

側岸凹部を有する開水路流れの抵抗特性と流動機構

豊田工業高等専門学校 学生会員 ○秋田谷俊希
 豊田工業高等専門学校 正会員 田中貴幸

1. はじめに

河道側岸における凹部は、水辺環境を考慮した河川整備などで重要な役割を担っている。しかし、凹部と主流部との水交換などにより複雑な流れとなることから、洪水等に対する治水機能を向上させるために流れの抵抗特性や流動機構を解明することが重要となる。

このため、禰津ら¹⁾は単一の凹部流れにおいてアスペクト比を系統的に変化させた場合における乱流構造の変化に関して検討を行った。また、藤田ら²⁾は単一の凹部流れにおいて、凹部の奥行きを変化させることにより二次元的流れから三次元的流れに変化することを明らかにした。田中ら³⁾は、流下方向に連続的に側岸凹部を有する開水路流れにおいて、凹部の奥行きが大きく流れが二次元的となる条件下での、凹部のアスペクト比を変化させたときの流れの抵抗特性および流動機構の検討を行った。しかしながら三次元的流れの条件の下での流れの抵抗特性などの検討がされていない。

そこで、本研究では流下方向に連続的に奥行き小さい側岸凹部を有する開水路流れにおいて、凹部のアスペクト比を変化させたときの流れの抵抗特性と流動機構について検討を行う。

2. 実験装置および実験方法

実験は全長 4m, 幅 20cm, 高さ 25cm からなる循環式可変勾配水路を用いて行った。凹部は水路左岸側にステンレス板で遮断物を設置して形成した。遮断物は流下方向長さ $L_s=20\text{cm}$, 高さ $H_c=6\text{cm}$, 幅 $B_c=5\text{cm}$ に設定し、

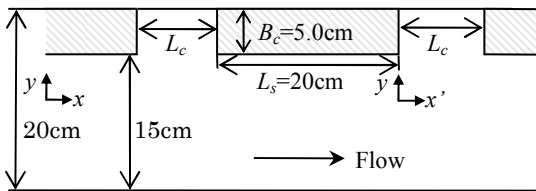


図-1 実験水路概要

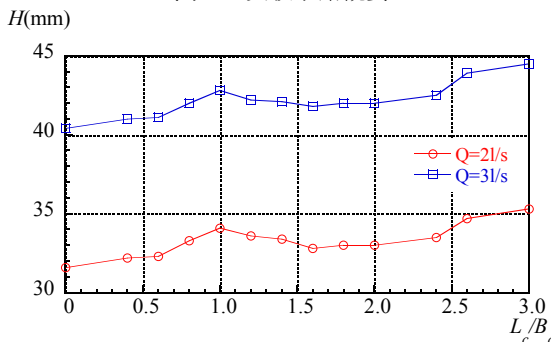


図-2 凹部のアスペクト比と水深の関係

水路上流 30cm から 360cm に渡り遮断物と凹部を図-1のように配置した。実験条件は表-1のように設定し、いずれの条件においても非越流状態を対象にしている。座標系は流下方向に x 軸、水路幅中央から左岸側に y 軸、水路床底面から鉛直に z 軸をとり右手系とする。計測は凹部開口部より行うため、凹部開口部上流先端における x を x' とした。また、それぞれの平均流速成分を U, V, W , 瞬間流速成分を u, v, w , 変動流速成分を u', v', w' とする。本実験では遮断物と凹部を交互に 360cm と長めに設置し、さらに水路下流端のせきを用い、下流端の影響を極力小さくすることで疑似等流場を形成して水深を計測した。水深の計測にはポイントゲージを用いた。流速の計測には I 型電磁流速計を用い、データのサンプリング数は 4096, サンプリング周波数は 100Hz とした。

3. 実験結果

(1) 抵抗特性

図-2 に凹部のアスペクト比と水深の関係を示す。何れの流量においても水深は、 $L_c/B_c=1.0$ で極大値を示し、 $L_c/B_c=1.6$ で極小値を示す同様の傾向を示した。

図-3 に凹部のアスペクト比と抵抗係数の関係を示す。抵抗係数は式(1)により求める。

$$C_f = 2 \left(\frac{U_*}{U_m} \right)^2 \quad (1)$$

U_* は摩擦速度、 U_m は断面平均流速を示す。流量 $Q=3\text{ l/s}$ において極大値と極小値をとったケースに注目すると、いずれも $L_c/B_c=0$ と比べ水路全体における

表-1 実験条件

凹部幅 B_c (cm)	5
凹部幅の流下方向長さとの凹部幅の比 L_c/B_c	0~3.0
遮断物の流下方向長さ L_s (cm)	20
凹部高さ H_c (cm)	6
流量 Q (l/s)	2, 3
水路勾配 I	1/500

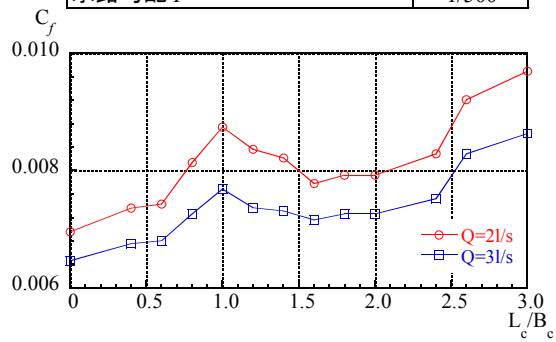


図-3 凹部のアスペクト比と抵抗係数の関係

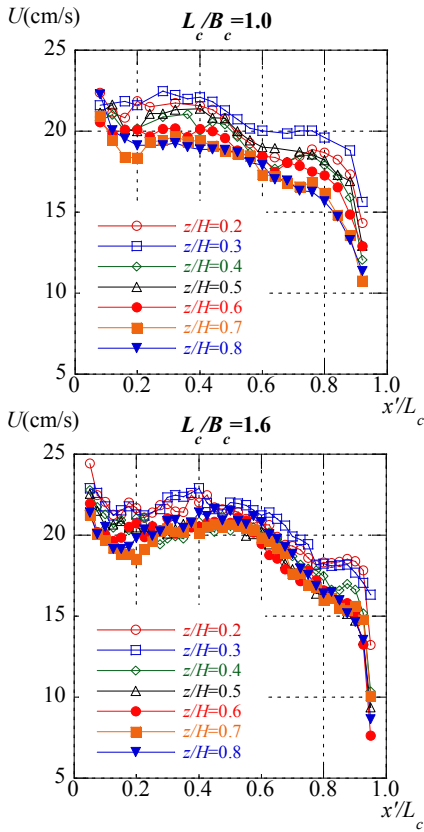


図-4 主流速の流下方向変化

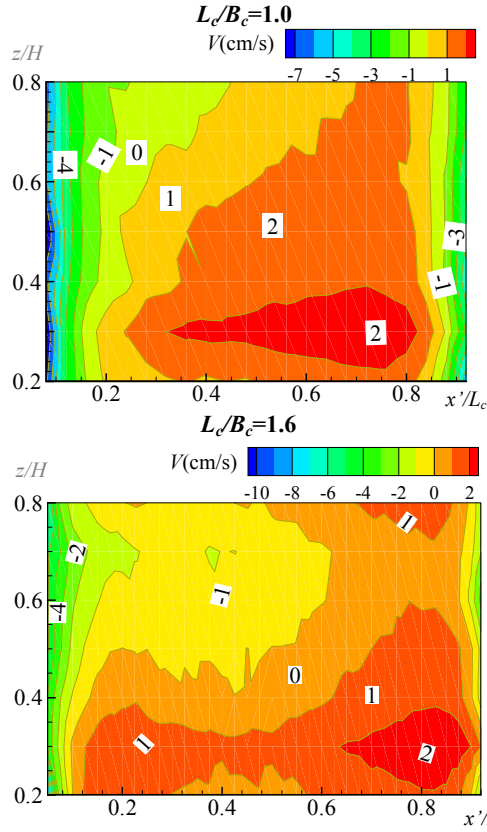


図-5 横断方向流速の等値線

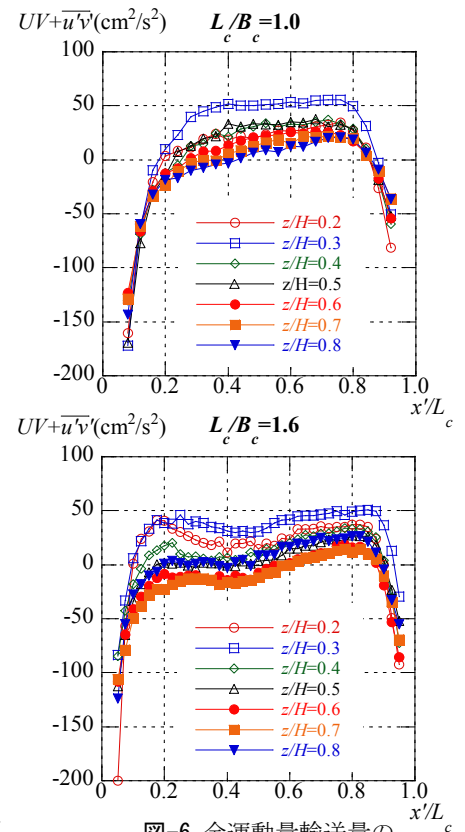


図-6 全運動量輸送量の流下方向変化

遮断物の割合を減らしたにもかかわらず $L_c/B_c=1.0$ は $L_c/B_c=0$ に比べ 1.27 倍、 $L_c/B_c=1.6$ は 1.21 倍の抵抗係数を示した。これは主流部と凹部との運動量交換が影響していると考えられる。そこで流量 $Q=3$ l/s の下で $L_c/B_c=1.0$ と $L_c/B_c=1.6$ の流動機構の検討を行う。

(2) 平均流特性

図-4 にアスペクト比 $L_c/B_c=1.0$ および 1.6 の凹部開口部における時間平均主流速 U の流下方向変化を示す。主流速 U は何れのアスペクト比においても流下方向に向かうにつれ流速が減少する様子が伺える。また、 $z/H=0.7$ 付近に比べ $z/H=0.3$ 付近の流速が大きいことが認められる。

図-5 に横断方向流速 V の等値線を示す。 $z/H=0.3$ 付近に注目すると、主流部から凹部へ流入する流れがみとれ、特に凹部下流において強い流入がみられる。また $L_c/B_c=1.6$ に注目すると、 $L_c/B_c=1.0$ と異なり $z/H=0.7$ の $x'/L_c=0\sim 0.5$ 付近において凹部から主流部へ流出している様子が伺える。このことから、凹部開口部では、 $L_c/B_c=1.0$ は比較的二次元的な流れが見られたが、 $L_c/B_c=1.6$ では $z/H=0.3$ 付近と $z/H=0.7$ 付近の横断方向流速 V の向きが異なるため、三次元的な流れとなることが認められた。

(3) 全運動量輸送特性

全運動量輸送量は(2)式により求める。

$$\overline{uv} = \overline{(U + u')(V + v')} = UV + \overline{u'v'} \quad (2)$$

移流による運動輸送量 UV と乱れによる運動量輸

送量 $\overline{u'v'}$ を足し合わせた横断方向における全運動量輸送量の流下方向変化を図-6 に示す。 $L_c/B_c=1.0$ に注目すると、凹部中央付近で主流部から凹部へ運動量が輸送されていることが見てとれる。また、鉛直方向の変化では、 $z/H=0.3$ 付近の運動量輸送量が $z/H=0.7$ 付近に比べて大きいことが伺える。 $L_c/B_c=1.6$ では、凹部中央付近で主流部と凹部の流速差が小さいために運動量輸送量が小さくなることを確認できる。このため、 $L_c/B_c=1.0$ では凹部中央付近において運動量輸送が活発に行われていることから、流れの抵抗が極大値を示したと考えられる。

4. おわりに

本研究では、奥行の狭い凹部を有する開水路流れにおいて流れの抵抗特性と流動機構について検討し、流れの抵抗特性に運動量輸送特性が影響していることを明らかにした。また、凹部開口部において凹部のアスペクト比を変化させると、二次元的流れと三次元的流れが発生することを確認した。

参考文献

- 1) 瀬津家久, 鬼塚幸樹, 池谷和哉, 高橋俊介: わんど形状が河川に及ぼす影響に関する水理学的研究, 応用力学論文集, Vol.3, pp.813-820, 2000.
- 2) 角谷健, 藤田一郎, 椿涼太: 開水路側岸凹部のアスペクト比の違いが三次元流れ構造に及ぼす影響, 応用力学論文集, vol.11, pp.881-888, 2008.
- 3) 田中貴幸, 大本照憲: 流下方向に連続的に側岸凹部を有する開水路流れの抵抗特性と流動機構, 水工学論文集, 第 53 号, pp.889-894, 2009.