

横越流を伴う開水路流れの三次元乱流構造および掃流力の空間分布

熊本大学工学部 学生会員 園田広郷
熊本大学大学院 正会員 山下直樹
熊本大学大学院 正会員 大本照憲

1. はじめに

近年、記録的な豪雨により計画規模を超える洪水が頻発し、外水・内水氾濫により全国各地で甚大な被害を受けている。水害リスクを低減させるために、河川から遊水地へ洪水を流入させる横越流堰等の設置にあたっては、堰およびその周辺における水理現象を把握することが施設の設計および維持管理上必要となる。

今まで行われてきた研究は横越流量をある程度の高い精度で算定することを可能とならしめているが、洪水の横越流時における河道の不安定性、洗掘・堆砂傾向を予見する上で重要となる水路内の流れの三次元構造について詳細に検討した事例はほとんど見受けられない。本ららは、過去の破堤氾濫事例を検討すると共に、横越流が無い矩形開水路において二次流が最も発達するアスペクト比(水路幅/水深)=2のケースを対象として、横越流を伴う開水路流れの三次元構造を実験的に検討した。

本研究では、アスペクト比2の横越流を伴う開水路流れの既往研究(以下、アスペクト比2のケース)に比して、より実河川の形状に近い水路断面形状での検討を行うべく、まずアスペクト比3のケースについて予備的な水路実験を行ったところ、アスペクト比2のケースと大きく異なる流動機構が確認された。よって、横越流を伴う開水路流れの三次元乱流構造および掃流力の空間分布を明らかにすることを目的として、アスペクト比3のケースについて実験し、アスペクト比2のケースでの特徴と比較分析した。

2. 実験方法

実験は全長 14.88m、幅 $B=29\text{cm}$ 、高さ 25cm の循環式可変勾配水路を用いて行った。実験条件は表-1 に示すとおりに設定した。アスペクト比2のケースと比較考察すべく堰長 L を $L/B=0.0\sim 3.0$ の間で変化させた。水路勾配 I は 1/2,000、流量 Q は 8.0 l/s に設定し、切り欠き部から安定的に越流が生じるようにしている。

流動機構の検討においては表面流および水路断面での流速を計測した。表面流の計測にはビデオカメラを用いた PIV(Particle Image Velocimetry)法を採用した。水路断面の点計測にはI型およびL型の電磁流速計を用いた。

3. 横断面内の主流速と二次流

$L/B=1.0$ の横断面内の流動機構について実験結果を考察する。図-1 は、横越流を伴う開水路流れの $L/B=1.0$ 、流下距離が 0.25 (越流堰中央)に位置する主流速等値線および時間平均成分 V 、 W からなる二次流ベクトルについて、(a)はアスペクト比3のケース、(b)はアスペクト比2のケースのものを示している。

U の極大値の発生場所は鉛直方向には水面下に没し、 z/h_w

表-1 実験条件

アスペクト比 (公称)	2	3
流量 Q (l/s)	8.00	
水路勾配 I	1/2,000	
水路幅 B (cm)	29.0	
堰長/水路幅比 L/B	1/3, 1.0, 2.0, 3.0	
堰高 h_w (cm)	15.0	6.0
$L/B=0.0$ における擬似等流水深 H (cm)	17.6	9.0
$L/B=0.0$ における擬似等流流れのフルード数 Fr	0.12	0.33
$L/B=1.0$ における横越流量 Q_w (l/s)	2.25	2.00
$L/B=1.0$ における横越流水深 h (cm)	2.3	2.4
$L/B=1.0$ における横越水深/切り欠き部上流での水深 h/H	0.130	0.267

が 0.4~0.7 の範囲に位置し、横断方向には y/B が 0.2 の近傍で越流部左岸側に寄っていることが分かる。アスペクト比2の横断面流況では越流部近傍で U の極大値を現すのと大きく異なる。

二次流は、水路中央部から左岸越流部の範囲では右岸から左岸に向きを取り、越流堰近傍では越流堰へ向かう斜め上昇流が発生している。アスペクト比2のケースでは、越流部近傍において強い下降流、対岸では上昇流が明瞭に発生し、水面付近では右岸から左岸に向かう二次流は強いが、底面近傍では左岸から右岸に向かう微弱な二次流が認められ、水路幅スケールのセル構造を有しており、本研究の結果とは異なる流況を示している。アスペクト比2のケースでは横越流量の供給が流れの上層であることに対して、浅い流れのアスペクト比3では下層の流れ越流に引っ張られる形で堰頂側へ向かっている。

4. 掃流力の空間分布

図-2 は、横越流を伴う開水路流れの $L/B=1.0$ における壁面せん断応力の概略値の相対的な空間分布について、(a)はアスペクト比3のケース、(b)はアスペクト比2のケースのものを示している。

各図の左側に左岸側壁、右側に底面の壁面せん断応力を示し、底面および左岸側壁全体の壁面せん断応力の平均値で無次元化した $\tau_w/\bar{\tau}_w$ を縦軸に示している。

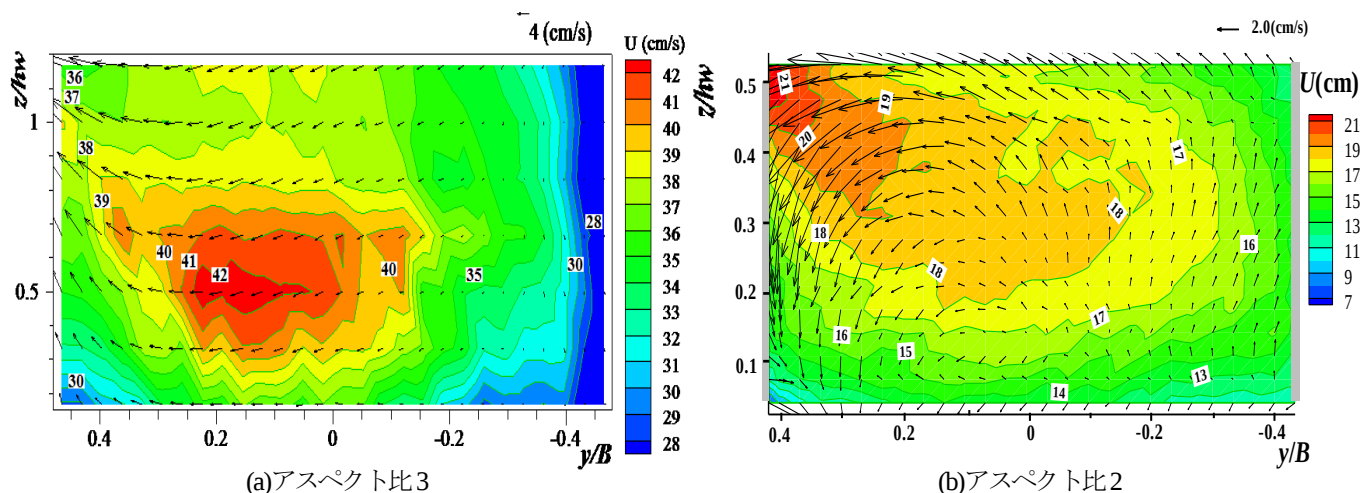


図-1 $L/B=1$ 、 $x/L=0.25$ における主流速等値線および二次流ベクトル

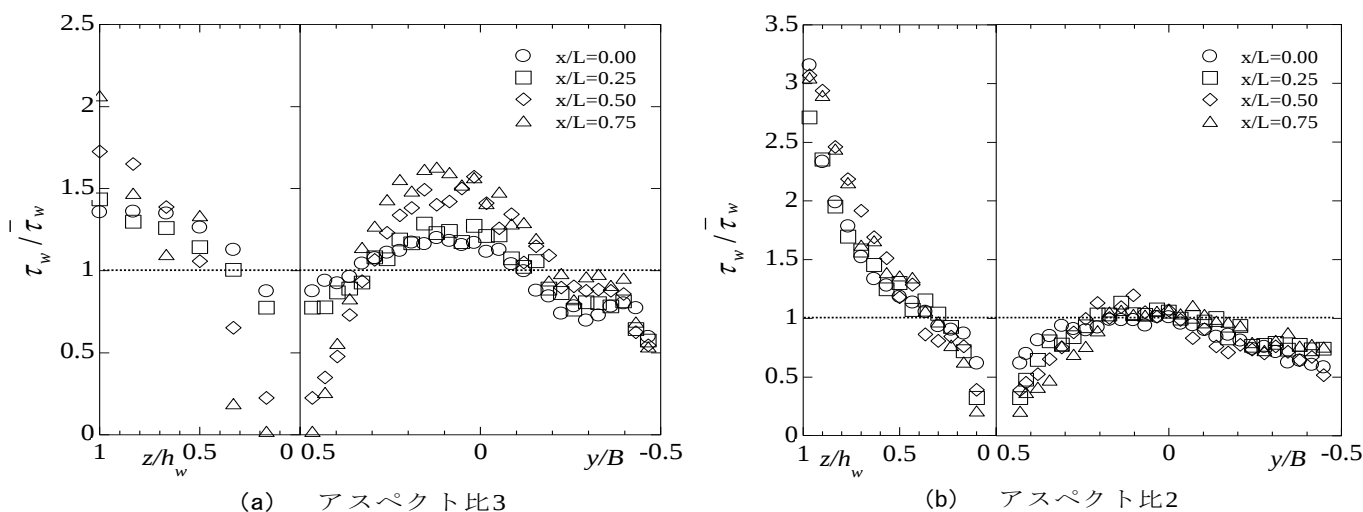


図-2 $L/B=1$ における壁面せん断応力の空間分布

$\tau_w / \bar{\tau}_w$ は左岸側壁および底面から 1 cm 離れた位置において I 型電磁流速計で計測した主流速 U を用いて評価している。

アスペクト比 3 のケースについては、底面および左岸側壁ともに $x/L=0.00, 0.25$ に比して $x/L=0.50, 0.75$ では壁面せん断応力の変動が顕著である。極大値は底面では水路中央からやや左岸側、左岸側壁では堰頂付近で発生している。これより、アスペクト比 3 のケースにおける掃流力の空間分布は、側壁上では堰頂付近で最大値を示すが、底面では水路中央からやや左岸側で極大値を示し、また共に越流堰の中央から下流端にかけて大きくなる傾向にあることが示唆される。

一方、アスペクト比 2 のケースについては、4 断面の壁面せん断応力の変動は共通の傾向が見られる。壁面せん断応力の極大値は底面、左岸側壁共にアスペクト比 3 のケースと同じ位置に発生している。アスペクト比 3 のケースと比較すると、壁面せん断応力の変動は底面では小さく、左岸側壁では大きくなっている。これより、アスペクト比 2 のケースにおける掃流力の空間分布は、側壁上での最大値および底面での極大値の発生位置はアスペクト比 3 のケースとほぼ同一であるが、変動の大きさは異なり、横越流堰の全区間で同様の傾向にある。

5. まとめ

主流速の極大値の発生場所は鉛直方向には水面下に没し、 z/h_w が 0.4~0.7 の範囲に位置し、横断方向には y/B が 0.2 の近傍で越流部左岸側に寄っており、アスペクト比 2 のケースでは越流部近傍で主流速の極大値を現すのと大きく異なる。

掃流力の空間分布は、側壁上では堰頂付近で最大値、底面では水路中央からやや左岸側で極大値を示しており、アスペクト比 2 のケースも同様の傾向である。横越流を伴う場合、非越流時に発生する二次流セルの消滅とともに壁面せん断応力の極大値は発生しない。

5. 参考文献

- 1) 大本照憲, 田中貴幸, 山下直樹: 横越流を伴う開水路流れの三次元乱流構造, 水工学論文集, 第55巻, pp.913-918, 2011.2.
- 2) 林俊一郎, 大本照憲, 本田逸郎: DNS解析による矩形断面開水路乱流の組織構造に関する考察, 応用力学論文集, Vol.6, pp.827-838, 2003.