

様々な柱状物体を有する開水路の流れ構造解析

豊田工業高等専門学校 学生会員 ○市菌 泰寿, 筒井 駿
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

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、橋脚の安定性の低下や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。また、豪雨時には土砂崩壊などにより河道内に大量の土砂が流れ込み、微細な土砂を多く含む流れが発生する恐れがある。そこで、田中ら¹⁾は小判型の橋脚を有する開水路流れにおける流体粘性変化時の平均流特性や流れ特性、運動量輸送量について解析した。しかし、粘性を有する状態では、小判型以外の柱状物体形状については解析がなされていない。そこで本研究では、様々な形状の柱状物体を有する開水路流れにおいて、粘性を変化させたときの流れの抵抗特性や流動機構について実験的に解析を行う。

2. 柱状模型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。実験に用いる柱状物体の模型を表-1 に示す。柱状物体はポリ塩化ビニル製であり、高さはいずれも 15cm である。図-1 のように柱状物体模型は水路上流端から先端を 550cm の位置に、横断方向における水路中央にて設置した。座標系は模型上流側先端の水路中央底面を原点とし、流下方向に x 軸、横断方向に y 軸、鉛直方向に z 軸をとり右手系とする。また、それぞれの流速成分を u, v, w , 平均値を U, V, W , 変動成分を u', v', w' と表す。

表-1 柱状物体模型

円柱	正三角柱	正四角柱	菱形柱	逆正三角柱
case 1	case 2	case 3	case 4	case 5

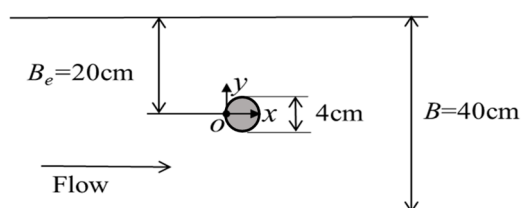


図-1 水路実験概要図

実験条件を表-2 に示す。断面平均流速 U_m は橋脚を設置しない状態での擬似等流場における水深を用いて算出している。粘性は PSA 水溶液を用いて変化させ、濃度は 0mg/l , 400mg/l を対象とする。流速の計測に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。シート光の厚さ 2mm, パルス間隔 2ms, 流速のサンプリング周波数は 25Hz, 撮影時間は 60s とした。トレーサーは粒径 $63\sim 150\mu\text{m}$, 比重 1.01 のダイヤモンド HP20SS を使用した。

3. 実験結果

(1) 水平面における横断方向流速および流線

図-3 および 4 に各粘性での case 1, 2, 3 に注目した、水平面における横断方向流速の等値線および流線を示す。図-3 において、いずれのケースにおいても模型先端に流体が接触した後に迂回流が発生し、図-4 と比べても右岸側に向かう流速が大きな値を示している。粘性が高まると、特に Case 2, 3 では $x/L=2$ における剥離流が大きく弱まる様子が確認できた。

(2) 縦断面における流下方向流速及び流線

図-5 および 6 に、各粘性での縦断面における流下方向流速の等値線及び流線を示す。模型前面において、 $x/L=0$ での水流との接触面の違いにより、主流速の分布傾向も異なる様子が伺える。また、後流部分においては、主流速が逆流を強く示す位置がケースおよび粘性ごとに異なる様子が伺える。400mg/l においては、いずれのケースにおいても $x/L=4$ の水面付近にて主流速は負の大きな値を取っており、0mg/l よりも柱状物体の影響が下流側に長い範囲で及んでいる。さらに、流線に着目すると、0mg/l においては模型前面に下降流、背後に上昇流が発生している。400mg/l においては、Case 1 では模型背後の $z/h=0.3$ 付近にて循環流が形成さ

表-2 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 (mm/s)	フルード数 F_r
0 (water)	3.0	1/1000	2.41	31.1	0.64
400			3.84	19.5	0.32

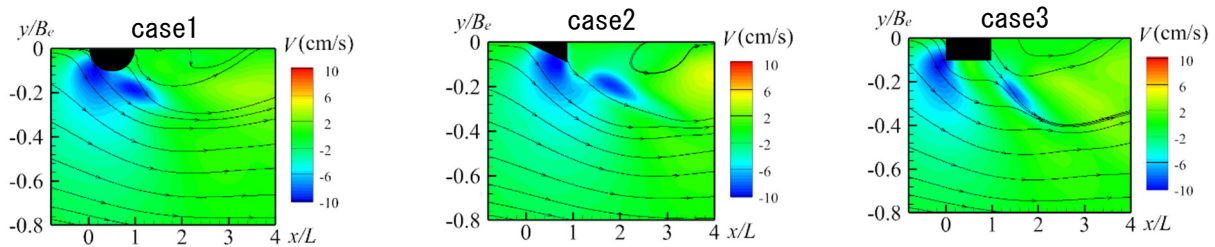


図-3 0mg/lにおける水平面での横断方向流速と流線

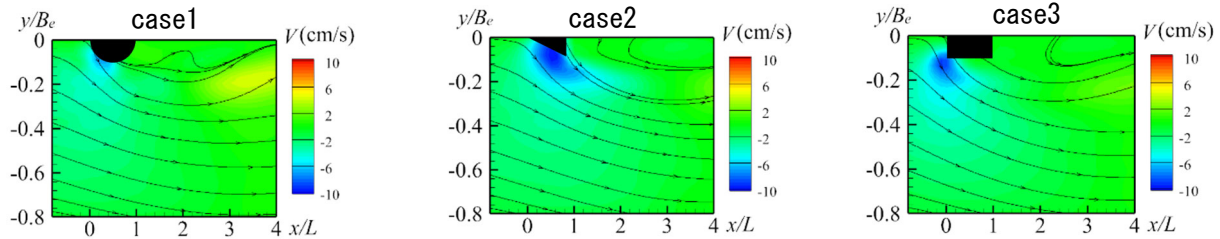


図-4 400mg/lにおける水平面での横断方向流速と流線

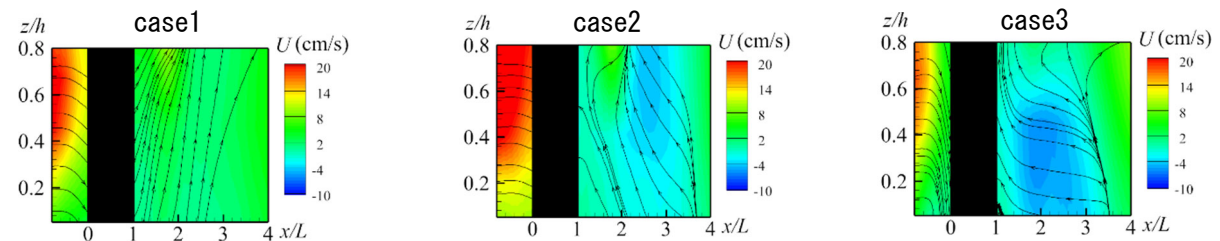


図-5 0mg/lにおける縦断面での流下方向流速と流線

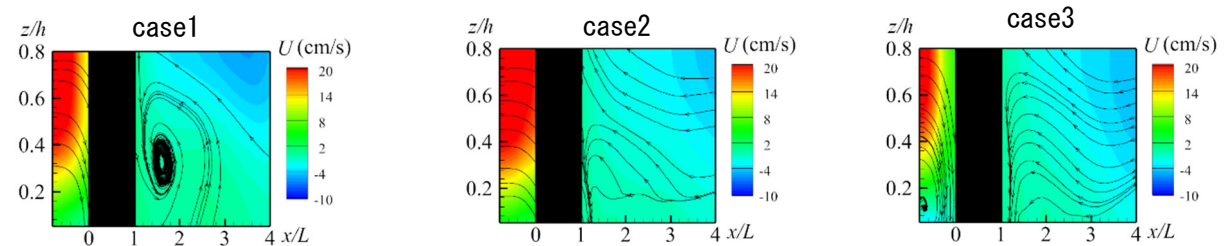


図-6 400mg/lにおける縦断面での流下方向流速と流線

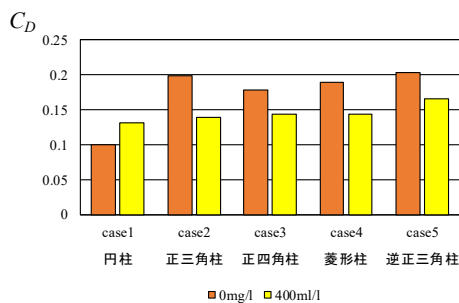


図-7 各ケースにおける形状抵抗係数

れ、その他のケースにおいても明確な循環流は見られないものの、類似の分布傾向を示すことが確認できた。

(3) 各ケースにおける形状抵抗特性

図-7に各ケースにおける形状抵抗係数を示す。形状抵抗係数 C_D を式(1)に示す。

$$C_D = \frac{2}{U_1 A} \int (U_1 - U_2) dA \quad (1)$$

ここで、 U_1 、 U_2 は $y/B_c=0$ における模型前後の接近流速、 A は物体の流れ方向に直角な面への投影面積であ

る。case1 以外では 400mg/l にて形状抵抗係数の値が小さくなった。また、いずれの粘性においても、case1 の形状抵抗係数の値が小さくなり、case5 では粘性の有無に関わらず形状抵抗係数は大きくなった。今後、流れ構造および接近流速の取り扱い等についてより詳細に解析することで形状抵抗特性を説明する必要がある。

4. まとめ

本研究では、様々な柱状物体を有する開水路流れを対象に、粘性を変化させた場合の流動機構、形状抵抗について実験により解析した。これにより、粘性が異なることで形状抵抗特性が変化することを明らかにした。

【参考文献】

1) 田中貴幸, 原田龍希, 大本照憲: 流体粘性の違いが橋脚を有する開水路流れに与える影響, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 77(No.2), Vol. 77, pp.859-864, 2021.