C212

障害物を伴う平行平板流路内気液二相流の 界面挙動に関する数値予測

小瀬 裕男[○] ((株)大和システムエンジニア), 吉田 啓之(原研), 高瀬 和之(原研)

Numerical Predictions on Free Surface Behavior of Liquid-Gas Two Phase Flow in a Parallel Channel with Obstacles

Yasuo OSE, Hiroyuki YOSHIDA and Kazuyuki TAKASE

ABSTRACT

Three-dimensional computations were carried out using a newly developed two-phase flow analysis code in order to analyze numerically free surface characteristics between water and vapor in narrow fuel channels with rectangular spacer ribs for reduced-moderation light water reactors. Calculations were conducted under isothermal condition. Major calculation parameters are water and vapor velocities at the channel inlet and initial thickness of water on the channel floor. The Liquid film flow behavior around one or two spacer ribs was predicted quantitatively.

Keywords: Free Surface, Liquid Film Flow, Numerical Predictions, Spacer Rib

1. はじめに

原研が開発を進めている低減速軽水炉⁽¹⁾は、減速材の割合を減らし、高速中性子の減速を抑制することで中性子エネルギーの高い領域を利用する水冷却炉であり、転換比が高速増殖炉のように1を超える可能性を持つ。低減速軽水炉の炉心では、燃料に対しての減速材の割合を小さくするために、燃料棒間ギャップを従来軽水炉の3 mm程度から1 mm程度まで稠密化した燃料集合体利用される。また、燃料棒間ギャップを一定に保つためにスペーサと呼ばれる障害物が設置される。

従来の研究から、スペーサ周辺の液膜流挙動はスペーサ形状に大きく依存することがわかっている。したがって、従来研究の結果から本研究対象であるスペーサ付き狭隘流路内の液膜流挙動を予測評価することはスペーサ形状が異なるために適切ではない。さらに、スペーサは流れ方向に任意の間隔で数カ所設置される。著者らは前方に位置するスペーサによって乱された流れが後方に位置するスペーサにどのような影響を及ぼすかについて今後の研究対象と考えているが、このような複数設置されたスペーサによる液膜流への影響についての従来研究は見当たっておらず、従来の研究結果からは明確な結論は得られない。

そこで、本研究では狭隘流路内に存在する障害物が液膜流挙動に及ぼす基礎的な影響を数値的に調べた。

2. 数値解析

2.1 二相流解析コード TPFIT

数値解析には吉田⁽²⁾によって開発された二相流解析コード TPFIT を使用した。本コードは気液界面形状を時間及び空間方向に高精度で輸送できる特徴を持つ。

2.2 解析体系

Fig. 1 に解析体系と境界条件の概略を示す。解析体系は3次元平行平板流路とスペーサ形状を簡略模擬した矩形突起から成る。流路入口から侵入した流れは、矩形突起の前縁で左右に別れ、突起後端で再び合流し後方へと流れると考えられる。流路寸法は長さ81 mm、幅27 mm、突起寸法は長さ6 mm、幅3 mmで、両者の高さ H をパラメータとして2・10 mmの範囲で変更した。境界条件は、流路上面と下面及び突起表面は壁で速度は no slip 境界、流路側面は対称境界で速度は free slip 境界、流路入口と出口は一樣流入、流出境界である。

解析では、流路入口に水の初期液膜厚さ h とその流速 V_l 及び蒸気速度 V_g を与え、流路高さ、蒸気速度、液膜速度及び液膜厚さ等をパラメータとして時間方向に進展する液膜流挙動を定量的に調べた。

計算は、熱の影響がない非加熱等温流条件に対して、 h が1・7 mm、 V_l が1・7 m/s、 V_g が1・10 m/sの範囲で実施した。気相及び液相の物性値は低減速軽水炉の炉心出口近傍の条件である圧力7.2 MPa、飽和温度288℃における蒸気及び水の値を使用した。

3. 計算結果

Fig. 2 に解析した液膜流挙動（ボイド率 0.5 の等数値面図）の一例を示す。ここで、 $H=10\text{ mm}$, $h=3\text{ mm}$, $V_l=1\text{ m/s}$, $V_g=5\text{ m/s}$ である。Fig. 2 では気液界面間での強いせん断力の影響を受け、突起周辺に発生した界面の乱れの増幅に伴い、界面の断裂による液滴の飛散が観察された。

Fig. 3 は $H=10\text{ mm}$, $h=1\text{ mm}$, $V_l=1\text{ m/s}$, $V_g=5\text{ m/s}$ の条件で解析した結果である。本条件は Fig. 2 の条件に比べて初期液膜厚さ h が小さい場合である。本結果のように初期の液膜厚さが薄い条件では界面不安定挙動の規模が小さくなる傾向が見られた。

Fig. 4 は Fig. 3 と同様な条件で $V_l=7\text{ m/s}$ に変えた場合の結果を示す。その結果、液膜速度 V_l が速い場合には、突起後方で液膜の分断が発生し、突起後端から筋状に伸長した液膜の極めて薄い領域の発生が確認された。

Fig. 5 は突起列の影響を調べるため、主流方向の解析領域を拡張し、突起を 2 個配置した場合の結果である。ここで、 $H=10\text{ mm}$, $h=3\text{ mm}$, $V_l=1\text{ m/s}$, $V_g=10\text{ m/s}$ である。Fig. 5 に見られるように、1 個目の突起により発生した界面の乱れが 2 個目の突起によってさらに促進されている様子が確認された。一連の解析結果から、突起列の条件下では突起の配置や突起間距離が重要なパラメータであることがわかった。

4. まとめ

低減速軽水炉に用いられる狭隘流路を簡略模擬した体系で二相流数値解析を行い、流路内に存在するスペーサ等の障害物が液膜流に及ぼす基礎的な影響を調べ、次の成果を得た。

- ① 気液間の相対速度差が大きい場合、界面でのせん断力が強くなり、突起による界面の乱れが顕著となる。
- ② 初期液膜厚さの薄い条件では界面不安定挙動の規模が小さくなる傾向が見られた。
- ③ 液膜速度が速い場合には突起による影響が顕著となり、突起後方に液膜厚さの極めて薄い領域の発生が確認された。
- ④ 突起を複数個置いた場合には、前方の突起で発生した界面の乱れを後方の突起がさらに促進させる。

参考文献

- 1) T. Iwamura, et al.: Conceptual Design study on reduced-Moderation Water reactors (RMWRs), Proc. of Pacific Basin Nuclear Conference (PBNC 2000), Seoul, Korea, (2000) pp.1419-1430.
- 2) 吉田ら: 界面追跡法によるボイドドリフト現象の解析, 第 16 回数値流体力学シンポジウム, D11-1 (2002) pp.134.

Fig. 1 Computational domain

Fig. 2 Analytical result of liquid film flow ($H=10\text{ mm}$, $h=3\text{ mm}$, $V_l=1\text{ m/s}$, $V_g=5\text{ m/s}$)

Fig. 3 Analytical result of liquid film flow ($H=10\text{ mm}$, $h=1\text{ mm}$, $V_l=1\text{ m/s}$, $V_g=5\text{ m/s}$)

Fig. 4 Analytical result of liquid film flow ($H=10\text{ mm}$, $h=1\text{ mm}$, $V_l=7\text{ m/s}$, $V_g=5\text{ m/s}$)

Fig. 5 Analytical result of liquid film flow with two spacer ribs ($H=10\text{ mm}$, $h=3\text{ mm}$, $V_l=1\text{ m/s}$, $V_g=10\text{ m/s}$)