

粘性の違いが開水路の流れ構造に与える影響

豊田工業高等専門学校 学生会員 ○小笠原 大城
豊田工業高等専門学校 正会員 田中 貴幸

1. 研究背景および目的

近年多発する洪水氾濫被害を受け、事前の洪水解析の精度向上が求められている。しかし、そのほとんどが清水を取り扱っており、土砂を多く含む洪水流を対象とした研究はあまり見られない。その中で、大本ら¹⁾は高濃度土砂流を対象に、カオリン懸濁液や PSA（ポリアクリル酸ソーダ）水溶液を用いて高濃度土砂流の抵抗や流れの解析を行っている。しかし、これらの研究は主に黄河のような高濃度流を対象としている。

そこで、本研究では、粘性を有する流体として PSA 水溶液を用い、粘性の違いが開水路の流れ構造に与える影響を解析する。

2. 実験概要

粘度の測定には Fungilab 社製の粘度計 Voscolead Advance を用いた。PSA 水溶液は、150mg/l～700mg/l の 7 つの濃度を対象とした。ここで、PSA と実河川の粘度を比較するために豊川河口付近か

ら実河川のサンプルを採水した。粘性実験は室温 26.0℃の下、液体の温度 26.0℃で行った。

PSA 水溶液における開水路実験条件を表-1 に示す。長さ 10m, 幅 0.4m, 高さ 0.25m の開水路にて清水および 150mg/l, 200mg/l, 400mg/l, 700mg/l の 4 つの濃度を対象に、流量 $Q=3.0\text{l/s}$ の下で実験を行った。流速計測に PIV 法を用いた。座標系は、水路中央底面を原点とし、流下方向を x 軸、鉛直方向を z 軸とし、それぞれに対応した流速変動成分を u, w とした。

3. 粘性実験の結果

図-1 は PSA 水溶液と実河川におけるサンプルの各体積濃度におけるせん断速度とせん断応力の関係を示したものである。ここで、実河川のサンプルにおいてせん断速度が小さい場合は土砂が沈殿してしまい、体積濃度が一定に保たれないため正確な計測が行えなかった。PSA 水溶液は高濃度土砂流と同様に、せん断応力は体積濃度に依存し、同一せん断速度において体積濃度の増大に応じて増加傾向を示している。

図-2 は PSA 水溶液の各体積濃度におけるせん断速度と粘性係数の関係を示したものである。粘性係数は清水の粘性係数により無次元化した。粘性係数はせん断速度の増加に伴い低下傾向を示し、体積濃度の増加により上昇傾向にある。また、今回のサンプルは 200mg/l より小さい濃度であるこ

表-1 開水路実験条件

濃度 (mg/l)	流量 $Q(\text{l/s})$	水路勾配 I_0	水深 $H(\text{cm})$	断面 平均流速 (cm/s)	フルード数 Fr
0 (water)	3.0	1/1000	2.41	31.1	0.64
150	3.0	1/1000	2.45	30.6	0.62
200	3.0	1/1000	2.79	26.9	0.51
400	3.0	1/1000	3.84	19.5	0.32
700	3.0	1/1000	4.95	15.2	0.22

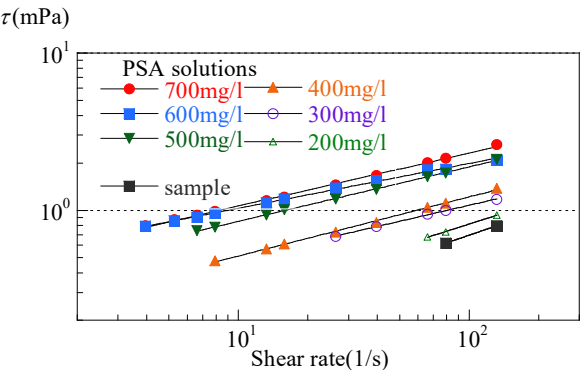


図-1 せん断速度とせん断応力

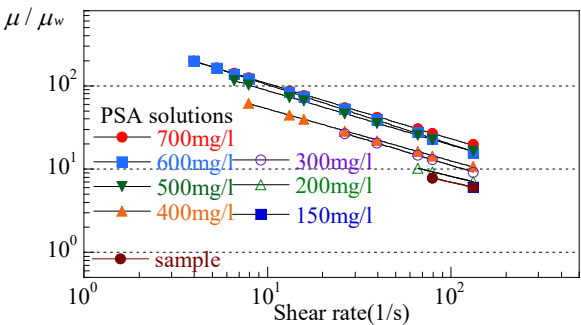


図-2 せん断速度と粘性係数

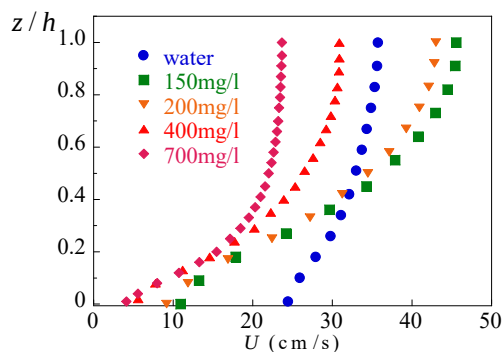


図-3 主流速分布

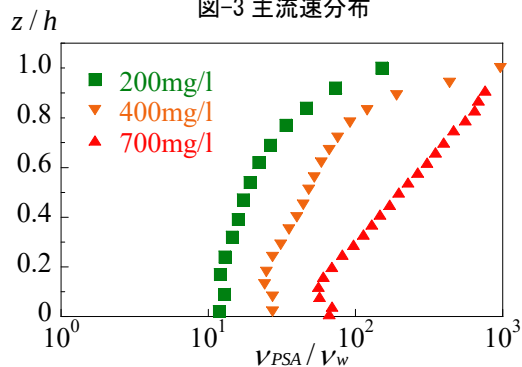


図-5 動粘性係数分布

とが明らかになった。以上より、高濃度土砂流は非ニュートン流体特性を持ち、体積濃度の増大に伴いその非ニュートン流体特性は顕著になることが明らかになった。

4. 開水路実験の結果

図-3 に主流速の鉛直分布を示す。400mg/l, 700mg/l においては清水流と大きく異なり、主流速は底面近傍で抑えられ、なだらかな曲線分布をとる。主流速の空間分布が大きく異なることの主因として、運動量の輸送形態が大きく変化したことが考えられる。しかし、150mg/l, 200mg/l では、水面付近において清水よりも大きな流速を示すことが明らかになった。この要因としては、清水と同程度の水深を示す中で、粘性が高くなることで底面付近の流速が大きく抑えられ、それにより境界層の領域が大きくなったためだと考えられる。

図-4 にせん断速度 dU/dz の鉛直分布を示す。150mg/l, 200mg/l, 400mg/l, 700mg/l のせん断速度は、その鉛直分布が相似であり、PSA 水溶液濃度の増加に伴って系統的に減少している。

図-5 に清水により無次元化した動粘性係数の鉛直分布を示す。動粘性係数はせん断速度の大きさ

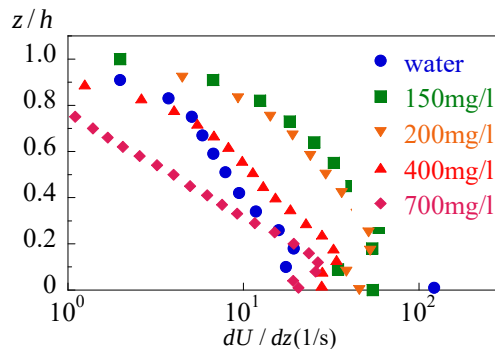
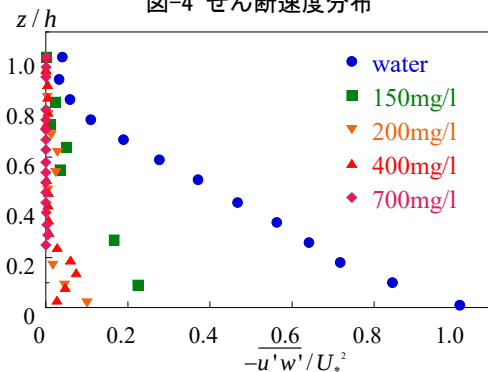


図-4 せん断速度分布

図-6 レイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ 分布

に対応して底面近傍で最小値、水面付近で最大値を示し、底面付近では PSA 水溶液の濃度の増加に伴いその値が大きくなる傾向を示す。

図-6 はレイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ の鉛直分布を示す。全体的には、 $-\overline{u'w'}$ は濃度の増大に伴い減少する傾向を示す。400mg/l, 700mg/l において鉛直方向に変化は小さく、 $-\overline{u'w'}$ はほぼゼロに近い値を示す。これは河床近傍の流れ場が高濃度により層流化されたことによるものだと考えられる。

5. まとめ

本研究では、PSA 水溶液の粘性特性およびその開水路流れについて実験的に検討した。これにより、PSA 水溶液濃度の違いによる粘性特性を把握し、開水路流れにおける流れ構造を把握した。

【参考文献】

- 1) 大本照憲, 崔志英, 柿原ゆり: 高濃度土砂流の抵抗特性について, 応用力学論文集, Vol.7, pp.979-986, 2004.
- 2) 崔志英, 大本照憲, 古賀聖: 非ニュートン流体特性を有する高濃度土砂流の抵抗特性, 応用力学論文集, Vol.9, pp.883-892, 2006.