

橋脚を有する高濃度流の流動機構

豊田工業高等専門学校 学生会員 ○原田 龍希
 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

令和2年7月豪雨のように、大型台風や集中豪雨による被害が毎年のように発生している。しかし、これまで行われた洪水解析ではほとんどが清流を取り扱った研究であり、土砂が多く含まれた高濃度流を対象とした研究は少ない。

高濃度流に関する既往研究として、小笠原¹⁾らはPSA水溶液を用い、粘性を変化させて開水路流の流動解析を行った。一方、高濃度流において様々な境界条件を有する流況解析も行われており、大本²⁾らは角柱粗度を有する開水路流れにおいて高濃度流の流動解析を行った。しかし、河道内に設置された橋脚を対象とした高濃度流の流動解析は検討がなされていない。

そこで本研究では、高濃度流における橋脚を有する開水路流の流れ構造について実験により解析を行う。

2. 粘性特性に関する実験

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100~700 mg/lの10個の濃度を対象とするとともに、豊川、木曾川および庄内川の下流付近から実河川のサンプルを採水した。またサンプルの温度を26℃で実験を行った。

図-1は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を示している。この結果より、高濃度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特性は顕著になることが判明した。よって本研究においても、PSA水溶液を用いた開水路流れは、粘性を有

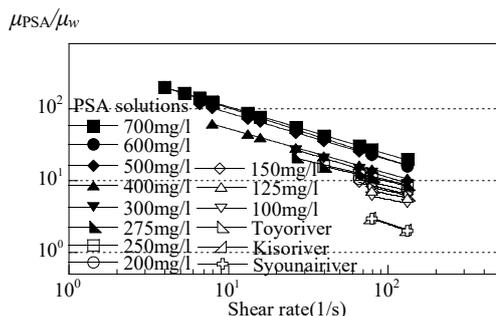


図-1 せん断速度と粘性係数の関係

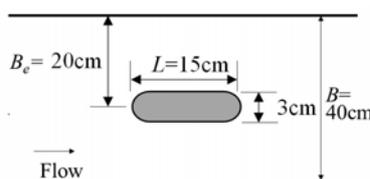


図-2 水路実験概要図

した流体の開水路流れを模擬し得ることを確認した。

3. 橋脚を有する開水路流れの実験条件

実験は全長10m、幅 $B=40\text{cm}$ 、高さ25cmからなる循環式可変勾配水路を用いて行う。小判型で横幅3cm、流下方向長さ $L=15\text{cm}$ 、高さ15cmのポリ塩化ビニル製の橋脚模型を使用する。橋脚を図-2のように設置して流動解析を行う。実験条件を表-1に示す。水深の計測には、ポイントゲージを使用し、流速は空冷式可視化光源(出力2W)を用いたPIV法により計測した。パルス間隔は2ms、サンプリング周波数は25Hz、撮影時間は60sとした。トレーサーには粒径63~150 μm 、比重1.01のダイヤイオンHP20SSを使用した。

4. 開水路実験の結果

図-3に体積濃度0mg/lおよび400mg/lに着目した半水深における水平面の横断方向流速 V の等値線および流線分布を示す。いずれのケースにおいても橋脚上流付近において迂回流が、橋脚下流付近では水路中央に向かう流れが発生している。0mg/lにおいては橋脚中央 $x/L=0.5$ 付近にて剥離流の影響が $y/B_e=0.4$ 付近まで強く現れているものの、400mg/lにおいてはその影響が粘性により小さくなっている様子が伺える。

図-4に横断方向のレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ 分布を示す。400mg/lでは0mg/lに比べレイノルズ応力が極端に抑えられており、最も大きな値を示した橋脚前面付近においては約1/20の値しか示さなかった。また、0mg/lにおける橋脚中央付近の剥離流による負のレイノルズ応力も400mg/lでは発生していない。

表-1 実験条件

濃度 (mg/l)	流量 Q (l/s)	水路勾配 I	水深 H (cm)	断面平均流速 U_m (cm/s)	フルード数 Fr
0 (water)	3.0	1/1000	2.41	31.1	0.64
200			2.79	26.9	0.51
400			3.84	19.5	0.32
700			4.95	15.2	0.22

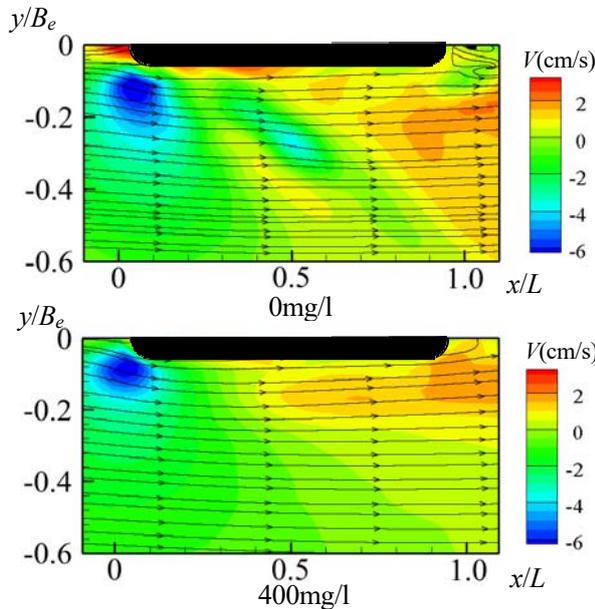


図-3 水平面における横断方向流速の等値線及

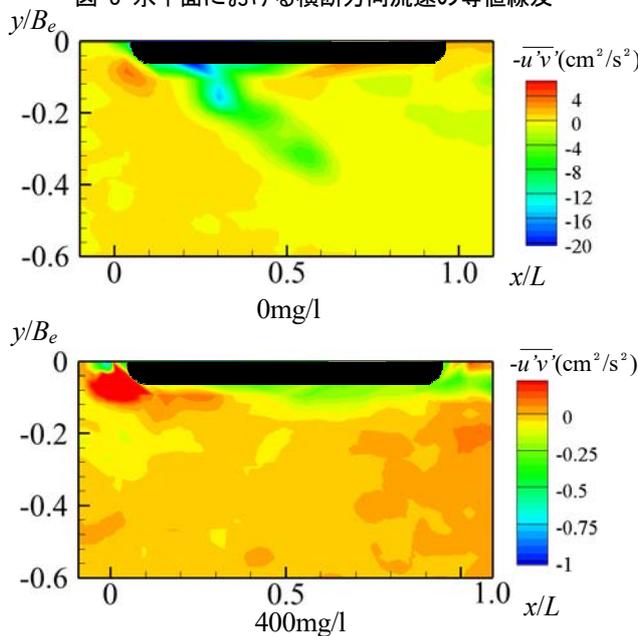


図-4 水平面における横断方向のレイノルズ応力

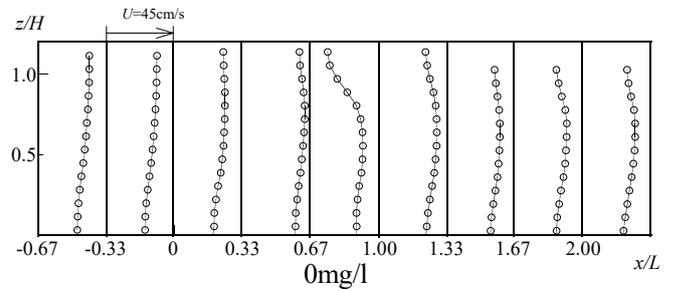


図-5 縦断面における主流速分布

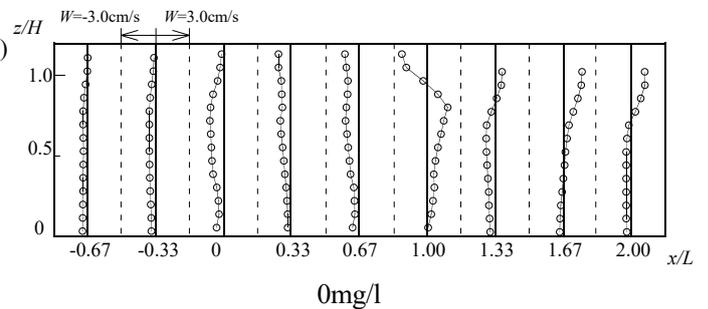
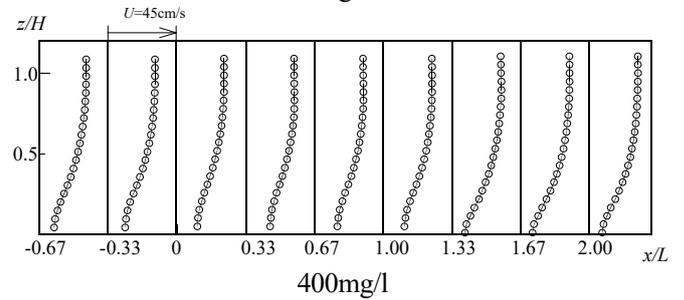


図-6 縦断面における鉛直方向流速分布

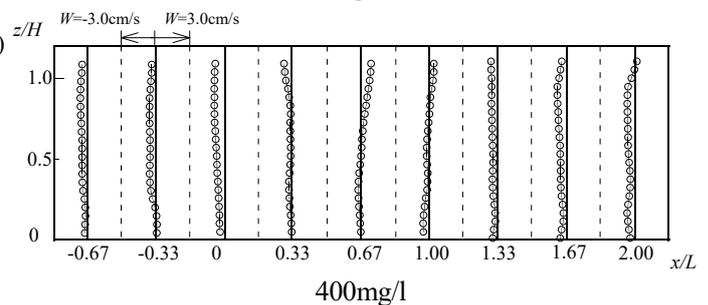


図-5, 6 に $y/B_e=0.325$ の縦断面における主流速 U および鉛直方向流速 W の分布を示す. 主流速について, 0mg/l では $x/L=0\sim 1.0$ では鉛直方向に同程度の値を示しているが, 400 mg/l では半水深以下で流速が底面に向かうほど小さな値を示している. これにより, 検討した縦断面では, 400 mg/l のケースでは橋脚の影響をほとんど受けていないことが認められる. 鉛直方向流速についても同様に, 0mg/l では $x/L=1.0\sim 2.0$ において橋脚の影響により上昇流を示し, その値は特に半水深以上で大きくなることが認められるものの, 400mg/l では比較的小きな値を示している.

これらにより, 粘性の効果により河道内に設置された橋脚が流速分布や乱れ特性に与える影響を大きく抑えることが明らかになった.

5. まとめ

本研究では, 高濃度流における橋脚を有する開水路流の流れ構造について実験的に解析した. これにより, 粘性の違いが河道内橋脚を有する流速分布や乱れ特性に与える影響について明らかにした.

【参考文献】

- 1) 小笠原大城, 田中貴幸: 粘性の違いが開水路の流れ構造に与える影響, 平成 29 年度 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.115-116, 2018.
- 2) 大本照憲, 西将吾: 三次元角柱粗度を有する開水路流れにおいて高濃度土砂が抵抗特性および流動機構に与える影響, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.4, I_697-I_702, 2018.