

奥行き異なる円弧型わんどの水理特性に関する研究

指導教員 富永晃宏 教授

16117003 伊藤研吾

1. はじめに 近年、環境への意識の高まりから、河川計画の分野においても自然環境保全・復元の取り組みとして「多自然型川づくり」が注目されるようになった。その中でも「わんど」は水辺の生物の生息域として人工的に設置されることもあり、水交換、土砂堆積等のわんどを対象とした研究が進んでいる。従来のわんどに関する研究では、長方形型わんどや台形型わんど等を中心に行われたが、実在するわんど形状は様々である。また、河岸に人工的にわんどを設ける場合、凹みの深さによって形成される流れ構造を知ることが重要である。そこで本研究では、奥行き異なる円弧型わんどの水理特性を検討した。実験では形状に加え、流量も変化させて影響を検討した。

2. 実験条件および実験方法 実験水路には、長さ 7.5m、幅 30cm の勾配可変型開水路を用いた。わんど域は、ウレタンを加工して土台とし、前面にフィルム（塩化ビニル樹脂）を貼り付けて作った。本実験でのわんど形状を表-1 に示す。実験では、すべての形状でわんど開口幅を 18.2 cm で固定した。円弧型わんどは、奥行き異なる形状 A、B、C について実験した。これは、円弧の中心をわんどから河川本川の方へ移動させることにより、円弧の半径と奥行きを変化させている。さらに、円弧型わんどと比較する目的で、長方形型わんどである形状 a、b、c の実験も行った。また、流量は 2 通りに変化させ、流量 0.88l/s の場合を 1、流量 1.60l/s の場合を 2 とし、形状を表すアルファベットと組み合わせて、ケース名を A1、B2 のように表すことにする。各ケースの実験条件を表-2 に示す。

実験方法として、PIV 法によりわんど域とわんど域付近の直線河道の流速ベクトルを測定した。PIV 計測による流れの可視化にはアルゴンレーザーを半水深 $z=20\text{mm}$ の水平断面 (x-y 断面) に照射し、解析を行った。画像解析には、VISIFLOW(AEA Technology)PIV システムを用いた。

3. 実験結果・考察 実験した 12 ケースのうち、図-1 に流量 0.88l/s のケースの時間平均流速ベクトル図を示す。奥行きが 9.1cm と 6.1cm のケースについて図-1 を見ると円弧型わんどと長方形型わんどでは、流れ構造が異なることがわかる。すなわち、円弧型わんどである A1、B1 では、壁面に沿った大きな渦が形成されるが、長方形型わんどである a1、b1 では、わんど下流側の大規模渦の他に、上流側で小さな渦が形成されている。また、奥行きが 3.1cm のケースでは、形状に関わらず、非定常性が強くなった。ビデオ画像を見ると、頻繁にせん断不安定に起因する渦を形成し、渦は形を変えながら流下していた。

次に、奥行きの影響について考えるため、時間平均流速データから、わんど中央部における横断方向流速 V の縦断分布を取り出した。これを図-2 に示す。円弧型わんどにおいても長方形型わんどにおいても、奥行きが小さくなる程、流入、流出する方向の最大流速が小さくなっている。また図-1 を見ると、奥行きが小さくなる(A1→B1、a1→b1)と、壁面に沿った渦の中心は、下流方向にずれているが、渦の中心が下流方向にずれると、大きな渦が形成しにくくなると考えられる。そして、さらに奥行きが小さくなると、非定常性が強くなり、C1 や c1 のように壁面に沿った明確な渦ができなくなる。ゆえに、本実験における奥行きの影響については、奥行きが大きい方が壁面に沿った渦が形成しやすいということが考えられる。

さらに、奥行き同じ円弧型わんどと長方形型わんどについて、わんど中央部における横断方向流速 V を比較する。A1 と a1 では、円弧型わんどである A1 の方が横断方向流速 V の最小値が小さい。言い換えると、A1 の方が流出方向の最大流速が大きいということになる。しかし、B1 と b1 では、長方形型わんどである b1 の方が流出方向の最大流速が大きいことがわかる。よって、奥行きを 6.1cm から 9.1cm に大きくすると、円弧型わんどは長方形型わんどよりも流出方向の最大流速が大きく増加するといえる。このことは、流量 1.60l/s の場合にも

表-1 わんど形状

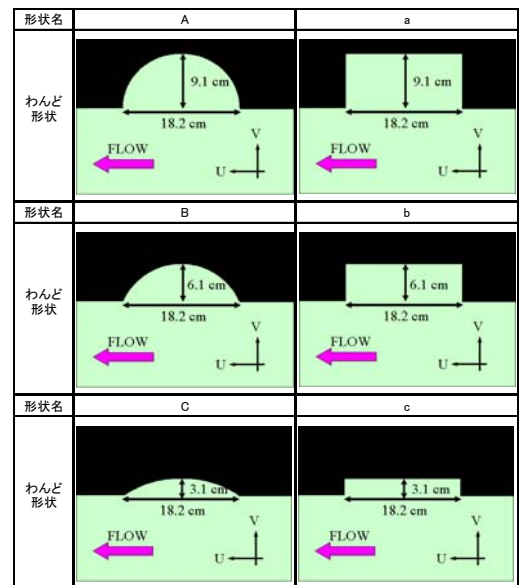


表-2 実験条件

ケース名	A1, B1, C1 a1, b1, c1	A2, B2, C2 a2, b2, c2
流量Q (l/s)	0.88	1.6
水深h (cm)	4.0	4.0
本川幅B (cm)	20.0	20.0
水路床勾配I	1/2000	1/2000
断面平均流速 U_m (cm/s)	11.0	20.0
$Fr=U_m/\sqrt{gh}$	0.18	0.32
水温T (°C)	9.5	9.5
$Re=U_m h/\nu$	3318	6033

いえた。流出についてのみ考えると、壁面に沿って流れを形成する円弧型わんどの方が流出方向の最大流速が大きくなると考えられる。しかし、流入について考えると、B1 は流入時に流れが大きく曲げられるためなのか壁面での流入方向の流速が小さい。流入方向の流速は、流出方向の流速にも影響を与え、この結果、B1 と b1 では、b1 の方が流出方向の最大流速が大きくなると考えられる。

次に、わんど中央部における主流方向流速 U の横断分布を図-3 に示す。図-3 について、さらに中心差分法により主流方向流速 U の傾き $\partial U / \partial y$ を求めた。これが図-4 である。 $\partial U / \partial y$ が大きいと流速が急激に変化するので、乱れのある流れとなる。逆に $\partial U / \partial y$ が小さいと混合が進んでいることになる。今、図-4 を見ると C1 は、 $y=10\sim 40\text{mm}$ の範囲で A1、B1 に比べ、 $\partial U / \partial y$ の値が大きい。よって C1 は、混合が進んでおらず、大きな乱れが生じる。そして、流速は急激に主流速(断面平均流速)に近づくことになる。また、各ケースで、 $\partial U / \partial y$ の最大値は、A1 はやや本川方向に寄っているが、わんど開口部付近に存在し、レイノルズ応力が大きな値を示す位置とほぼ一致する。この場所は、せん断不安定に起因する渦が生じていると考えられる。

流量の影響については、過去の研究の中で、同形状のわんどならば、時間平均したわんど域内の流速は、水路の断面平均流速に比例するという相似性が成り立つといわれている。図-5 は、形状 A について、わんど中央部における主流方向流速 U を断面平均流速 U_m で除し無次元化したもので、図-6 は、横断方向流速 V を断面平均流速 U_m で除し無次元化したものである。これらのグラフの分布形状は一致しておらず、特に無次元化した横断方向流速分布では、ずれが顕著なことがわかる。ゆえに、時間平均したわんど域内の流速は、断面平均流速に比例しないことになる。本実験については、流量が小さいためなのか、他の円弧型わんどや長方形型わんどにおいても相似性が成り立たなかった。この相似性については、今後、多くの流量で実験していく必要がある。

4. まとめ わんどは、アスペクト比(開口幅/奥行き)によって流れ構造が大きく異なることが知られている。本実験においても同様に、奥行きによって、流れ構造が異なった。すなわち、円弧型わんどにおいても長方形型わんどにおいても、奥行きが大きくなる程、流入、流出する方向の最大流速が大きくなり、壁面に沿った渦が形成しやすくなると考えられる。また、同じ奥行きでも、円弧型わんどと長方形型わんどでは、流れ構造が異なることがわかった。流入、流出については、今後、多くの形状や流量で実験し、検討していきたい。

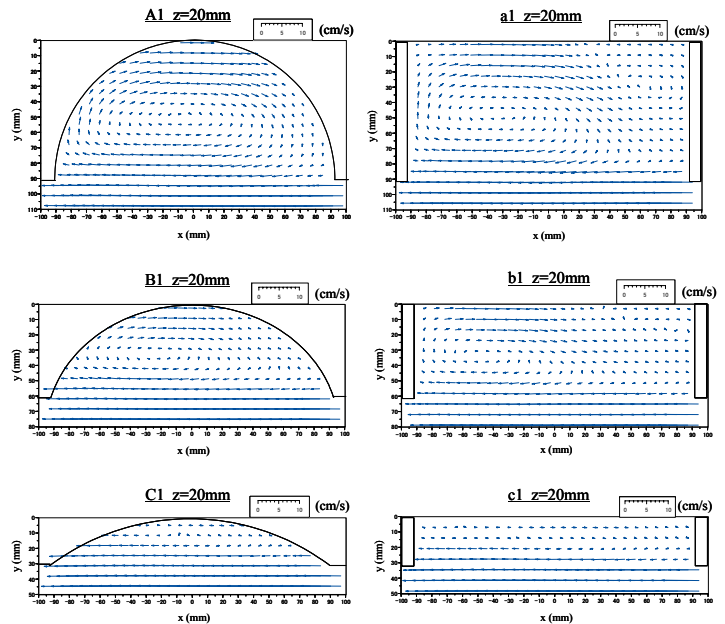


図-1 時間平均流速ベクトル図 (流量 0.880/s)

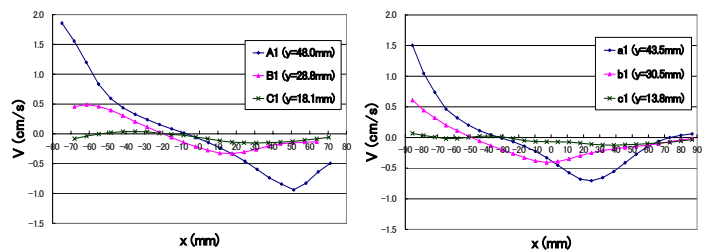


図-2 横断方向流速分布 (左: 円弧型、右: 長方形型)

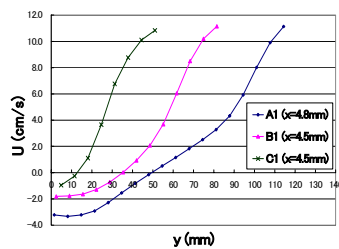


図-3 主流方向流速分布

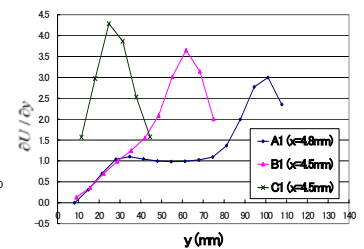


図-4 主流方向流速の傾き

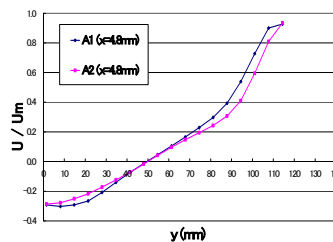


図-5 無次元化した主流方向流速分布

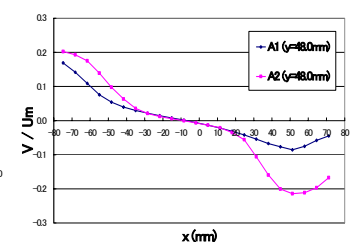


図-6 無次元化した横断方向流速分布