

# 湾曲水路の横越流堰幅による流出特性

山口大学 正会員 ○河元 信幸  
山口大学 正会員 朝位 孝二  
山口大学 学生会員 白水 達也  
山口大学 正会員 白水 元

## 1. はじめに

近年、都市河川における洪水対策のひとつとして横越流堰を用いて洪水調節池にピーク流量を貯留し、河道の断面不足を補う方法が用いられている。横越流堰の流量配分機能の研究は、河川放水路計画や下水の管渠、ダム余水吐の設計など多くの研究がある。しかし、多くの研究が直線水路で行われた知見であり、河川の蛇行を考慮したものは少なく、既存の流量公式にも改良の余地があると考えられる。

上述の背景より著者らは蛇行部における横越流公式の開発を行っている。一般に実河川の蛇行では河道の曲率半径が場所的に変化するが、本研究では問題を簡略化するために曲率半径が一定である円弧水路（ここでは湾曲水路と称す）を対象として実験的研究を行ってきた<sup>1, 2, 3</sup>。上記研究はいずれも後述する実験条件において横越流堰幅を一定として実験が行われた。本研究では、曲率半径と横越流堰幅を変化させて湾曲水路の流出特性を実験的に検討することを目的とする。

## 2. 実験装置と実験方法

実験は直線水路と湾曲水路で行い、湾曲水路の概略を図1に示す。それぞれの水路は、貯水槽・水路部で構成されている。湾曲水路の水路部は直線部と湾曲部で構成された総アクリル製の開水路である。水路幅  $B$  は直線水路、湾曲水路ともに  $0.20\text{m}$  である。なお、湾曲水路は曲率半径の異なる3種類を用いた。図2に横越流堰の形状を示す。破堤を念頭に置いているが、ここでは横越流堰として考える。流入流量を  $Q_{IN}$ 、横越流量を  $Q_{MEA}$ 、流出流量を  $Q_{OUT}$ 、横越流堰高を  $W$ 、横越流堰幅を  $L$ 、水路中央水深のうち横越流部中央水深を  $h$  とする。また、横越流堰中央部を原点とし流下距離を  $x$ 、内岸から外岸に向けての水路横断方向距離を  $z$  とする。実験条件を表1に示す。湾曲水路において本研究では横越流堰の設置位置を湾曲部開始位置から  $\theta = 90^\circ$  を対象とした。これは曲率による遠心力効果が最大となるため横越流堰幅の相違が顕著に現れると考えたためである。また、水路勾配  $I$  はそれぞれの水路とも水平に設置した。

本研究では、横越流堰幅  $L$ 、横越流堰高  $W$ 、流入流量  $Q_{IN}$  を変化させて、横越流堰付近の水深  $h$  を一定間隔で計測した。また、横越流部で横越流量  $Q_{MEA}$ 、水路下流部で流出流量  $Q_{OUT}$  を測定した。

## 3. 実験結果

### 3-1. 水路流下方向水面形

図3に水路流下方向水面形の一例を示す。図3(a)は横軸に湾曲部始端からの流下距離  $x_0$  を、縦軸には横越流堰幅ごとの水深を示している。 $x_0 = 1.10\text{m}$  位置の破線の縦軸は横越流堰中心位置であり、 $\theta = 90^\circ$  である。また、一点破線の横軸は流入流量による限界水深を示している。なお、図は曲率半径  $R = 0.70\text{m}$ 、流入流量  $Q_{IN} = 0.0043\text{m}^3/\text{s}$ 、相対堰高  $1 - W/B = 1.000$  における相対堰長  $L/B$  ごとの水面形を示し、あわせて非越流時の水面形も示している。図から、横越流堰の拡大に伴い横越流量が増大することで水深が低下することが確認できる。相対堰長  $L/B = 0.25$  では、上流から横越流堰上端に向けて水面の低下が確認でき、横越流堰区間で水深の上

キーワード 湾曲水路, 横越流, 流出特性

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科

TEL 0836-85-9300

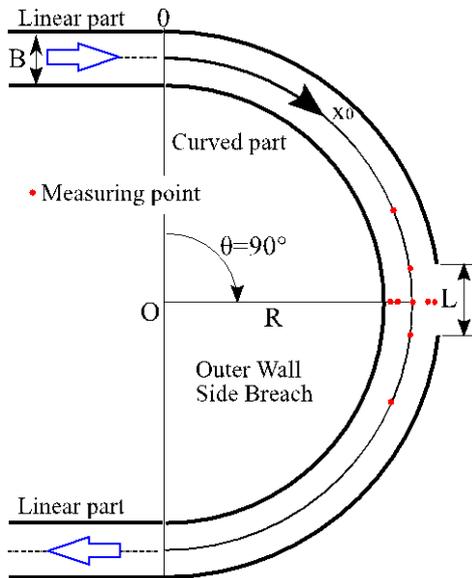


図1 湾曲水路概略

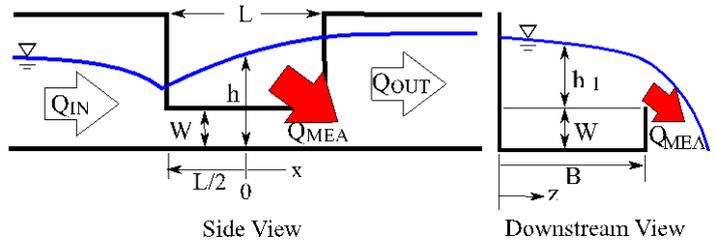
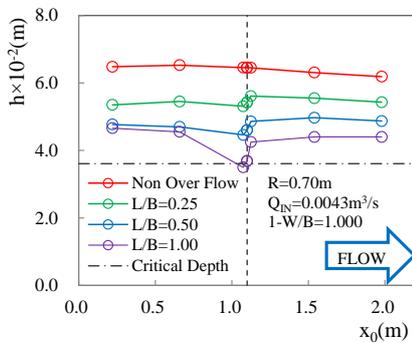


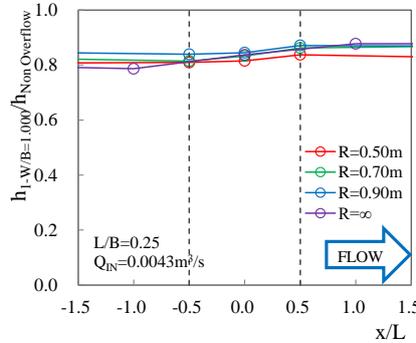
図2 横越流堰概略

表1 実験条件

曲率半径 $R$ (m)	横越流堰形状		流入流量 $Q_{IN}$ $\times 10^{-6}$ ( $m^3/s$ )
	$L$ (m)	$W$ (m)	
$\infty$ (直線), 0.50,0.70,0.90	0.05, 0.10, 0.20	0~0.010 ごと 非越流まで	4300

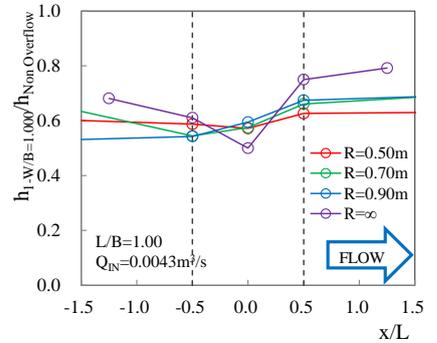


(a) 流下距離と水深の関係



(b) 曲率半径による水位変化

( $L/B = 0.25$ )



(c) 曲率半径による水位変化

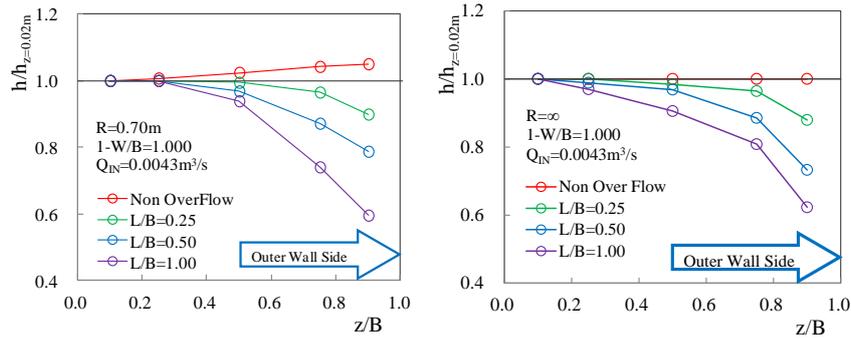
( $L/B = 1.00$ )

図3 流下方向水面形の比較

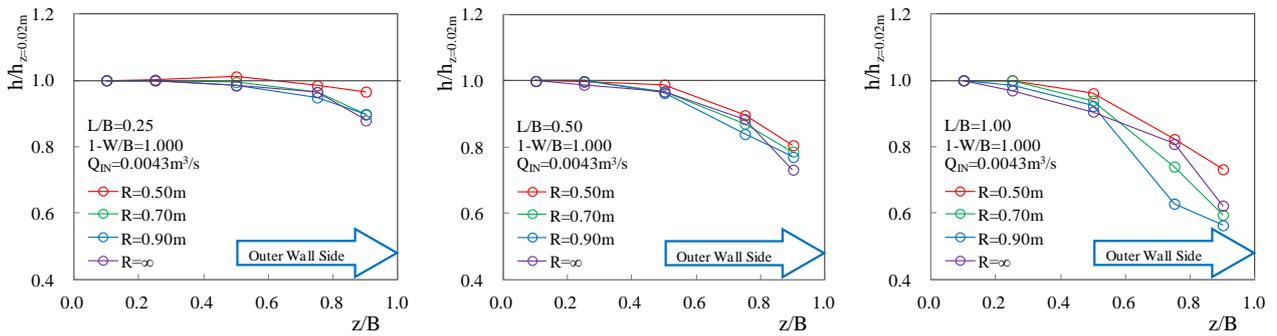
昇が確認できる。 $L/B = 0.50$ では、 $L/B = 0.25$ と同様であるが、横越流量の増大により一様に水深が低下する。横越流堰が水路幅と同様の $L/B = 1.00$ では、横越流堰上端では $L/B = 0.50$ と同程度の水深であるが横越流堰近傍で急激な水深の低下がみられ、横越流堰上端での水深が限界水深を下回っていることが確認できる。

図3(b)は湾曲水路の曲率半径ごとに比較したものである。横軸に横越流堰中心位置からの距離 $x$ を横越流堰長 $L$ で無次元化し、縦軸は相対堰高 $1-W/B = 1.000$ の水深を非越流時水深で除して(ここでは流下方向相対水位と称す)無次元表示している。図中のふたつの破線の縦軸は横越流堰上流端と下流端位置を示している。図3(b)は、流入流量 $Q_{IN} = 0.0043m^3/s$ 、相対堰長 $L/B = 0.25$ における曲率半径ごとの水面形を示している。あわせて比較のため直線水路における同条件の水面形も示している。図から、相対堰長が狭い場合、流下方向相対水位は0.8程度で曲率半径による違いは小さい。詳細に観察すると、流下方向相対水位は横越流堰上流側で曲率半径が無限大と見られる直線水路が最も小さく、曲率半径 $R=0.50m$ から $R=0.70m$ 、 $R=0.90m$ の順となっている。横越流堰下流側では、曲率半径 $R=0.50m$ を除き同等の大きさであることがわかる。

図3(c)は相対堰長 $L/B = 1.00$ における水面形である。縦横軸、流入流量は、図3(b)と同様である。図から、相対堰長が広くなると、全体的に流下方向相対水位は0.6程度まで小さくなる。直線水路では横越流堰区間前後では湾曲水路よりも流下方向相対水位は高いものの、横越流堰中心部では湾曲水路よりも低くなる。湾曲水路では曲率半径による差異は小さいものの、横越流堰上流では曲率半径の大きい $R=0.90m$ が低く、横越流下流では逆に曲率半径の小さい $R=0.50m$ が低いことが確認できる。



(a) 相対堰長による水位変化 (湾曲水路) (b) 相対堰長による水位変化 (直線水路)



(c) 曲率半径による水位変化 (L/B = 0.25) (d) 曲率半径による水位変化 (L/B = 0.50) (e) 曲率半径による水位変化 (L/B = 1.00)

図4 横断方向水面形の比較

### 3-2. 横断方向水面形

図4に横越流堰長中心位置での水路横断方向水面形を示す。縦軸はその位置での水深  $h$  を横越流堰対岸測定点での水深  $h_{z=0.02m}$  で無次元化 (ここでは横断方向相対水位と称す) し、横軸は横断方向距離  $z$  を水路幅  $B$  で無次元表示して相対堰長による違いを示している。なお、 $z/B = 1.0$  が横越流堰位置となる。なお、図4(a)に曲率半径  $R = 0.70m$  の湾曲水路の水位変化を、図4(b)は直線水路のものであり、水理条件は図3(a)と同様である。図4(a)から、非越流時に曲率半径による遠心力の影響を受けて堰位置に向かって横断方向相対水位の上昇が確認できる。また、相対堰長の増大にともない、堰位置の横断方向相対水位が小さくなっていることが確認でき、その低下は対岸測定点にまで及んでいないことが確認できる。図4(b)の直線水路では、横断方向相対水位の低下は対岸測定点にまで及んでいることから、湾曲水路では横越流堰からの流出により横断方向相対水位を下げるると同時に遠心力の作用により横断方向相対水位を押し上げることが推察される。

図4(c)、図4(d)、図4(e)は、曲率半径による水路横断方向水面形を示す。縦横軸は図4(a)と同様であり、流入流量  $Q_{IN} = 0.0043m^3/s$ 、相対堰高  $1-W/B = 1.000$  の横断方向相対水位を示している。あわせて比較のため図中に直線水路における横断方向相対水位も示している。

図4(c)は、相対堰長  $L/B = 0.25$  の場合であり、横越流堰位置からの流出によりすべての水路条件で  $z/B$  の増大にともない  $h/h_{z=0.02m}$  の差は小さくなり、横断方向相対水位は横越流堰付近で  $0.9$  程度である。図4(d)は、相対堰長  $L/B = 0.50$  の場合であり、横断方向相対水位は横越流堰付近で  $0.8$  程度に下がるものの、湾曲水路と直線水路の差異は小さいことがわかる。図4(e)は相対堰長  $L/B = 1.00$  の場合である。曲率半径の急な  $R=0.50m$  が最も水路右岸左岸の差が小さいことがわかる。また、水位差の低下が対岸付近にまで及んでいることも確認できる。曲率半径の増大によりその水位差が大きくなり、横断方向相対水位も  $0.6$  程度となる。一方、直線水路も同程度の水位差を示すが、その低下が対岸付近で最も大きいことが確認できる。

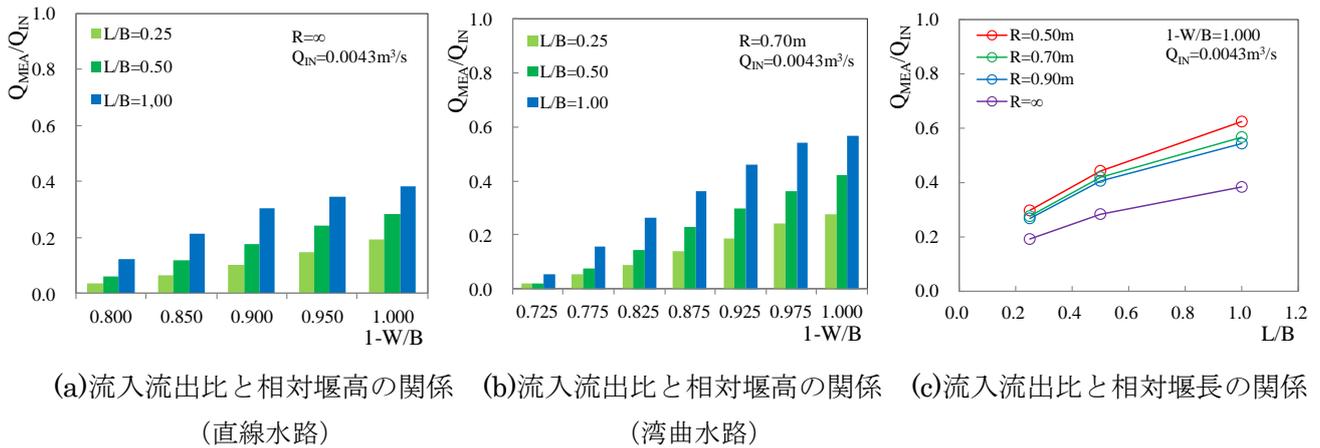


図 5 流入流出比の比較

### 3-3. 流入流出比

図 5 に、流入流量  $Q_{IN}$  と横越流量  $Q_{MEA}$  の比  $Q_{MEA}/Q_{IN}$  (ここでは流入流出比と称す) と相対堰高との関係を相対堰長ごとに整理したものを示す。図 5(a), 図 5(b) はそれぞれ、流入流量  $Q_{IN} = 0.0043\text{m}^3/\text{s}$  での直線水路と湾曲水路の比較である。どちらも、相対堰高、相対堰長が大きくなるにつれ、流入流出比が大きくなることわかる。また、直線水路より湾曲水路の流入流出比が大きいたことが確認できる。

図 5(c) は、相対堰長における流入流出比の関係を示している。図は、流入流量  $Q_{IN} = 0.0043\text{m}^3/\text{s}$ 、相対堰高  $1-W/B = 1.000$  の場合を示している。図から、相対堰長が大きくなると流入流出比が大きくなること、直線水路に比べて湾曲水路の流入流出比が大きくなること、湾曲水路では曲率半径の小さいほど、流入流出比が大きくなるものの、その差異は小さいことが確認できる。

### 4. おわりに

本研究で得られた主な結果を以下に示す。

1. 流下方向水面形から、湾曲水路においても相対堰長の拡大によって水深は低下し、本研究の条件では相対堰長  $L/B = 1.00$  では、横越流堰上端での水深が限界水深より低くなる。また、相対堰長が狭い場合、流下方向相対水位は 0.8 程度で曲率半径による違いは小さい。相対堰長が広くなると、流下方向相対水位は 0.6 程度まで小さくなるが、湾曲水路の曲率半径による差異は小さい。
2. 横断方向水面形から、相対堰長の拡大にともない、堰位置の横断方向相対水位が小さくなる。相対堰長が狭い場合、直線水路、湾曲水路とも横断方向相対水位は 0.9 程度である。相対堰長が広くなると湾曲水路の曲率半径  $R=0.50\text{m}$  の条件が横断方向相対水位の差が小さくなる。曲率半径の増大により横断方向相対水位も 0.6 程度になる。一方、直線水路も同程度の傾向を示すが、対岸付近でも横断方向相対水位が低下している。
3. 流入流出比から、直線水路、湾曲水路とも相対堰高、相対堰長が大きくなるにつれ、流入流出比が大きくなる。直線水路に比べて湾曲水路の流入流出比が大きくなること、曲率半径の小さいほど、流入流出比が大きくなるものの、その差異は小さい。

### 参考文献

- 1) 朝位孝二, 河元信幸: 曲率半径を考慮した湾曲水路の横越流公式の検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.72, pp.1577-1582, 2016.
- 2) 朝位孝二, 白水達也, 河元信幸: 湾曲水路における横越流箇所と横越流量特性の関係に関する実験的研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.73, No.4, 1709-1714, 2017.
- 3) 朝位孝二, 河元信幸, 白水達也, 白水元: 湾曲水路の内側破堤と外側破堤の流出特性に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, 2018.