

流体粘性の違いが橋脚を有する開水路流の流動機構に与える影響

豊田工業高等専門学校 学生会員 ○筒井 駿
豊田工業高等専門学校 正会員 田中 貴幸
豊田工業高等専門学校 学生会員 原田 龍希

1. 研究背景および目的

河道内における橋脚は流水に対し障害物として働くことから、局所的河床洗堀による橋脚の安定性の低下や流木等の漂流物が堆積することで水位上昇を引き起こすなど、様々な災害の要因となる恐れがある。そのため、橋脚を有する流れに関しては従来から流動機構に関する様々な研究が行われている。Shen ら¹⁾は橋脚周辺の流れにおいて、馬蹄形渦、剥離渦、後流渦の存在について明らかにした。崔ら²⁾は、高分子剤を用いて粘性土石流や黄河などの河川流を再現し、その流動機構について詳細に検討している。

これらの研究成果を参考に、本研究においても PSA 水溶液を用い、橋脚を有する開水路流れにおける流体粘性の違いが平均流特性や運動量輸送特性といった流れ構造に与える影響について実験的に解析を行う。本研究では研究の初期段階として固定床を対象に流動機構の把握を試みる。

2. 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-1 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

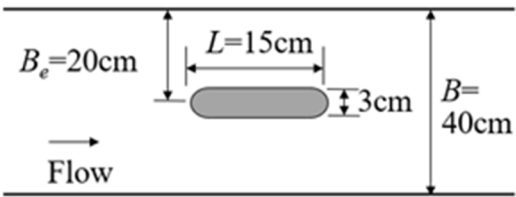


図-1 実験水路概要

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。

3. 実験結果

図-2 に体積濃度 0mg/l、200mg/l、400mg/l、700mg/l の濃度を対象に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 においてはその他のケースに比べ橋脚中央 $x/L=0.5$ 付近にて $y/B_e=-0.4$ 付近まで橋脚から離れる方向の横断方向流速が強く現れている。これは迂回流および橋脚前面に発生する下降流などによって生じる二次流といった三次元的な流れの影響によるものだと考えられる。 $x/L=0.7$ 以降では水路中央に向かう流れが横断方向に大きく広がり、橋脚下流端の $x/L=1.0$ 以降では $y/B_e=-0.6$ 以上にも影響が出ている。200mg/l よりも濃度が上がっていくと横断方向の橋脚の影響は小さくなっていき、700mg/l では $y/B_e=-0.2$ 以上において橋脚が横断方向流速に与える影響はほとんど見られなくなる。これは粘性が高まることで乱れ構造や運動量輸送形態が大きく変化した影響によるものだと考えられる。 $y/B_e=-0.325$ の縦断面について、図-3 に縦断面における移流による運動量輸送を、図-4 に縦断面における乱れによる運動量輸送を示す。移流による運動量輸送について、0mg/l では 400mg/l に比べ運動量輸送量の極値が大きな値を示す傾向が伺える。 $x/L=0\sim 0.67$ では $z/H=0.5$

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

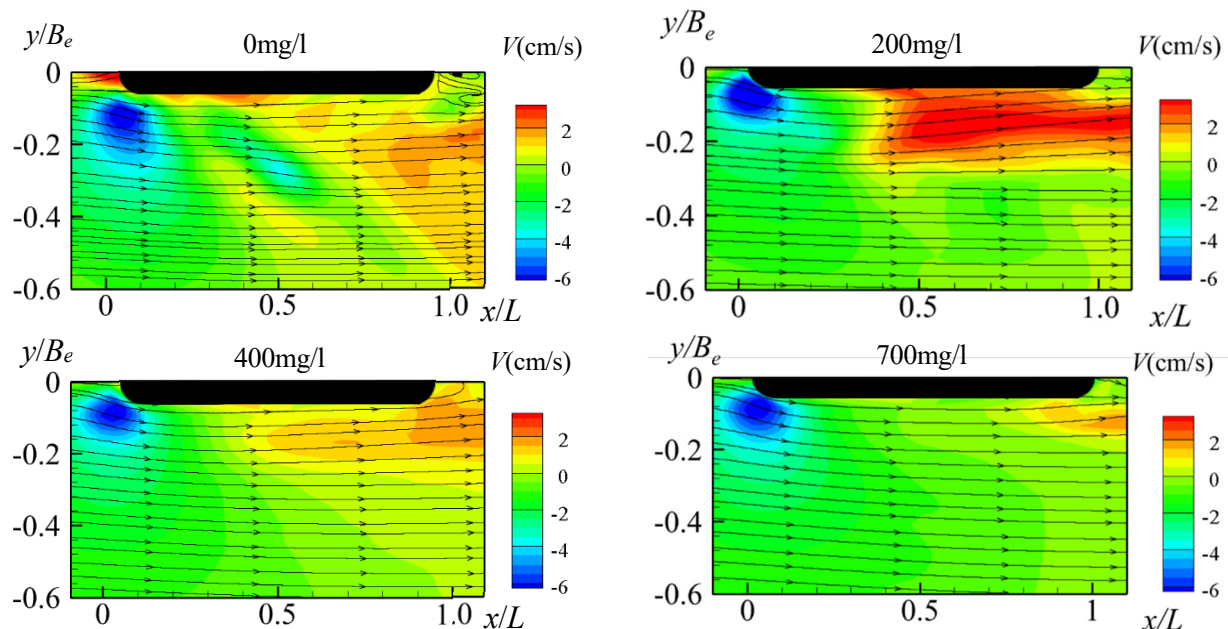


図-2 水平面における横断方向流速の等値線及び流線

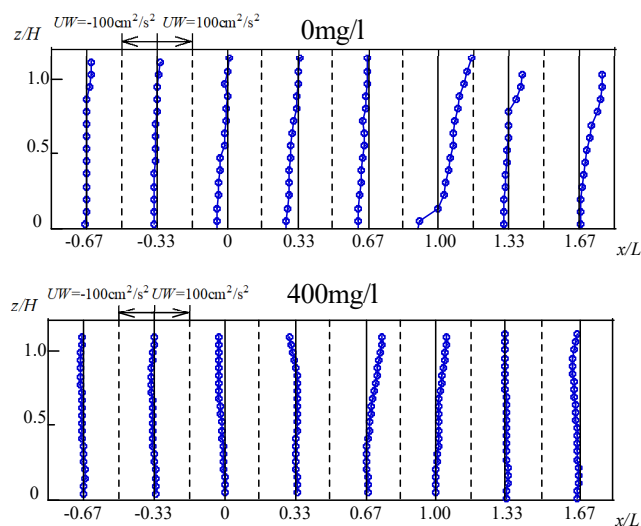


図-3 縦断面における移流による運動量輸送分布

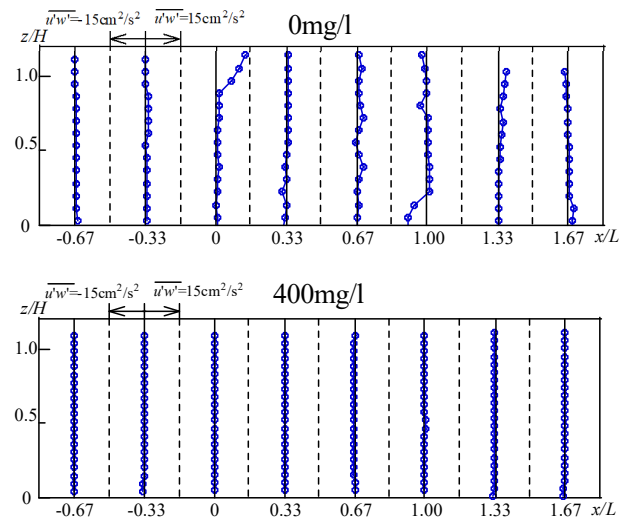


図-4 縦断面における乱れによる運動量輸送分布

以下において運動量は底面方向へ運ばれており底面近傍で極大値を示している。水路下流端である $x/L=1.00$ では底面および水面付近で正負の極大値を示しており、橋脚の影響により運動量輸送が活発となることが確認できる。400mg/l では $x/L=0.67$ および 1.00 水面付近の位置で運動量輸送量は正の値極大値を示すものの、その他の位置では運動量輸送量は抑えられていることが認められる。

乱れによる運動量輸送量について、移流による運動量輸送量に比べ極端に小さな値を示していることが確認できる。0mg/l では移流に比べ乱れによる運動量輸送量の極値は 15%程度、400mg/l ではわずか 1%程度に抑えられている。これにより、本実験条件においては乱れに比べ移流による運動量輸送が卓越し、粘性が高まることで乱れによる運動量輸送量は極端に抑えられ

ることが明らかになった。

4. まとめ

本研究では、橋脚を有する開水路流れにおいて、PSA 水溶液を用いて流体粘性を変化させた場合の流動機構について実験により解析した。これにより、流体粘性の違いが平均流特性や運動量輸送特性に与える影響について明らかにした。

【参考文献】

- 1) Shen, H. W. V.R. Schneider and S. Karaki: Local scour around bridge piers, *Proc.ASCE*, Vol.95, No.HY6, pp.1919-1940, 1969.
- 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.