

開水路隅角部の円形化に伴う流れ構造の特徴

| | | | |
|------|------|-----|----|
| 徳山高専 | 学生会員 | ○三戸 | 裕矢 |
| 徳山高専 | 正会員 | 渡辺 | 勝利 |
| 徳山高専 | 正会員 | 宇根 | 拓孝 |

1. 緒論

水や空気の流れはそのほとんどが乱流である。乱流場は3方向の速度成分が生成される。その1つは主流速であり流れ方向の速度を示す。他の2つは鉛直および水平方向の流れであり、流れ方向に対して垂直な面に生成され、二次流れと呼ばれる。この流れは運動量や物質を鉛直、水平方向に輸送するため、工学的に重要な流れである。

二次流れの発生機構はプラントルによって2種類に分類されている。まず、1つめは、第1種の二次流れである。これは、遠心力によって流れの左右に圧力勾配が生ずることによって発生するものである。これは、河川の湾曲部にみられる流れの横断面を一巡する大規模な旋回流に認められる。この流れによって、河床や護岸の洗堀が発生する。2つめは、第2種の二次流れである。これは、乱流場のレイノルズ応力の非等方性によって生ずるとされているが、その機構は十分に明らかにされていない。この二次流れは、図-1に示すような矩形の管路において生ずる。これをみると管路の隅角方向へ流れ込む流れ（corner flow）とその両脇に時計、反時計方向の旋回流の形成が認められる。また、図-2に示した開水路流れにも同様な二次流れが形成されるが、形態は矩形管路のそれとはやや異なる。

矩形管路においては corner flow が形成されているが、円管流れではこのような流れが生じないことが知られている。一方、開水路において直角の隅角が円形になった場合の二次流れについてはこれまでに検討された例はない。実河川においても河岸の土砂堆積によって河岸隅角は円形化していることから、このような流れ場の解明は、河岸における現象の解明や洗堀などの防災に寄与すると考えられる。

以上を踏まえて、本研究では開水路の隅角の円形化に伴う流れの構造の特徴を流速計測と流れの可視化を用いて検討する。

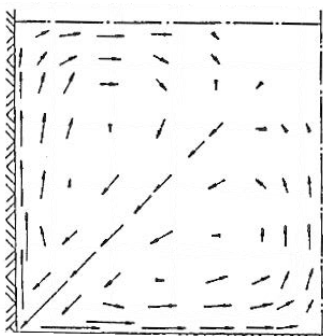


図-1 矩形管路における二次流分布¹⁾

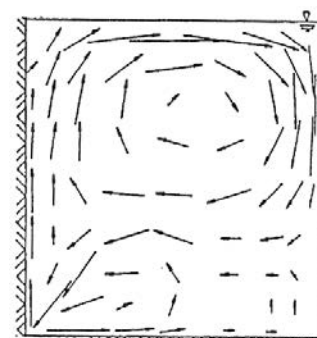


図-2 開水路流れにおける二次流分布¹⁾

2. 実験装置および方法

本実験では、長さ10m、幅60cm、高さ15cmで勾配1/1000に調整した直線開水路を使用した。その右岸隅角部に、半径5.5cmの1/4円筒を7.2mに亘って設置した。円筒には雨どいを使用した。

可視化実験には蛍光染料注入法を用いた。その実験概要を図-3に示している。照明には、レーザースリット光膜、トレーサーには比重1.004の蛍光染料水溶液を用いた。流速計測には、PTV (Particle Tracking Velocimetry)

キーワード corner circularization, corner flow, secondary flow, wall streamwise vortices

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台3538番地

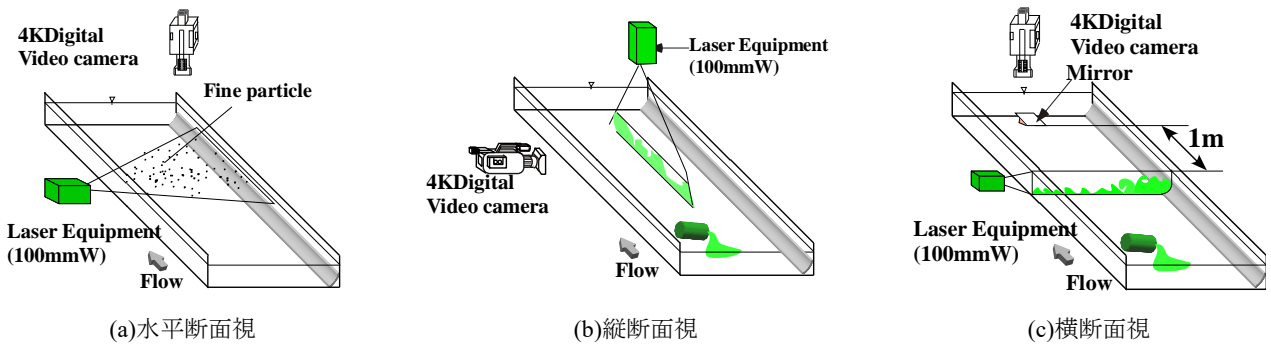
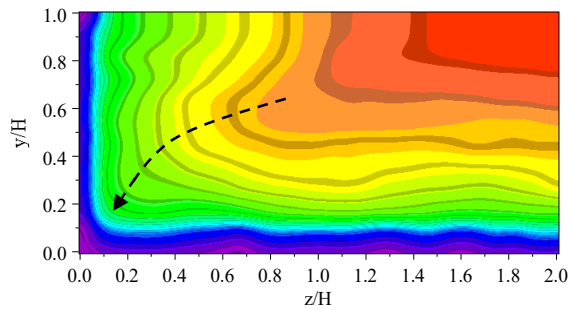


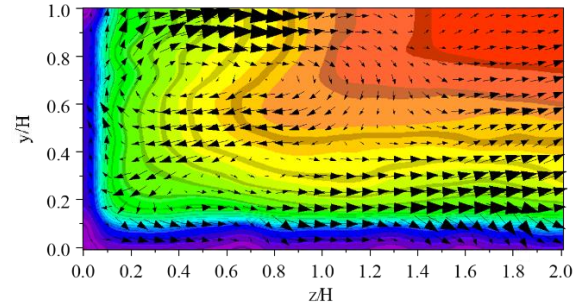
図-3 可視化手法および PTV 概要

表-1 実験条件

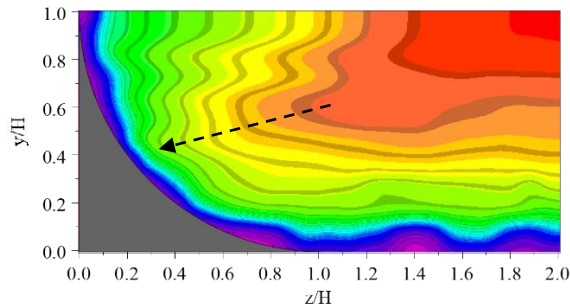
| 各種実験 | 流量 | 水深 | 平均流速 | 粘性係数 | レイノルズ数 | フルード数 |
|------|---------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| Case | $Q[\text{cm}^3/\text{s}]$ | $H[\text{cm}]$ | $U_m[\text{cm}/\text{s}]$ | $\mu[\text{cm}^2/\text{s}]$ | $Re[U_m H/\mu]$ | $Fr[U_m/(gH)^{0.5}]$ |
| A | 3178.46 | 5.5 | 9.632 | 0.01247 | 4248.28 | 0.13120 |
| B | 1695.68 | 5.5 | 5.138 | 0.01261 | 2241.00 | 0.06998 |



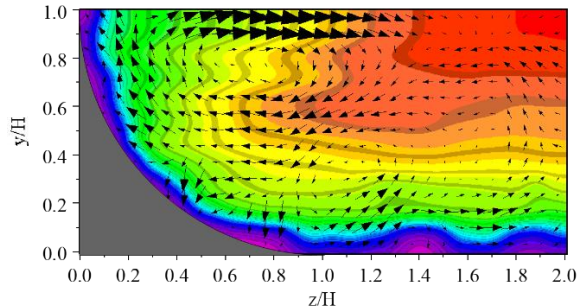
(a)直角隅角



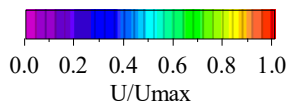
(a)直角隅角



(b)円形隅角



(b)円形隅角



→ = 0.05Umax

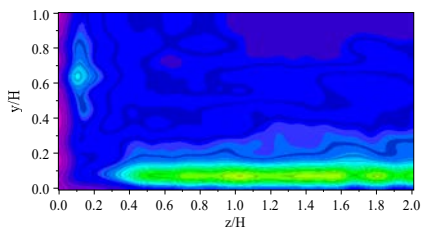
図-4 平均主流速分布 (U) (Case A)

図-5 二次流ベクトル (W, V) (Case A)

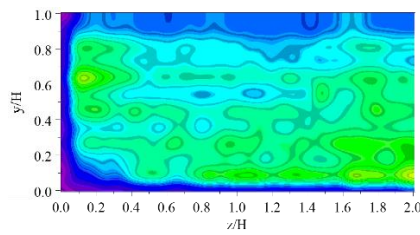
を使用した。照明には同スリット光膜，トレーサーには粒径 100 μm ，比重 1.04 の微細粒子を用いた。

3. 実験結果および考察

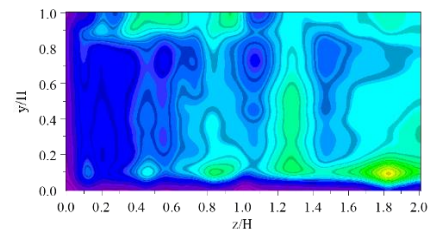
図-4 から図-10 には PTV の計測結果を示している。図-4(a)の直角隅角における平均主流速分布 (U) においては、主流速の等値線が隅角方向へ入り込む分布が認められる。これは図-5(a)に示すような同方向への二次流によって引き起こされている。この二次流の左右には時計，反時計方向の旋回流の形成が認められる。図-4(b)の円形隅角の主流速分布では、等値線が直線隅角と比べると緩い角度で曲面側壁方向に入り込む形状を示している。これは図-5(b)の二次流分布と対応している。円形隅角では、時計方向の旋回流が鉛直隅角のそれらに比べて大規模であるように思われる。以上のことから、円形隅角においても二次流れが形成されることが明らか



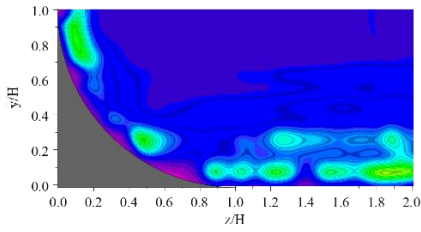
(a)直角隅角



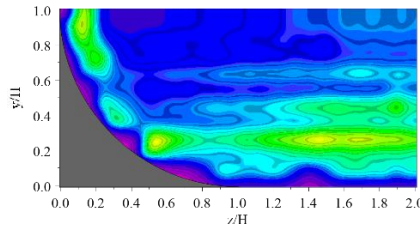
(a)直角隅角



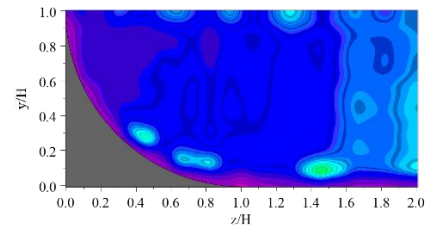
(a)直角隅角



(b)円形隅角



(b)円形隅角



(b)円形隅角

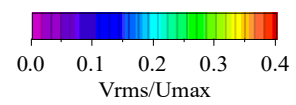
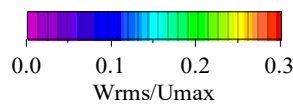
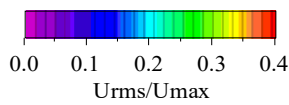
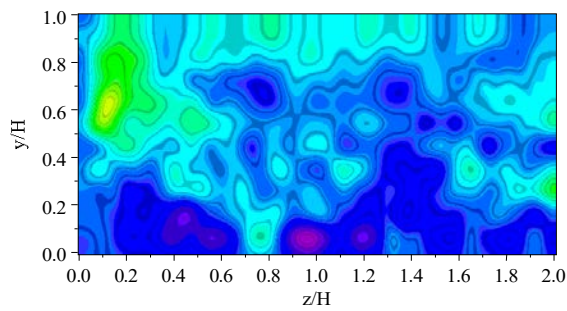


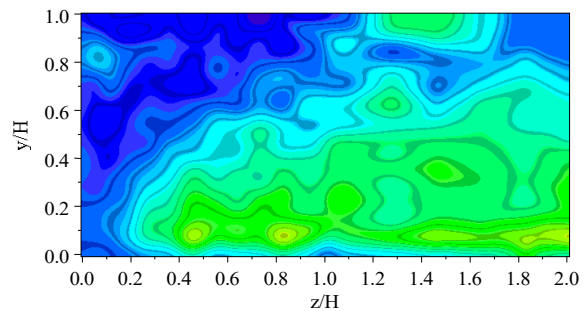
図-6 主流速乱れ強度分布 (u_{rms}) (Case A)

図-7 横断方向流速乱れ強度分布 (w_{rms}) (Case A)

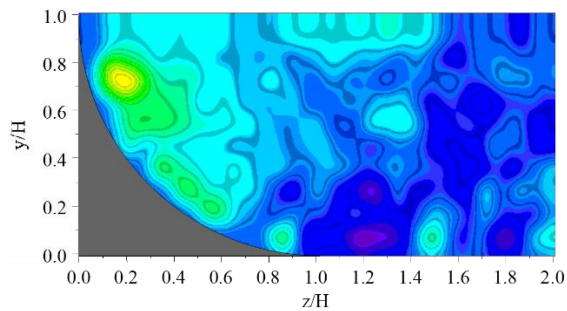
図-8 鉛直方向流速乱れ強度分布 (v_{rms}) (Case A)



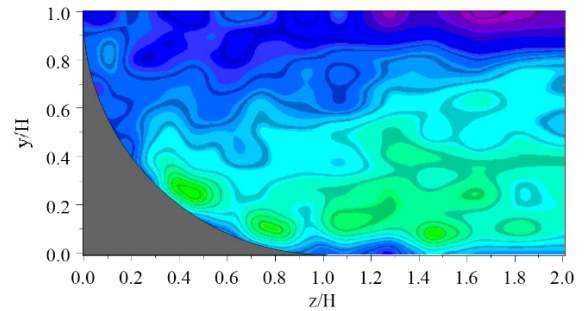
(a)直角隅角



(a)直角隅角



(b)円形隅角



(b)円形隅角

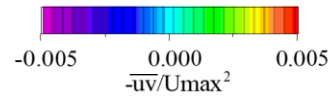
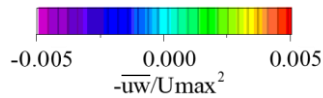


図-9 水平方向レイノルズ応力分布 ($-u'w'$) (Case A)

図-10 鉛直方向レイノルズ応力分布 ($-u'v'$) (Case A)

かとなった。

図-6 は、主流速乱れ強度分布 (u_{rms}) を示している。直角隅角では、底壁上において広範囲に強い乱れの形成が観測された。円形隅角では、底壁上と曲面側壁上で強い乱れが疎らに観測された。

図-7 は、横断方向流速乱れ強度分布 (w_{rms}) を示している。直角隅角では、壁面付近で強い乱れの形成が確認され、 $y/H=0.0\sim 0.8$ で広く分布している。一方で、円形隅角では、底壁上と水表面付近の曲面側壁上で強い乱れの形成が観測された。

図-8 は、縦断方向流速乱れ強度分布 (v_{rms}) を示している。直角隅角、円形隅角ともに z/H が大きくなるに

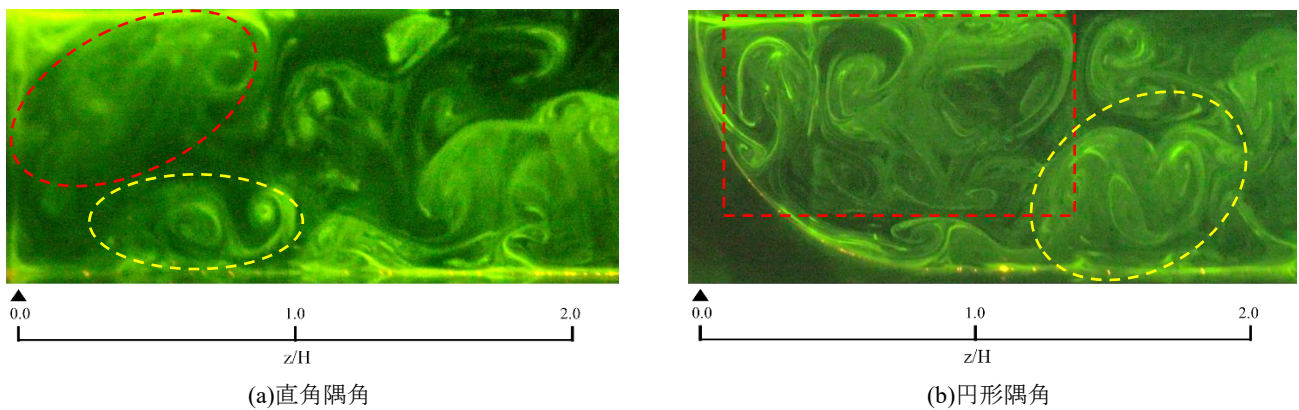


図-11 横断面視の一例 (Case B)

つれて底壁付近を中心に乱れが強くなっているが、分布は異なることが認められた。

図-9 は、水平方向レイノルズ応力分布 ($-\overline{uv}$) を示している。どちらの隅角も同様な分布形状を示しており、側壁付近で正の高い領域が見られ、底壁付近で負の領域が見られる。

図-10 は、鉛直方向レイノルズ応力分布 ($-\overline{wv}$) を示している。どちらの隅角も底壁上に正の領域が形成されているが、直角隅角の方がより高い領域となっている。水表面付近では、円形隅角の方が負のレイノルズ応力がより高い領域を形成している。

図-11 に横断面視の可視化結果を示す。直角隅角、円形隅角ともに、赤破線で囲んだ側壁側に形成される縦渦構造と黄色破線で囲んだ底壁側に形成される縦渦構造がそれぞれ隅角方向に向かう流れを形成していることが認められた。また、2つの縦渦構造は、一方が発達するともう片方が減衰することが確認できた。このような特徴は佐賀ら²⁾によっても観察されている。このことから、隅角を形成する両壁上の縦渦構造が交互に隅角に向かうことで、二次流れが形成されていると考えられる。さらに、図-5 の二次流ベクトルでも確認されたように、円形隅角の方が2つの縦渦構造が大規模化していることが観察された。これは、隅角の円形化に伴い、底壁側に形成される縦渦構造が横断方向に押し出されたためであると推察される。特に赤破線で囲んだ縦渦構造が顕著に大規模化していることから、円形隅角では側壁側に形成される縦渦構造が二次流れの形成に対して重要な役割を果たしていると考えられる。

4. 結論

本研究では、開水路の隅角の円形化に伴う流れの構造の特徴を流速計測と流れの可視化を用いて検討した。以下に、本研究において得られた結論を示す。

(1) 隅角が円形化しても、隅角を形成する両壁上の縦渦構造の相互作用によって、二次流れが形成されることが明らかとなった。

(2) 円形隅角では、二次流れを構成する2つの縦渦構造が直角隅角の場合よりも大規模になる。特に側壁側の縦渦構造が顕著に大規模化していることから、円形隅角における二次流れの形成に対して重要な役割を果たしていることが推察された。

参考文献

- 1) Nezu, I., H., Nakagawa. : Turbulent in open channel flows, IAHR Monograph, pp.102, 1993.
- 2) 佐賀孝徳, 大成博文, 斎藤隆: 開水路乱流側壁領域の組織構造に関する研究, 土木学会論文集, No.443/II-18, pp.55-63, 1992.