

## II-205 多粒子一流体間相互干渉が卓越する混相噴流の乱流特性に関する実験的研究

東京工業大学 学生員 中村則保  
東京工業大学 正会員 灘岡和夫  
東京工業大学 正会員 二瓶泰雄

### 1. はじめに

著者らが開発している新しい混相乱流モデル（GAL-LESモデル）<sup>1) - 4)</sup>を今後高精度化していくためには、数値モデリングと同時に、室内実験を通じて混相乱流現象の把握を行っていく必要がある。混相乱流研究の一つである乱流変調問題においては、粒径依存性に関しては幾らか整理されているものの<sup>5)</sup>、粒子濃度依存性に関しては統一的な見解は得られておらず、多粒子一流体間相互干渉<sup>6)</sup>が卓越するような場合における乱流変調メカニズムの知見は皆無である。そこで本研究では、鉛直二次元固液二相噴流場に関する室内実験を行い、単相流との比較を通じて、多粒子一流体間相互干渉の効果が乱流特性、特に大規模渦構造に及ぼす影響に関して検討した。なお、ここでの多粒子とは粒子間衝突を無視できる範囲の粒子濃度である。

### 2. 室内実験の概要

本実験は、図-1に示すような前面ガラス張りの高さ150cm、幅150cm、奥行き50cmの水槽の前方10cmを仕切って行った。ここでは、水槽背面に付設されている揚水ポンプにより循環させられる水と、上方に設置された粒子フィーダーから供給される粒子を混合し、水槽上方中央部に設置したノズル（幅1cm、奥行き10cm）を通して固液混相流を水槽中に放流している。実験条件としては、ノズル出口での流量を10[l/min]、粒子濃度を0.015、平均粒子径を約0.02cmとした二相流を設定し、比較のためにノズル出口での流量が同じである単相流に関する実験も行った。また、計測は、LDVによる流体相速度測定とレーザーライトシートを用いた可視化写真撮影により行った。

### 3. 実験結果および考察

図-2に中心軸上における流体相の鉛直方向平均速度 $U_{cl}$ の鉛直方向分布を示す。図中の横軸はノズルからの鉛直方向距離 $X$ をノズル幅 $B$ で無次元化したもの、縦軸は各高さの $U_{cl}$ を $X/B=5$ における値 $U_0$ で無次元化したものである。これを見ると、単相流の場合には軸上速度は流下するとともに減少するのに対して、二相流の場合には $X/B=7.5$ 付近からほぼ一定値になっていることが分かる。図-3は、中心軸上における流体相鉛直方向乱れ強度 $u'$ に関する鉛直分布であり、 $u'$ を軸上速度 $U_{cl}$ で無次元化して表示している。これを見ると、単相流の場合には無次元乱れ強度は単調増加しているのに対して、二相流の場合には $X/B=10 \sim 20$ 付近にピークを有するような分布になっている。しかも、両ケースの大きさを比較すると、ノズル近傍では二相流の方が単相流よりも大きな値を有しているが、 $X/B=30$ 付近より遠方では単相流の方が大きくなっていることが分かる。また、軸上速度 $U_{cl}$ で無次元化された各横断面内での最大レイノルズ応力 $\overline{u'v'}$ の鉛直分布（図-4）を見ると、ノズル近傍では二相流の方が、遠方では単相流の方が大きい、という乱れ強度と類似した分布になっていることが分かる。一般に、このような噴流場では、大規模

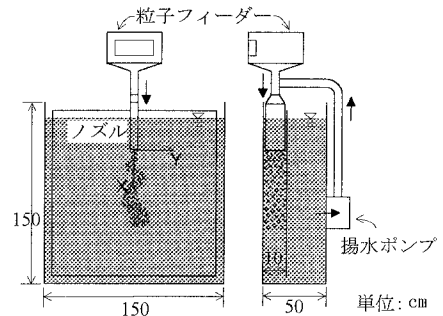


図-1 実験装置の概略図

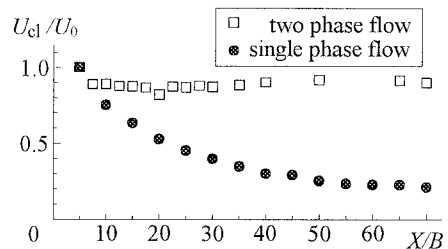


図-2 流体相の軸上速度の鉛直方向分布

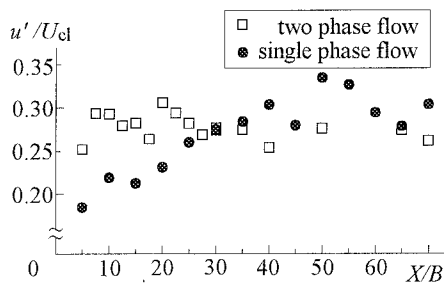


図-3 無次元鉛直方向乱れ強度の鉛直分布

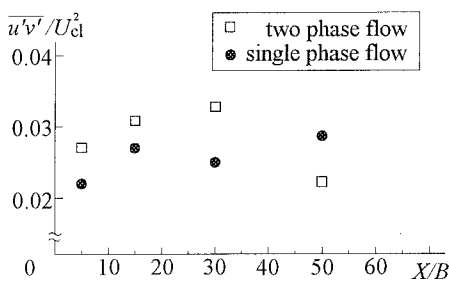


図-4 無次元レイノルズ応力の鉛直分布

渦がレイノルズ応力生成の支配的な要因になることから、上述した乱れ強度やレイノルズ応力の鉛直分布特性は、大規模渦構造の挙動に起因しているものと考えられる。

この大規模渦構造の挙動を検討するために行った可視化の一例を写真-1に示す。この写真は、レーザーライトシートを前面のガラス面と平行に照射することにより撮影したものである。これを見ると、 $X/B=15\sim25$ では単相噴流では見られないような、大規模渦の発生・発達を示す大きな揺動が明確に現れていることが分かる（同写真中①）。それに対して、それより遠方ではこの揺動パターンはやや崩れた形になっている（同写真中②）。このような揺動パターン（したがって大規模渦構造）の特徴が変化する高さは、上述した両ケースの乱れ統計量の大小関係が変化するところとほぼ一致していることから、大規模渦構造の発達・減衰過程の特徴が乱流変動特性に密接に関連していることが分かる。

以上のような流体相の大規模渦構造特性をもたらすメカニズムとしては、重力効果により粒子-流体間に作用するDragから生ずるトルクの影響が考えられる。というのは、このトルクは主に粒子濃度の水平勾配に依存しているので、粒子が中心軸に集中しているノズル近傍では、トルクが大規模渦を強める向きに顕著に作用して大規模渦を発達させるが、大規模渦による粒子の著しい水平方向移流・拡散が生じて粒子濃度が一様化することにより、それより下方の領域ではトルク効果が弱くなり大規模渦構造が減衰するものと考えられる。このようなDragによるトルク効果は、粒子濃度が大きい（すなわち多粒子系の）場合により顕著になる。したがって多粒子-流体間相互作用系での混相乱流特性に関しては、二相間の相互作用力が生み出すトルク効果を介して大規模渦の発達・減衰過程が生じ、それが乱流変動と密接に関連していることが分かる。

#### 4. 結論

本研究では、鉛直二次元固液二相噴流の室内実験を行い、単相流との比較を通じて、多粒子-流体間相互干渉が卓越している混相噴流の乱流特性に関して検討した。その結果、乱れ強度やレイノルズ応力の鉛直分布特性が単相流と混相流で大きく異なり、そのメカニズムとして多粒子-流体間相互作用力によるトルク効果に起因した大規模渦構造の変化が重要であることが明らかになった。

#### <参考文献>

- 1) 灘岡・八木・二瓶：乱流シンポジウム、Vol.25、1993、
- 2) 灘岡・二瓶・八木：土木学会論文集、No.533/II-34、1996、
- 3) 二瓶・灘岡・八木：海岸工学論文集、第42巻、1995、
- 4) 二瓶・灘岡：水工学論文集、第40巻、1996、
- 5) Gore & Crowe: Int. J. Multiphase Flow、1989、
- 6) Hinze: Heat and Mass Transfer、Vol.6、1972

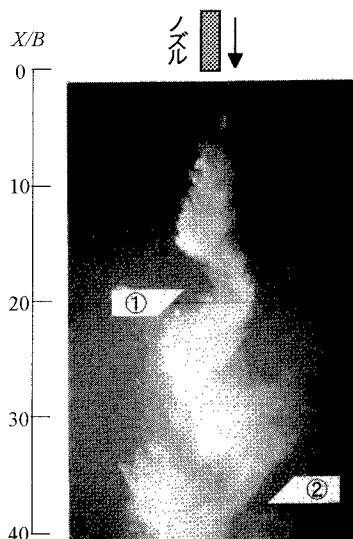


写真-1 大規模渦構造の可視化写真