

湖沼に流入する濁水の混合過程に関する解析

水工学研究室 小川 直也

指導教官 細山田 得三

1. はじめに

洪水時に河川流域から生産される多量の微細砂 (200 μm) を含む濁水が成層した貯水池に流入すると、密度躍層に到達した濁水はそれ自身の密度分布と貯水池水の密度分布の相対的な関係により、流入濁水の一部またはすべてが躍層界面に沿って水平に向きを変えて、楔状に貫入する。これを中層密度流と呼ぶ。(図1) 中層密度流は、濁水長期化の主たる原因として挙げられ、下流水域の環境問題や堆砂問題と密接に関係している。中層密度流の流動特性を明確にすることにより、このような問題に対して効果的な対策を講じることが期待できる。

これまで中層密度流の研究は実験的、理論的研究、及び数値解析など盛んに行なわれてきているが、室内実験においてPIV計測が取り入れられた事例はなかった。

2. PIV計測

PIV計測とは、トレーサ粒子などのマーカを流れ場に挿入し、照明装置、カメラなどの撮影装置で流れ場を可視化、その可視化画像をコンピュータなどの記録・解析装置で解析し速度と方向を算出する技術である。

これまでPIV計測事例がまだなかった理由は、著者が推測するに、中層密度流におけるPIV計測の困難さにあると考えられる。室内実験で密度成層を作製するにはどうしても時間が約1~2時間程度かかってしまう。そのため、トレーサ粒子が沈降、または上昇し、トレーサ粒子が流れ場に均等に散布された可視化画像を撮影できない。そこで本研究では、上・中・下層それぞれの密度をトレーサ粒子の密度と合わせることにより、トレーサ粒子の沈降・上昇の影響を少なくし、PIV計測に理想的な可視化画像が撮影でき

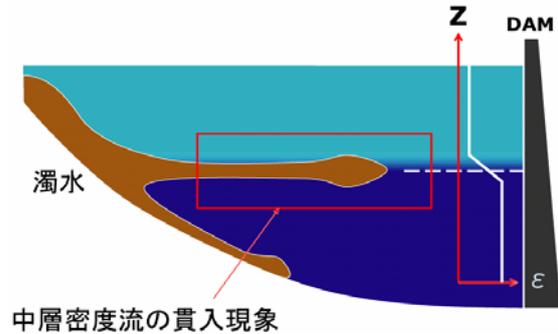


図1 ダム貯水池模式図

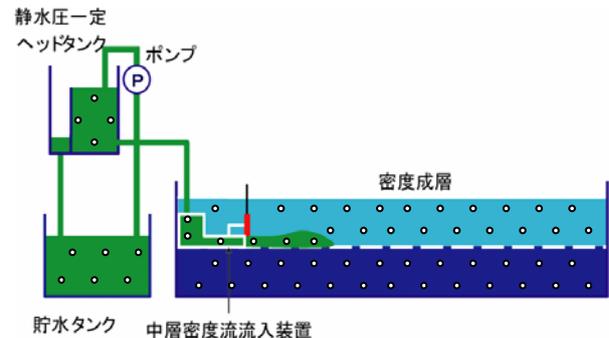


図2 室内実験模式図

るのではないかと考えた。PIV計測が可能ならば、流れ場の流速ベクトルが測定でき、中層密度流のメカニズムを解明する上で有効な研究手段となると考えられる。

3. 研究目的

本研究は、貯水池内を単純化した室内実験を行い中層密度流現象におけるPIV計測を行なうことを主な目的とする。また、PIV計測結果を応用し、本研究室の既往の数値計算プログラムの検証、及び混合の強さに関する理論的検討もあわせて行い、PIV計測の有効性を確認する。

4. 室内実験について

実験水路は図2に示すような幅400cm、高さ60cm、奥行き15cmの亚克力製の水槽である。密度流流出部には高さ4.0cm、幅13.6cmのゲート開閉式の亚克力

ル製の箱を用いた。水槽から30cmの位置にデジタルビデオカメラを固定し、25cmの位置から40cmの位置までを撮影できるようにする。撮影時間は、流入を始めてから60秒間とする。トレーサ粒子にはナイロン12粒子(密度1.01, 粒径100~150 μm), ダイヤイオン粒子(密度1.02, 粒径250~700 μm), オルガソル粒子(密度1.03, 粒径50~100 μm)を用いた。トレーサ粒子と上・中・下層の密度をそれぞれ塩分によって同一にするとともにトレーサ粒子を挿入し、中層密度流を発生させた。撮影された映像から画像解析ソフト(FLow-PIV)を用いて計測を行なった。撮影された画像の一枚とPIV計測結果を重ねたものを図3に示す。中層密度流においてもPIV計測は可能であることが確認された。

5. 結果・考察

PIV計測結果と、数値計算結果を比較した。数値計算にはSOLAアルゴリズムを用いられた。撮影画像を図3に、そしてPIV計測の様子を図4に示す。その内の中層密度流内部一点での比較結果を図5に示す。PIV計測値の増減の激しさは乱流によるものと考えられる。計算値はPIV計測値の平均的な値を通過する形となり、内部流速の時間変化に関してはかなり正確に対応した。しかし、他点では計算値の逆流の流速が小さいことや、層厚のずれによるものと考えられる値の不一致などが確認され、プログラムの改善の余地がみられた。

また、理論的な検討として各点での乱流の度合いを表すレイノルズ応力によって、PIV計測結果の整理を行なった。レイノルズ応力が大きいと混合が激しくなるものと考えられる。計測点の位置と計測値のレイノルズ応力の関係を表したものを図6に示す。速度変化の勾配が大きい、上~中層と中~下層の遷移面でレイノルズ応力が大きくなり、混合が激しい結果となった。

6. 結論

中層密度流においてPIV計測を試み、測定結果から

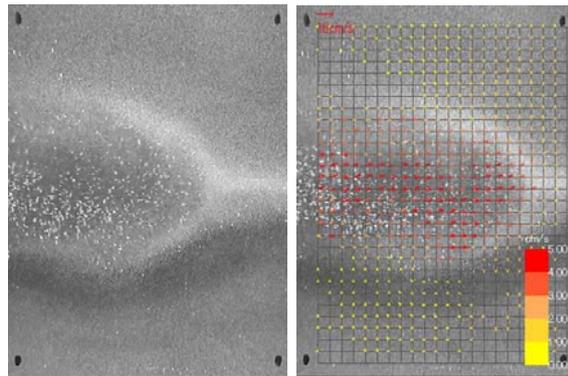


図3 撮影画像

図4 PIV計測

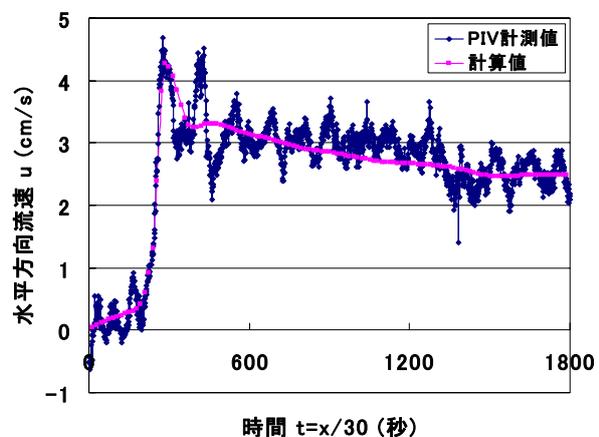


図5 PIV計測値と計算値の比較

数値計算との比較や理論的検討を行なった。数値計算との比較では数値計算プログラムの改善の余地がみられ、理論的検討により混合に関する新たな知見が得られ、中層密度流におけるPIV計測手法の有効性を確認できた。

ただ、今回のPIV計測は計測範囲が15×10cmと狭く、またトレーサ粒子との関係上、実験条件を1ケースのみにせざるを得なかった。高解像度のカメラの導入や、トレーサ粒子の種類の充実をはかれば、中層密度流の流動特性解明にさらに有効な研究となると考えられる。

7. 参考文献

増戸 洋幸:k- ϵ 乱流モデルを用いた中層密度流の解析(2007)長岡技術科学大学大学院