

山口大学大学院 学生会員○馬場園寛徳
山口大学大学院 正会員 朝位孝二
山口大学工学部 正会員 河元信幸

1. 緒論

洪水ハザードマップの作成などでは氾濫シミュレーションが必要になる．その場合，河川の一部を破堤させ堰公式を用いて破堤流量を算出することが多い．しかし，一般の河川は蛇行しており通常の堰公式が適用可能か不明な点がある．また横越流公式も直線水路を対象にしていることが多く，蛇行河川の横越流公式は提案されていない．

本研究では，蛇行河川の横越流公式の定式化を試みるものである．その第一歩として，一定曲率の湾曲水路を用いて部分的に側壁を開口し，横越流流れを再現させる．湾曲した流れが横越流する場合の，横越流流量の検討を実験的に行ったものである．

2. 実験装置と実験条件

実験には，図-1 に示すように，水路幅 10cm，上流区間 150cm，湾曲区間 80cm，下流区間 60cm の湾曲水路を用いた．湾曲区間は，曲率半径 (r_c) 35cm とした．また，横越流堰の形状，実験を整理する際に用いた記号を図-2 に示す．横越流堰の高さを W ，水路内横断平均水深 H_0 ，越流水深を a とする．越流水深は図-2 に示すように三カ所計測している． a_1 ， a_2 ， a_3 はそれぞれ上流側壁面から 1cm，中央部，下流側壁面から 1cm の位置の越流水深である．

湾曲水路での水面形を計測した実験 1 と湾曲水路の一部側壁を開口し，横越流流れを誘起した実験 2 のふた通りを行った．実験条件を表-1 に示す．

3. 実験結果と考察

実験 1 の実験結果を図-3 に示す．図は湾曲水路 90° の位置での水路横断方向内外の水深差 (Δh) を示している．縦軸に水路横断方向内外の水深差を，横軸に流量をとっている．図中の実線は，遠心力と横方向の水面勾配のつりあいから求めた理論式から導かれた値である．理論式を式(1)に示す．

$$\Delta h = \frac{bv^2}{gr_c} \tag{1}$$

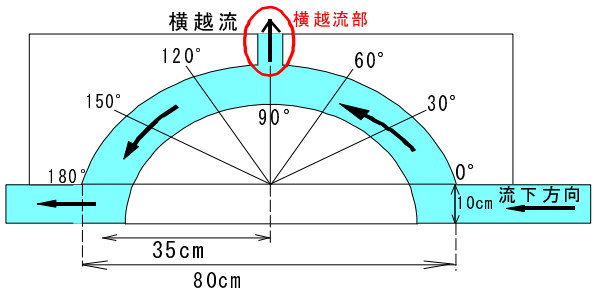


図-1 実験装置概略図

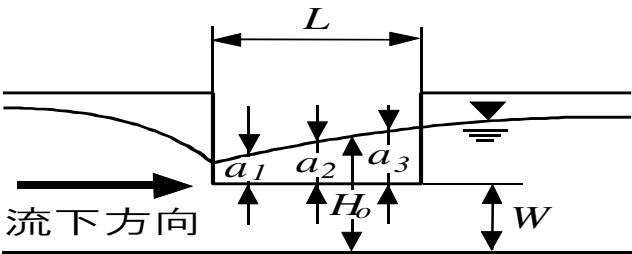


図-2 横越流堰流れに用いた記号

表-1 実験条件

	流量 (cm ³ /sec)	
実験 1	1000, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500	
実験 2	3500, 4000, 4500	
	開口部詳細	
	横越流堰幅 (L)	5 (cm)
	横越流堰高 (H0)	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 (cm)

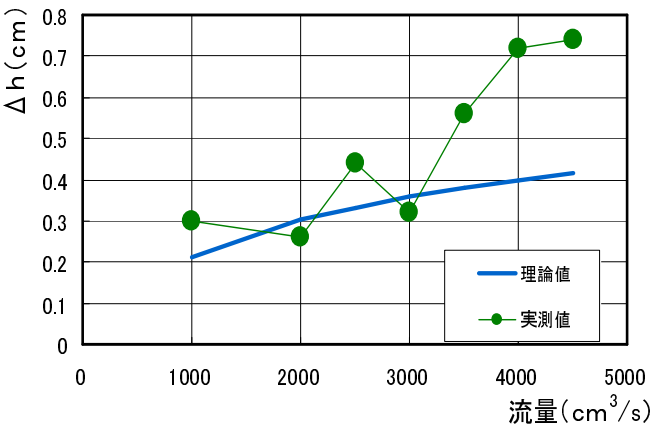


図-3 実測値と理論値の比較

ここで、 b は水路幅、 v は流速、 g は重力加速度、 r_c は曲率半径である。この結果、流量 3500cm/sec 以上で実測値が理論値よりも高い値を示している。これは湾曲水路の遠心力効果に加え、直線区間から湾曲区間に流入する際に生ずる螺旋流が発生し、その影響を受けているものと考えられる。

実験 1 の結果から実験 2 では、遠心力効果の期待できる流量 3500cm/sec 以上で実験を行った。

図-4 は、横越流堰の高さ W と横越流堰流出量 Q_s との関係を示したものである。縦軸には実験 1 で得られた 90° の位置の水路内横断平均水深 H_0 と横越流堰高 W の比を、横軸には横越流堰流出量 (Q_s) / 上流側流入流量 (Q_u) を示している。図から W/H_0 が小さくなると横越流流量が大きくなる。本実験では W を変えても H_0 の変化は小さかった。つまり堰高が小さくなると越流流量が大きくなる。壁面がない場合 ($W/H_0=0$) では、本実験条件下では流出流量比は 45% 程度になる。同じ堰の高さで流入流量を変化させても流量比の違いは小さいことが確認できる。

図-5 は横越流堰流出量 Q_s とその時の越流水深 a の関係を示したものである。横越流堰越流水深は 3 カ所測定した水深の平均を用いた。平均の方法として算術平均 ((2) 式)、幾何平均 ((3) 式) の 2 種類を用いた。

$$\text{算術平均} \quad \bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \quad (2)$$

$$\text{幾何平均} \quad \bar{a} = \sqrt[3]{a_1 \times a_2 \times a_3} \quad (3)$$

$$Q = C\sqrt{2gL}a^{3/2} \quad (4)$$

長方形堰では越流流量は越流水深の $3/2$ 乗に比例する。そこで越流公式として式(4)を仮定した。図中の実線は直線近似したものであるが、相関係数が 0.9 を越えており、式(4)の妥当性が確認できる。

図-6 は、流量係数と横越流堰高の関係を示したものである。流量係数は (4) 式から逆算した。

図中の点線は正面越流で一般に用いられている本間の公式で用いられている流量係数である。図から、横越流堰高が高くなると流量係数も変化することがわかる。横越流流れでは流量係数が堰上下水位と密接に関係しているが、湾曲水路でそれらに加え、曲率半径の効果も考慮する必要があると考えられる。

4. 結論

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- ・湾曲区間入り口近傍で螺旋流が生じ、円弧による遠心力効果と相まって水面形に影響を及ぼす。
- ・横越流堰流出量は、流入流量の違いよりも横越流堰の高さによる影響のほうが大きい。
- ・本条件下での湾曲水路の横越流堰の流量係数は一定値とはならなかった。流量係数の算出のためには、横越流堰高さに加え、堰上下水深と曲率半径の効果も考慮する必要があると考えられる。

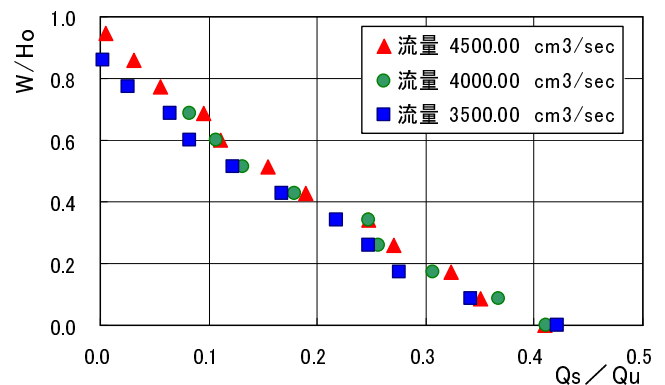


図-4 横越流堰高と越水流量の関係

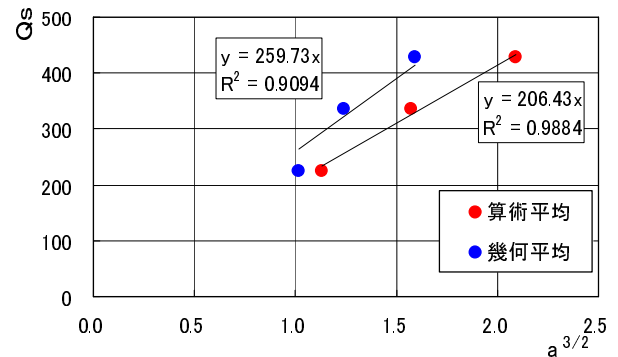


図-5 横越流堰流出量と越水水深の関係

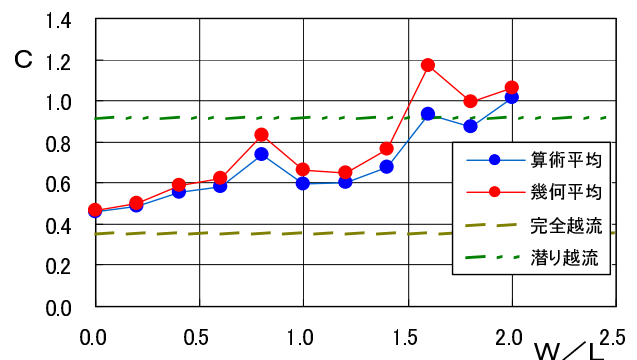


図-6 流量係数と横越流堰高の関係