

湾曲水路の横越流における 横越流箇所と流出角度に関する実験的研究

木原凜¹・三戸裕矢²・朝位孝二²

¹山口大学社会建設工学科, ²山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

近年の気候変動に伴い、河川堤防の破堤に伴って生じる洪水災害への対策が課題となっている。河川堤防が破堤する際に横越流が生じることから、横越流は河川堤防の破堤とみなすことができる。また、破堤による流出は水路横断方向に対して角度をもって起きることから、破堤氾濫流の流出角度は洪水被害を予測する上で重要な要素である。

三戸ら¹⁾は、最大の水衝部となる位置に横越流堰位置を固定し、直線水路と湾曲水路における横越流の流出角度について実験的に研究を行った。湾曲水路での流出角度は流れが常流の場合に直線水路と比べて曲率半径による遠心力の影響が堰上流端側での流出角度に強く表れていることを示した。本研究は、三戸ら¹⁾の研究の延長として、横越流堰箇所ごとに遠心力効果などの影響による流出角度の差異について明らかにすることを目的とし、様々な堰位置での流出角度について実験的に研究を行う。

2. 実験装置と実験条件

図-1 に実験水路の概略を示す。実験は貯水槽・水路部で構成される湾曲水路で行う。水路幅 $B = 0.20\text{m}$ 、横越流堰幅 $L = 0.20\text{m}$ は固定であり、曲率半径を R 、円弧中心に対して湾曲部上流端と横越流堰中央部がなす角を ϕ とする。図中の赤点は計測点であり、水深と流速を計測する。

図-2 に横越流堰の形状を示す。堰中央部、上流端、下流端の水深をそれぞれ h 、 h_1 、 h_2 とし、流入流量を Q_{IN} 、流出流量を Q_{OUT} 、横越流流量を Q_L 、越流部上流側の流出角度を θ_1 、越流部下流側の流出角度を θ_2 とする。実験条件を表-1 に示す。曲率半径を2種類、堰設置位置を3種類、流入流量を6種類、フルード数を6種類設定した。フルード数は水路末端の堰高さを調整することにより設定しているため、水路末端の堰高さが0である場合をフルード数最大としている。

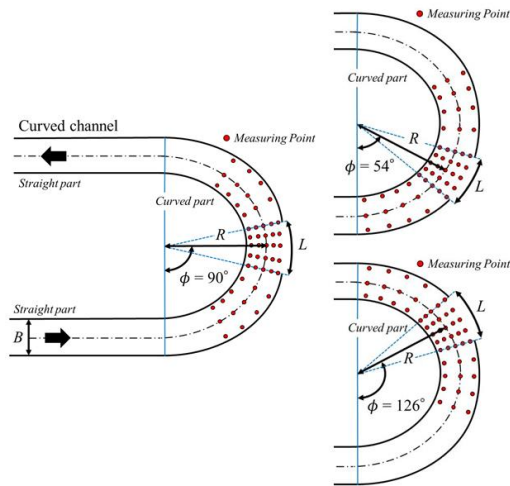


図-1 水路概略図

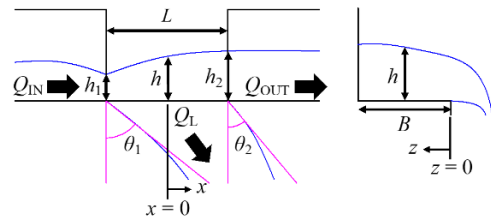


図-2 横越流堰の形状

表-1 実験条件

曲率半径 $R(\text{m})$	湾曲水路 堰設置位置 $\phi(^{\circ})$	流入流量 $Q_{IN} \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{s})$	フルード数 $Fr_1 = \frac{Q_{IN}/(Bh_1)}{\sqrt{gh_1}}$
0.50 0.70	54	1.5	0.65
		1.9	0.70
		2.2	0.80
	126	2.7	0.90
		3.0	0.95
		3.4	Max(1.0~1.1)

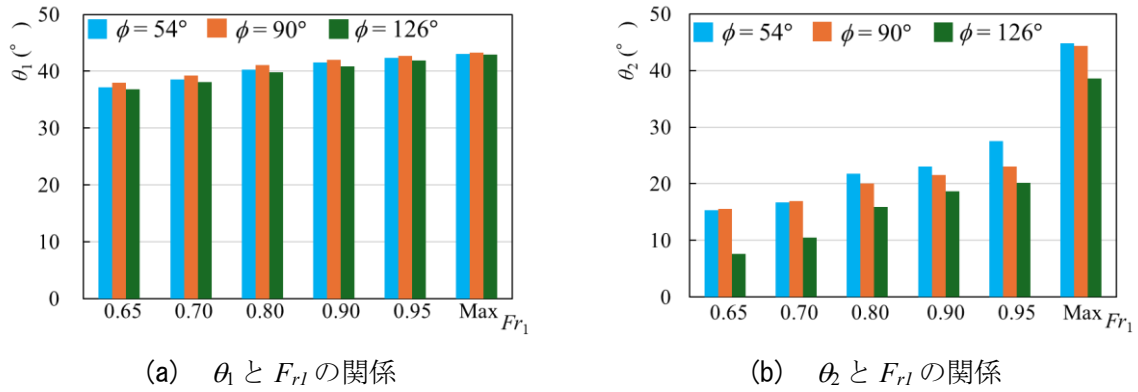


図-3 フルード数と流出角度の関係 ($Q_{IN} = 3.4 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$, $R = 0.70\text{m}$)

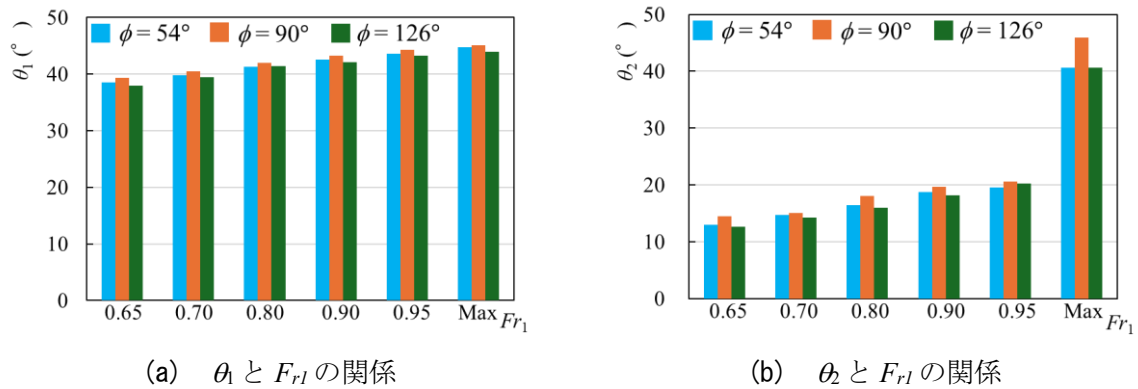


図-4 フルード数と流出角度の関係 ($Q_{IN} = 3.4 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$, $R = 0.50\text{m}$)

3. 実験結果

(1) 堰設置箇所ごとのフルード数と流出角度の関係

図-3 にフルード数と流出角度の関係の一例として $R = 0.70\text{m}$, $Q_{IN} = 3.4 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$ での結果を示す。 θ_1 と θ_2 に共通する傾向として、流出角度の値の大小関係は大部分で $\phi = 90^\circ$, $\phi = 54^\circ$, $\phi = 126^\circ$ の順に値が大きい。 θ_2 において $F_{r1} = 0.95$ でのみ、 $\phi = 54^\circ$ よりも $\phi = 126^\circ$ での θ_1 が大きい。

θ_1 と θ_2 の相違点として、すべての堰位置において流出角度の値に大きく表れている。流れが常流である条件では、フルード数が増加するに従って θ_1 は緩やかに増加するが、 θ_2 は θ_1 よりも低い値から緩やかに増加していき、常流から射流となった際に値が急激に増加している。これらの傾向は他の流入流量の条件においても同様に見られる。流入流量と流出角度の関係は、流入流量が少ないほど θ_1 , θ_2 の値が小さくなるという傾向が堰位置やフルード数、曲率半径によらず表れている。

(2) 曲率半径ごとのフルード数と流出角度の関係

図-4 に $R = 0.50\text{m}$, $Q_{IN} = 3.4 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$ でのフルード数と流出角度の関係を示す。 $R = 0.50\text{m}$ でのそれぞれの流出角度について、 θ_1 は前述した $R = 0.70\text{m}$ での結果と同様に $\phi = 90^\circ$, $\phi = 54^\circ$, $\phi = 126^\circ$ の順に値が大きい傾向が表れている。一方で、 θ_2 は異なる傾向を示している。堰設置位置 ϕ ごとの θ_2 の大小関係が一貫しておらず、 $F_{r1} = 0.65, 0.70$ において $\phi = 90^\circ$, $\phi = 54^\circ$, $\phi = 126^\circ$ の順に値が大きいのが、 $F_{r1} = 0.80, 0.90, 0.95, \text{Max}$ においては $\phi = 54^\circ$, $\phi = 90^\circ$, $\phi = 126^\circ$ の順に値が大きいという傾向がみられる。同じ流入流量における $R = 0.70\text{m}$ の結果である図-3 との比較では、堰設置位置 ϕ ごとの大小関係が $F_{r1} = 0.80, 0.90, 0.95, \text{Max}$ において大きく異なっている。フルード数ごとでの流出角度の値の変動は $R = 0.50\text{m}$ において大きくなっており、曲率半径が変化したことによる遠心力効果の影響がより顕著に表れている。

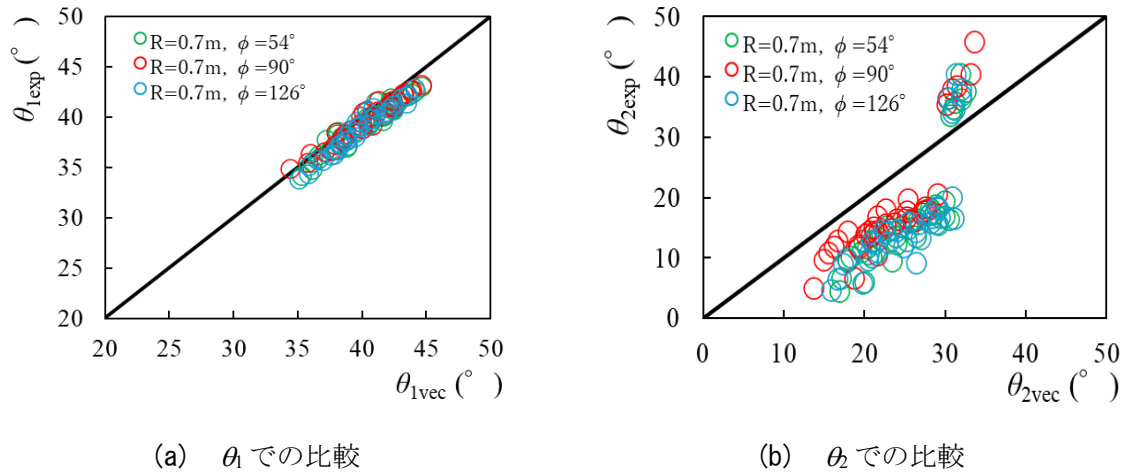


図-6 流速ベクトルと流出角度の実測値の比較 ($R = 0.70\text{m}$)

(4) 流速ベクトルの角度と流出角度の実測値の比較

図-6 に流速ベクトルの角度と流出角度の実測値の比較を示すグラフの一例として、 $R = 0.70\text{m}$ の結果を示す。(a)に θ_1 、(b)に θ_2 について示している。

θ_1 について、いずれの堰位置でもデータは線形的に分布し、全体のデータは線形的に分布している。実測値と比べてやや過大評価のデータが多いものの、データのばらつきはほとんどなくまとまっている。堰位置ごとの相対誤差について、 $\phi = 54^\circ$ では3.23%、 $\phi = 90^\circ$ では1.97%、 $\phi = 126^\circ$ では2.85%であり、 $\phi = 90^\circ$ で最も高い精度が得られている、全体の相対誤差の値は2.45%を示しており、良好な精度が得られている。

一方で、(b)に示す同じ曲率半径における θ_2 のデータには全体のデータに大きくばらつきがあり、実測値と比べて大きく過大評価となっているデータと、過小評価となっているデータの群がある。堰位置ごとの相対誤差について、 $\phi = 54^\circ$ では68.67%、 $\phi = 90^\circ$ では54.44%、 $\phi = 126^\circ$ では117.44%であり、どの堰位置においても精度は著しく低い結果が得られている、全体の相対誤差の値は71.69%を示しており、 θ_1 に対して比較的低い精度となっている。

$R = 0.50\text{m}$ においても、 θ_1 の全体の相対誤差は3.23%を示しており、 $R = 0.70\text{m}$ での精度より低いものの、良好な精度が得られている。 θ_2 は $R = 0.70\text{m}$ での結果と同様に、 θ_1 に対して著しく低い精度となっている。

4. おわりに

本研究では湾曲水路の横越流における横越流箇所と流出角度に関する実験的研究を行った。 θ_1 は明確な傾向が各パラメータで見られた。今後堰位置ごとの流出角度を検討していく上で、さらに多くの曲率半径、堰位置等の条件を加えて横越流堰上流側の流出角度を中心に分析していくことが必要であると考えられる。実際の河川堤防の破堤において、下流側の流出は氾濫域が流出角度を短時間で上回るケースが多くあり、破堤部下流側の流出角度が上流側の流出角度よりも検討する意義が薄いことも踏まえておくべきである。このことから、今後は横越流堰上流端側の流出角度 θ_1 を中心に算定式の開発を進めていく。

参考文献

- 1) 三戸裕矢, 朝位孝二, 渡辺勝利: 直線水路と湾曲水路の横越流における流出角度に関する実験的研究, 土木学会論文集 B1(水工学), 2025