

## 堤防を有する複断面蛇行水路における非定常流の流れ構造と乱れ特性

前橋工科大学 学生会員 ○渡辺 裕太  
前橋工科大学 正会員 平川 隆一

## 1. 研究背景および目的

令和2年7月豪雨によって、九州地方や東北地方をはじめとする日本各地で記録的な大雨となった。球磨川流域の球磨村渡地区茶屋集落付近では、洪水流が堤防を乗り越え、障害物が少なく流れやすい線路沿いに流れが集中し高速で流下したため、堤防側の家屋は流失を免れ、線路沿いの堤内地では線状に家屋倒壊が発生したり。複断面流れに関する先行研究のほとんどは定常流を対象としていて、非定常流を対象としたものは複断面直線水路を用いている<sup>2)</sup>。また、堤防の存在を考慮したものも少ない。

そこで本研究では、低水路と高水敷の間に堤防を有する複断面蛇行水路の流れ構造と乱れ特性を明らかにすることを目的とする。

## 2. 実験方法

本研究は定常流および非定常流を対象として実験を行う。実験条件を表1に示す。CASE1-1~CASE1-3およびCASE2-1~CASE2-3は定常流における実験、CASE1-4およびCASE2-4は非定常流における実験である。また、CASE1は堤防未設置、CASE2は堤防設置時における実験である。ここで、 $Q_b$ はベース流量、 $Q_p$ はピーク流量、 $T_d$ は増水時間である。使用する実験水路は、全長15m、水路幅60cm、高さ40cmの変可変水路である。実験は1波長90cmの蛇行を2.5波長分設け、後半の1波長を計測区間とする。実験水路の概要を図1に、実験水路の断面形状を図2にそれぞれ示す。ここで、水路幅をB、波長をLとする。

水深の計測には超音波センサFW-V20(KEYENCE)を用いる。計測位置は水路右岸から4cm~56cmとし、1波長90cm計測した。流速の計測にはPIVを用いる。水路底壁面から5.5cmの位置に厚さ約2mmのレーザーシートを照射し、ハイスピードカメラを使用し、125fpsで約35秒間撮影した。ハイスピードカメラは水路の横に設置し、水路の真下に置いた鏡を撮影して計測区間の水平断面を計測した。カメラの有効画素は1280×1024pixelである。FtrPIV(フローテックリサーチ製)を使用して解析を行った。

表1 実験条件

| CASE    | $Q_b$ (l/s) | $Q_p$ (l/s) | $T_d$ (s) | 堤防の有無 |
|---------|-------------|-------------|-----------|-------|
| CASE1-1 | 4           | -           | -         | なし    |
| CASE1-2 | 8           | -           | -         | なし    |
| CASE1-3 | 12          | -           | -         | なし    |
| CASE1-4 | 4           | 12          | 180       | なし    |
| CASE2-1 | 4           | -           | -         | あり    |
| CASE2-2 | 8           | -           | -         | あり    |
| CASE2-3 | 12          | -           | -         | あり    |
| CASE2-4 | 4           | 12          | 180       | あり    |

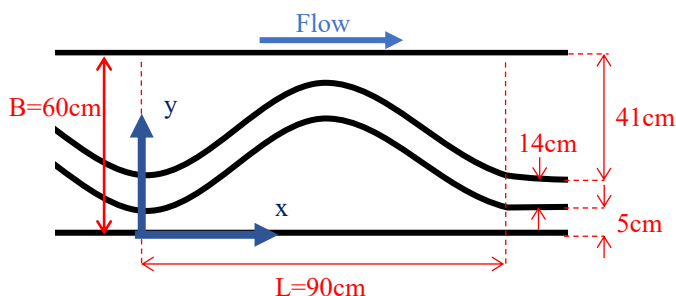


図1 実験水路概要

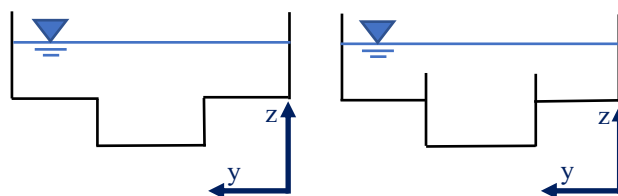


図2 実験水路断面図(左:堤防なし, 右:堤防あり)

## 3. 実験結果

## (1) 水面形

図3にCASE1-1およびCASE2-1における水深 $h$ の縦断分布を示す。堤防がない場合はほぼ平坦な水面となっているのに対し、堤防がある場合は流れが堤防を乗り越える前後に顕著な水位差が生じていることがわかる。このことから、堤防の存在が水面形に大きな影響を与えていることが推察される。

## (2) 流速特性

図4に $x=1/4L$ における主流速 $U/U_m$ の横断分布を、図5に $x=1/4L$ における横断方向流速 $V/U_m$ の横断分布

キーワード 複断面, 蛇行, 非定常流, 乱れ特性

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1 前橋工科大学 TEL: 027-265-0111 E-mail: hirakawa@maebashi-it.ac.jp

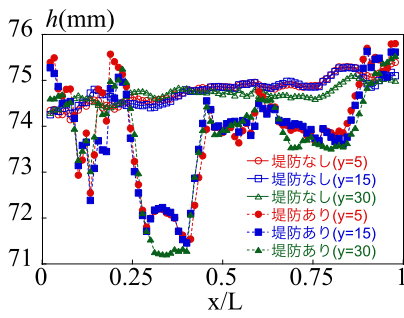


図3 水面形縦断分布

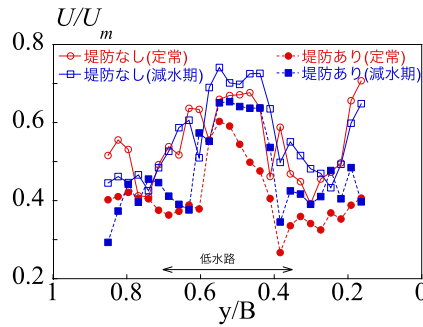


図4  $x=1/4L$ における  $U/U_m$ の横断分布 ( $Q=4l/s$ )

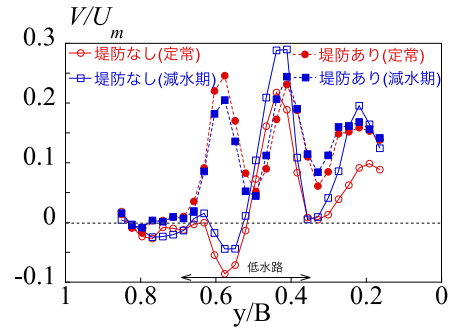


図5  $x=1/4L$ における  $V/U_m$ の横断分布 ( $Q=4l/s$ )

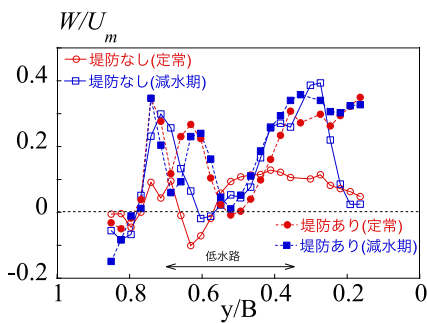


図6  $x=1/4L$ における  $W/U_m$ の横断分布 ( $Q=4l/s$ )

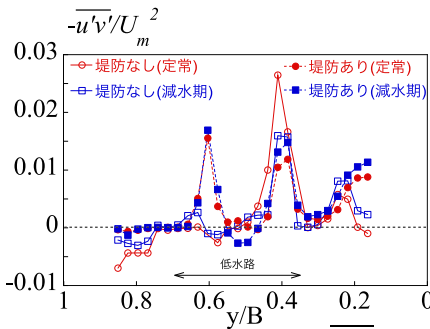


図7  $x=1/4L$ における  $-\overline{u'v'}/U_m^2$ の横断分布 ( $Q=4l/s$ )

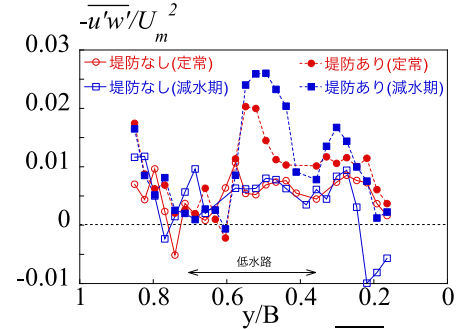


図8  $x=1/4L$ における  $-\overline{u'w'}/U_m^2$ の横断分布 ( $Q=4l/s$ )

を、図6に  $x=1/4L$ における鉛直方向流速  $W/U_m$ の横断分布をそれぞれ示す。ここで、 $U_m$ は断面平均流速である。図4より、主流速は堤防の有無に関わらず、高水敷上よりも低水路内で大きな値を示す傾向にあることがわかる。また、堤防がない場合は  $y/B=0.2$  付近の側壁に近い高水敷上で低水路内とほぼ同じ大きさの極大値をとっている。図5より、横断方向流速は、堤防の有無に関わらず、低水路内で左岸側に向かう流速が極大値を示しており、低水路内で蛇行に沿って流れていることがわかる。 $y/B=0.2$  付近でも、低水路内ほど大きくはないが横断方向流速が正の極大値をとっており、蛇行部入口の高水敷上でも蛇行に沿って流れていることがわかる。図6より、鉛直方向流速は、堤防の有無に関わらず、低水路から高水敷へ流入する  $y/B=0.3$  付近の堤防前後で上昇流が大きくなっていることが観察される。また、堤防を乗り越えた後の  $y/B=0.8$  付近で小さな下降流が生じていることがわかる。さらに、ここまで述べた部分に共通して定常時よりも減水期の方がやや大きな流速値を示す傾向が見られた。これは、ピーク流量時の流れの影響が残っているためであると推察される。

(3) 乱れ特性

図7および図8に、 $x=1/4L$ におけるレイノルズ応力  $-\overline{u'v'}$  および  $-\overline{u'w'}$  の横断分布をそれぞれ示す。ここでは、 $U_m$  で無次元化している。図7より、 $-\overline{u'v'}$  は低水路

と高水敷の境界部付近で正の極大値をとっていることがわかる。また、どのケースでも低水路から高水敷上へ乗り上げた後の  $y/B=0.2$  付近でやや小さな正の極大値をとっている。図8より、 $-\overline{u'w'}$  は低水路内で正の極大値をとっていることがわかる。その値は堤防がある場合の方が大きく、堤防の存在が流れに影響を与えていることが推察される。さらに、堤防ありの場合は減水期の方が正の極大値の値が大きく、ピーク時の乱れの影響が低水路内に残っていると推察される。

4. おわりに

本研究より、堤防を有する場合、堤防を乗り越える前後で顕著な水位差が生じることがわかった。

また、堤防を有する場合に異なった乱れ特性を示すこと、非定常時の減水期における流れ構造と乱れ特性においては、ピーク時の流れや乱れの影響が残ることがわかった。

参考文献

- 1) 平川 隆一, 大本 照憲: 令和2年7月豪雨における球磨村渡地区の洪水氾濫特性, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.78, No.2, I\_679-I\_684, 2022.
- 2) 禰津 家久, 山上 路生, 坂根 由季子: 非定常な複断面開水路流れの乱流構造に関する実験的研究, 水工学論文集, 第46巻, pp.553-558, 2002.