

マイクロバブルによる抵抗低減メカニズム解明のための数値シミュレーション

Numerical Simulations to Investigate the Mechanism of Drag Reduction by Microbubbles

杉山 和靖(海技研) 川村 隆文(東大工) 高木 周(東大工) 松本 洋一郎(東大工)

1.はじめに

本研究では、マイクロバブルによる抵抗低減メカニズムの解明を目的として、チャネル内気泡流を対象とした数値シミュレーションを行う。解析は、気泡流の平均化方程式を用いたものと直接数値計算の2通りの計算手法によって行う。

2. 平均化方程式による数値計算

単相流で層流状態($Re=950$)にあるチャネル内気泡流の実験[1]の条件の下、平均化方程式を用いた数値シミュレーションを行い、実験結果との整合性を調べる。支配方程式は、気相・液相の質量保存式、気液混合流体の運動量保存式、気泡の並進運動方程式からなる。気泡の並進運動方程式は、個々の気泡に働く力(付加慣性力、周囲流体の慣性力、浮力、抗力、揚力)の釣り合いによって書き表される。構成方程式を必要とする揚力は様々なモデル(理論[2]、実験[3]、数値計算[4])で定式化を行い、計算結果に対する揚力モデルの影響を調べる。なお、壁面-気泡間の流体力学的相互作用は無視している。計算条件に関して計算領域の大きさは、主流方向、壁面垂直方向、スパン方向に対し、 $100 \times 40 \times 40 (\text{mm}^3)$ 、格子点数は $50 \times 20 \times 20$ とした。また、気泡径は 1mm 、ポイド率は 0.6(\%) とした。計算手法に関して、個々の気泡をラグランジュ的に追跡する Euler-Lagrange 法[5]を用いた。図1に平均速度分布、図2にポイド率分布を示す。図1の実験結果より、気泡の混入に伴い、チャネル中央部の平均速度分布が平坦化している。これは、揚力によって気泡が壁面近傍に集積し、気泡群の浮力によって壁面付近の流体が上方向に引きずられ、壁面付近の速度勾配が増加するためである。図1の計算結果より、気泡に働く揚力を無視した場合、気泡が壁面近傍に集積せずに一様に分布するため、単相流での速度分布に一致している。それに対し、揚力を考慮した計算結果はチャネル中央部の平均速度分布が平坦化しており、実験結果と定性的に一致している。しかし、定量的には、揚力モデルによる計算結果の違いが顕著であることがわかる。この違いは、壁面付近でのポイド率分布(図2)に強く依存している。これらの結果より、速度分布の予測には気泡に働く力の壁面垂直方向成分の評価が重要であることがわかる。

3. 直接数値計算

昨年度より引き続き気泡流乱流の直接計算コードの開発とチャネル中気泡乱流の直接数値計算を行っている。当計算コードは、気泡形状を球面調和関数で表現することにより、気泡の変形をも直接取り扱うことが出来ることが特徴である。今年度は、計算コードの精度のより厳密な検証を行うとともに、並列化を行い大規模な計算を可能とした。

精度の検証のため、静止水中を渦放出を伴いながらジグザグに上昇する気泡まわりの流れの DNS を行い(Fig.3)、ジグザグ運動の周期など実験によく一致することを確認した。また、気泡直径当たりの格子点数、気泡形状表現の次数などの影響を詳細に調査し、チャネル内気泡乱流の計算条件を定めた。チャネル幅ベースのレイノルズ数は約 5500、計算格子は流れ方向・壁方向・スパン方向に対し $256 \times 128 \times 128$ である。コードの並列化により、総格子点数は昨年度行った計算の 16 倍とすることができた。解像度の向上により、より小さい気泡も計算できるようになった。昨年度は気泡径がチャネル幅の $1/4$ であったが、今年度は $1/10$ と実験と同程度とすることが出来た。計算は現在進行中であり、今年度中に結果を解析して報告する。



Fig. 3 DNS of vortex shedding from a rising bubble

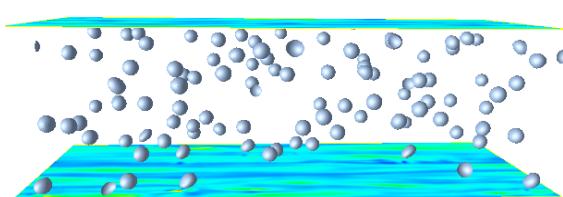


Fig. 4 DNS of bubbly channel flow

参考文献

- [1]菊川ら, 2001, 日本機械学会流体工学部門講演会, 802.
- [2]Auton, 1987, *J.Fluid.Mech.*, **187**, 241-257.
- [3]Sridhar&Katz, 1995, *Phys. Fluids*, **7**, 389-399.
- [4]Kurose&Komori, 1999, *J.Fluid.Mech.*, **384**, 183-206.
- [5]村井ら, 1997, 機論 B, **63**, 2277-2282.