3]の相関式を用いた計算では、中心温度 T_c と液膜表面温度 T_f に測定値と測定値に基づく計算値を使用した。また、測定範囲[1]は境界層の発達領域であるため、Araki et al. [2]の相関式は次式[4]を用いて補正した（Liao and Vierow [3]の相関式は補正なし）。

$$Nu_x = \{1+C/(z/D)\}Nu_\infty,\ C = 0.8\ \{1+(Re_g/1700)^{-3/2}\} \quad (2)$$

Araki et al. [2]と Liao and Vierow [3]で顕著な相違はなく、h_c の計算値は測定値と比較的よく一致した。Liao and Vierow [3]による計算値 $h_{c,cal}$ と測定値 $h_{c,exp}$ の比較を図 1 に示す。No. 1 は $x_{a,in}$ = 0.36、No. 11 は $x_{a,in}$ = 0.92、No. 3～5 は $x_{a,in}$ = 0.60 で再現実験、No. 5～8 は $x_{a,in}$≒0.60 で全流量を減少、No. 8～11 は $W_{s,in}$≒0.80 g/s で W_a を増加である。相関式は上流部で h_c を過小に計算し、低 h_c で h_c を過大に計算した。

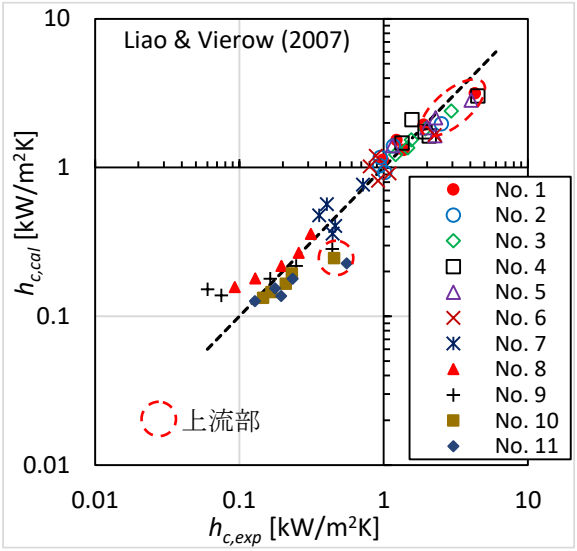

図 1　凝縮熱伝達率の計算値と測定値の比較

3. 結論　凝縮熱伝達率の従来相関式は、境界層厚さが薄い上流部で h_c を過小に計算し、低 h_c で h_c を過大に計算した。

参考文献

[1] M. Murase, et al., 混相流, **33**(4), pp. 405-416, 2019.
[2] H. Araki, et al., JNST, **32**(6), pp. 517-526, 1995.
[3] Y. Liao and K. Vierow, J. Heat Transfer, **129**, pp. 988-994, 2007.
[4] 日本機械学会編，機械工学便覧, A6-120, 1987.

* Michio Murase[1], Yoichi Utanohara[1], Akio Tomiyama[2]
[1]Institute of Nuclear Safety System, Inc., [2]Kobe University