

早稲田大学理工学部 学生員 丹 羽 克 彦

早稲田大学理工学部 学生員 高 岡 達 也 , 中 嶋 学

早稲田大学理工学部 正会員 吉 川 秀 夫 , 関 根 正 人

1. はじめに

近年、都市河川において、河床にヘドロをはじめとした物質が堆積し、環境上の問題や河川の通水能力が低下するなどの問題が生じている。筆者らは、このような問題に一つの解決策を与えるため、河道内に底面より圧搾空気を注入し、強制的に二次流を発生させることによって、河床構成材料を河道中央部に移送させ、その結果として、これらを効率的に流送させることを目的とした一連の研究を進めており、本論では、気泡上昇を伴う流れの内部構造、特に、二次流の特性、主流速分布およびせん断力分布特性について詳細な検討を行い、いくつかの基礎的知見を得たので、若干の考察を加えて報告するものである。

2. 実験の概要

実験には、全長 650cm、幅 20 cm、高さ 40cm のアクリル製長方形断面開水路を使用した。水路中央底面上には、縦断方向に、外径 16mm のパイプを設置し、5cm 間隔でこのパイプにあけた内径 0.1mm の孔を通じて流水中に空気を注入した。実測は、流速およびせん断力測定を中心に行っている。流速については、主に直径 3mm のプロペラ流速計を使用し、また、水路中央部を除いて、2チャンネルのX型ホットフィルムを用いて、三次元の乱流計測も行っている。次に、せん断力の測定に当たっては、直径 1mm、内外径比 0.6 のピトー管を用い、プレストンの方法によって、底面および側面のせん断力を測定した。なお、同一の水理条件下で空気を注入しない通常の開水路流れについての同様の測定を行い、空気を注入することによる影響を明らかにしている。

3. 気泡上昇を伴う流れの内部構造

3.1 主流速分布特性

気泡上昇に伴い生じる流れの主流速分布の変化を表わしたのが図- 1, 2 である。ここでは、座標軸を、流下方向に x 、 u 、水路中央から側壁方向に y 、 w 、底面より鉛直方向に z 、 v としている。図- 1 は主流速の等値線図を示したものである。また、図- 2 は、分布の変化傾向を調べるために、2通りの注入空気量に対して得られた流速分布と、空気を注入しない場合の分布との差をとって描いた等流速差線図である。これより、主流速が水路中央部で減速、側壁付近で加速され、断面内の主流速が気泡の注入により一様化していることがわかる。これは、断面内に生じている二次流のため、水路中央部の高速流体塊が比較的低速の側壁および底面付近に運ばれ、逆に、水路中央部付近に低速流体塊が運ばれ、といった運動量交換が生じているためと推察される。

3.2 流水中の二次流の特性

図- 3, 4 は、ホットフィルムにより計測した二次流成分のベクトル図および V と W の等流速差線図である。これより、水路中央部では気泡上昇に伴い上昇流が、側壁付近では下降流がそれぞれ生じ、また、水面付近では水路中央部から側壁に向かう流れが、底面付近ではその逆の流れが生じていることがわかる。このような二次流が形成されるのは、注入された空気が上昇することにより失うポテンシャル・エネルギー E_{pa} が流体の運動エネルギー E_{kw} に変換されるためと考えられる。なお、参考までに、静水状態で同様の実験を行った結果として、両者の比 E_{kw}/E_{pa} が 0.7 程度となり、気泡が失うポテンシャル・エネルギーの大半が流体に供給され、流体全体がもつ運動エネルギーに変換されていることがわかる。また、図- 1, 3より、二次

表 -1 流水中での実験条件

CASE	流量 (l/sec)	空気量 (ml/s)	水深 (cm)	水面勾配
1	4.98	0.00	3.93	1/374
		9.59	4.03	1/330
		25.0	4.12	1/333
2	16.8	0.00	8.52	1/362
		9.59	8.63	1/235
		25.0	8.77	1/246

流ベクトルの大きさが最大主流速の 20 % にまで達していることがわかり、空気を注入しない場合の値が 5 % 以下であることを考慮すると、空気を注入することにより、土砂を水路中央部へ移動させるのに有効であることがわかる。

3.3 流れの乱流特性

上記のホットフィルムによる乱流計測の結果として得られたレイノルズ応力の等値線図を、図- 5 に示した。これより、 $-\overline{u'v'}$ 、 $-\overline{u'w'}$ のいずれについても、 $y=8$ (cm) 付近で大きな値をとる分布となっていることがわかる（なお、水路中央部については実測することができなかったが、ここではさらに大きな値となるものと考えられる）。また、乱れ強度については、水路中央部に近いほど大きな値となるほか、水面付近でもその値があまり減衰しないことを確認している。

3.4 底面および側面せん断力の分布特性

主流速分布や流れの乱流構造が変化することに伴う、底面および側面せん断力分布の変化を調べたのが図- 6 である。これより、二次流が底面あるいは側面にぶつかる位置付近で、それぞれのせん断力が最大値をとることがわかる（図- 3 参照）ほか、底面せん断力が最大となる位置では、レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ もひとつのピークをとることがわかる（図- 5 参照）。

4. おわりに

本論では、固定床上の流れの内部機構について詳細な検討を加え、筆者らが別途行っている移動床実験の場合に得られた『空気注入量の増大に伴い流砂量が増加する』という結果に、定性的ながら説明付けをすることができたと思う。

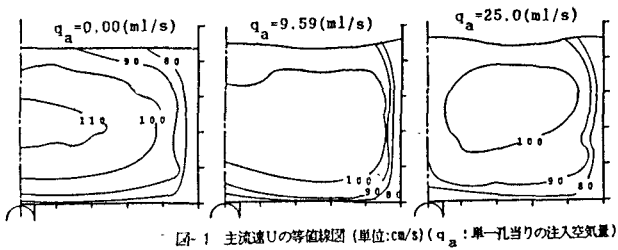


図- 1 主流速Uの等値線図 (単位:cm/s) (q_a : 単一孔当りの注入空気量)

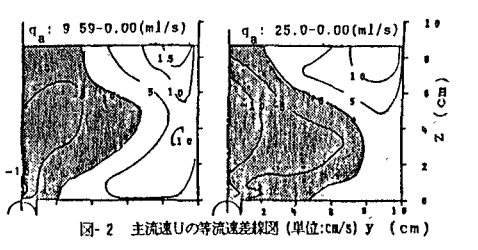


図- 2 主流速Uの等流差線図 (単位:cm/s) y (cm)

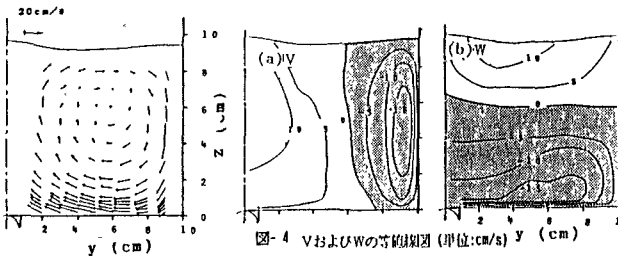


図- 3 二次流ベクトル図

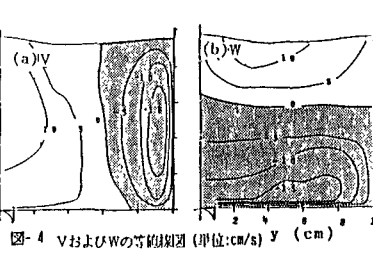


図- 4 VおよびWの等値線図 (単位:cm/s) y (cm)

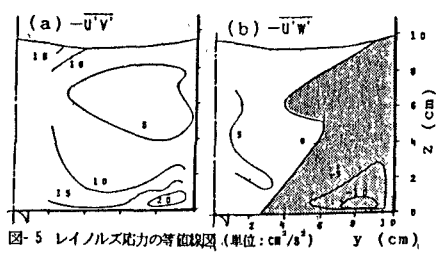


図- 5 レイノルズ応力の等値線図 (単位: cm^2/s^2) y (cm), z (cm)

〔参考文献〕

関根・吉川：流水中の気泡上昇に伴う流砂量の増加に関する研究，
第 32 回水理講演会，1988。

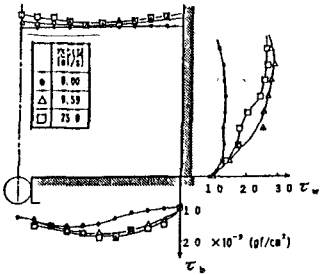


図- 6 せん断力分布図