

強制対流サブクール沸騰の数値解析における気泡の伝熱面離脱速度の影響

Effects of bubble lift-off velocity in numerical analysis of subcooled flow boiling

*坂本 新太郎¹, 海保 和宏¹, 榎木 光治¹, 大川 富雄¹

¹電気通信大学

強制対流サブクール沸騰の数値解析で、気泡の伝熱面離脱速度がボイド率に与える影響を調べた。離脱速度の気泡サイズ依存性を考慮した場合と離脱速度一定とした場合で、ボイド率が大きく異なることを示した。

キーワード：強制対流サブクール沸騰、気泡追跡法、伝熱面離脱速度、気泡サイズ、ボイド率

1. 緒言

強制対流サブクール沸騰域のボイド率は、軽水炉の二相流動安定性や燃料燃焼度に影響を及ぼす。このため、ボイド率の高精度予測を目的として、いくつかの詳細モデルが提案されている[1]。ここで、サブクール沸騰域では様々なサイズの気泡が生成され、各気泡の挙動はサイズにより大きく異なる[2]。本研究では、伝熱面離脱時の気泡径分布と伝熱面離脱速度の気泡径依存性を考慮して、サブクール沸騰の数値解析を実施する。離脱速度一定としたときの解析結果と比較し、気泡離脱速度がボイド率に及ぼす影響を検討する。

2. 数値解析手法

解析体系は、Kaiho らの実施した強制対流サブクール沸騰実験[2]と同じとする。流路は矩形管で、流路壁の1面を均一加熱した。流体は大気圧の水、流動方向は鉛直上向き、熱流束は $q_w = 350 \text{ kW/m}^2$ 、入口サブクール度は $\Delta T_{sub} = 30 \text{ K}$ 、質量流束は $G = 300 \text{ kg/m}^2\text{s}$ とした。強制対流サブクール沸騰では、発泡核によって伝熱面離脱時の気泡サイズが異なる。本解析では、気泡発生の時刻、位置、気泡サイズは、同条件で取得した実験データと同じとした。気泡発生位置及び気泡サイズの実験データを Fig. 1 に示す。一方、気泡の伝熱面離脱速度は、次に示す3通りの方法で設定し、ボイド率の計算結果に及ぼす影響を調査した。

ケース a：個々の気泡にサイズに応じた速度を与える（実験相関式）。

ケース b：全気泡に体積加重平均速度 u_{wm} を与える（一定値）。

ケース c：全気泡に算術平均速度 u_{am} を与える（一定値）。

3. 解析結果と考察

Fig. 2(a)-(c)に流路断面平均ボイド率の軸方向分布を示す。また、同図下部に解析領域全体での時間平均ボイド率を示す。後者を比較すると、ケース a と b では、概ね同程度の値であるが、ケース c では、30%程度も過小評価となっている。算術平均で離脱速度を評価すると、個数の多い小気泡の影響が優勢となる。一方、気泡の伝熱面離脱速度は、気泡サイズの増加とともに減少する傾向である。したがって、ケース c では離脱速度が過小評価となるので、気泡が低温のバルク液中に速やかに移動し、凝縮が促進されるためにボイド率が過小評価されたと解釈できる。したがって、サブクール沸騰域のボイド率を正確に評価するには、伝熱面離脱時における気泡サイズと速度を高精度で予測することが必要といえる。ただし、今回の解析条件では、離脱速度を体積加重平均速度で一定としても、妥当なボイド率の評価結果となった。

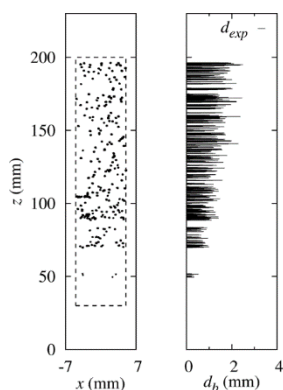


Fig. 1 Distributions of nucleation sites (left) and bubble size (right)

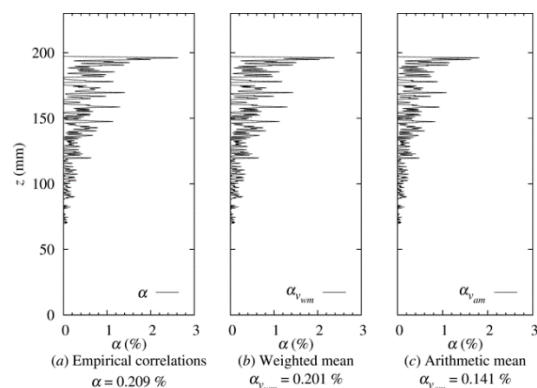


Fig. 2 The axial distributions of time-averaged cross-sectional area void fraction.

4. 結言

気泡追跡法を用いて、サブクール沸騰域のボイド率予測を実施した。高精度のボイド率予測を行うためには、気泡径分布と、気泡サイズに応じた各気泡の伝熱面離脱速度を正確に評価する必要があることを示した。

謝辞 本報告は原子力規制庁からの委託「平成 28 年度低圧時サブクール沸騰挙動解明試験」にて実施した成果です。

参考文献 [1] G. H. Yeoh, Int. J. Heat Mass Transf. 75 (2014) 754. [2] K. Kaiho et al., Int. Conf. Nucl. Eng. (2016) ICONE24-60318.

*Shintaro Sakamoto¹, Kazuhiro Kaiho¹, Koji Enoki¹, Tomio Okawa¹

¹The University of Electro-Communications