

射流中の横越流の排出機能に対するフラップ板設置の影響 Effect of Installation of Flap Plate on Drainage Ability Passing over Side Weir in Supercritical Flow

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田陽一
日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○細川康司

1. はじめに

近年、異常気象やゲリラ豪雨の発生により、雨水の排水機能が低下し、浸水被害が発生している。浸水被害を未然に防ぐ方法として分水施設や貯留施設の設置が有効である。雨水管内や河川の水位上昇を低減させる方法として横越流を利用した方法が挙げられる。従来、流量調節として、横越流を利用した流量分配^{1)~4)}が適用される。横越流堰の分水特性に関する研究はParnley(1905)により始められ、数多くの研究者らによって検討されてきた⁵⁾。水理公式集に掲載されているように、De Marchi(1934)は横越流区間において摩擦損失が微小で比エネルギーが一定との仮定に基づき、横越流堰の流量式を理論的に導出した⁶⁾。その後、接近流が常流・射流においても、流量式に含まれる流量係数の定式化が行われた。射流中の流量分配については、Hagerらによって検討がなされ、解析的に横越流部の水面形を推定している⁴⁾。また、横越流部に整流板(プレート)を用いて、流出口の幅を変化させて、横越流部から流れる流出形状や流出角度について検討した例はある⁴⁾。しかしながら、流量分配比に着目しているものではない。この場合、整流板を設置することで従来から示されている越流量式の適用はできない。急勾配区間において貯留管や調節池に流量分配していく際には、計画的な流量調節が必要である。これは、接近流が射流の場合、横越流区間で過剰な流量が流出していくためである。射流中の横越流から流出される流量を制御し、効率よく、かつ流れを減勢させた上で貯留施設に流入させることが重要である。

本研究では、急勾配水路を対象に、排出流量の制御および流れの減勢方法としてフラップを用いた流量調節機能の特徴を示した。横越流堤長 T を一定とし、フラップ設置により開口率 a/A を段階的に変化させた実験を行い、横越流部周辺の流況、横越流部から流出する到達距離、流量分配比を推定し、射流中の横越流の排出機能に対するフラップ設置の影響について検討した。また、横越流堤長 T を変化させた場合の流量分配比の変化について検討した。

2. フラップを用いた流量調節機能の特徴

急勾配水路中にフラップを用いた流量調節機能の概略図を図1に示す。図に示されるように、主要水路の流れが射流の場合、フラップを用いてオリフィス構造として流量調節を行うことが望ましいと考えられる。フラップを設置する際に、射流の流れを直接受けることがないように、流れの向きと逆向きに 45° とする。これは横越流部から排出される流れの減勢および排出流量の制御をすることができる。



図1 流量調節機能概要図

3. 実験方法

実験は、水路幅80cm、水路高さ60cm、長さ15mを有する矩形断面水路に図2に示す横越流模型を設置した。主要水路(幅 $B=0.376\text{m}$ 、長さ $=5.8\text{m}$)を右岸側に横付けするように設け、実験水路底面から10cm底上げした状態で設置した。水路勾配は急勾配を対象とするため $1/100$ とした。主要水路上流端から2.6m下流側の左岸側に堰上げ高さ $S=10\text{cm}$ 、越流天端厚さ3cmの横越流部を設けた。流量規模を示す相対水深 dc/B (dc :総流量から定義した限界水深)を表1に示す範囲で変化させた。フラップは、高さ10cm、幅1cmの薄い合板である。図に示されるように、フラップを流れの向きと逆向きに 45° にオリフィス内に設け、フラップの数を間引くことで設置間隔を調整し、開口率 a/A (a :横越流区間の面積をフラップ幅で差し引いた面積、 A :横越流区間の全面積)を変化させた。ただし、フラップを間引くにあたって、フラップの設置間隔を各オリフィス幅が同一となるように均等に間引くように設置した。また流量測定について総流量は、実験水路下流端の全幅刃型堰によって推定した。横越流部を流れる流量は、横越流部下流端から1m下流側に、主要水路に対して横付けするようにポータブル堰を設け、ポータブル堰の越流水深を測ることで算出される。水深測定はポイントゲージを用いている。

表1 実験条件

相対堰長比 T/B	水路勾配 $i(-)$	相対水深 dc/B	開口率 a/A
2.13	1/100	$0.406 \leq dc/B \leq 0.511$	1.000
		$0.406 \leq dc/B \leq 0.511$	0.988
		$0.406 \leq dc/B \leq 0.511$	0.975
		$0.406 \leq dc/B \leq 0.510$	0.963
		$0.406 \leq dc/B \leq 0.507$	0.950
		$0.406 \leq dc/B \leq 0.503$	0.938
		$0.406 \leq dc/B \leq 0.503$	0.925
		$0.406 \leq dc/B \leq 0.505$	0.913
		$0.406 \leq dc/B \leq 0.505$	0.813
1.33		$0.406 \leq dc/B \leq 0.507$	$0.900 \leq a/A \leq 1.000$
2.66		$0.405 \leq dc/B \leq 0.506$	$0.900 \leq a/A \leq 1.000$

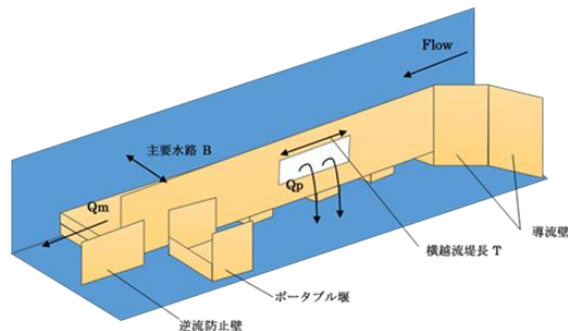


図2 横越流模型概要図

キーワード 射流, 横越流, 流量分配, 浸水対策, 流量制御

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8, TEL: 03-3259-0409, E-mail: yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

4. 横越流部を流出する流況区分

横越流から流出する流況は、主要水路の流れと反対方向に落下する流況（逆向き流れ）、主要水路の流れと同じ方向に落下する流況（順流流れ）、主要水路の流れに対して直交するように流れる流況（直交する流れ）の3種類に大別される。流況区分について開口率 a/A と dc/B との関係で整理したものを図3に示す。図に示されるように開口率 a/A が相対的に小さい場合、逆向き流れが形成される。また、 a/A が大きくなるにつれ、直交する流れに遷移し、やがて順流流れとなる。なお、同一の開口率 a/A に対して流量規模を示す dc/B によって流況が異なる。図中実線は、各流況の境界線を示し、その境界線は a/A が大きくなると、 dc/B が小さくなる。これは開口幅が大きくなることで、運動量が大きくなり下流方向に流れやすくなるためと考えられる。

5. 相対的な到達距離

横越流部から流出する流れが貯水池に衝突するまでの水平距離 L と堰上げ高さ S との比 L/S について、 $L/S=f(dc/B, a/A)$ の関係で整理したものを図4に示す。図に示されるように、 dc/B が大きくなるにつれて、 L/S が大きくなる傾向を示す。また、開口率 a/A が1に近くなるほど、 L/S が大きくなる傾向を示す。これは、 dc/B および a/A が大きくなることによってオリフィスから流出する運動量が大きくなるためと考えられる。図に示されるように、逆向き流れより順流流れの方が到達距離は大きくなる傾向を示す。なお、 $a/A=1.0$ の場合、本実験ではオリフィスからの流れが側壁に衝突したため、 L/S が適切に評価できていないものと解釈し、図4にデータプロットしていない。

6. 流量分配比 Q_p/Q_m の変化特性

横越流部下流側の主要水路側の流量 Q_m とオリフィス開口部からの流量 Q_p との比、 Q_p/Q_m について $Q_p/Q_m = f(dc/B, a/A)$ の関係で整理したものを図5に示す。図に示されるように、 dc/B が大きくなるにつれ、 Q_p/Q_m が大きくなる傾向を示す。また、 dc/B が小さい場合、開口率 a/A による流量分配比の変化は少ないが、 dc/B が大きくなるにつれ開口率 a/A による流量分配比 Q_p/Q_m の変化が大きくなる。なお、 $a/A=1.00$ の場合、同一の dc/B に対して流量分配比 Q_p/Q_m が最も大きくなる。オリフィス内にフラップを設置することにより、 a/A の変化に伴い、オリフィスから流出する流向が異なるようになり、 dc/B による Q_p/Q_m の変化傾向が異なる。オリフィスから流出する流向が逆向きの場合、 a/A による Q_p/Q_m の違いは小さい。その一方、流出する流向が順流方向になると、オリフィス開口部の底面に沿う流れが形成され、 a/A による Q_p/Q_m の違いが大きくなる。特に、開口率 $a/A=0.963$ より大きい場合、 dc/B による Q_p/Q_m の変化が異なり、オリフィス開口部の底面に沿う流れが形成されるようになる。

以上の結果から、オリフィス開口部にフラップを設置することによってオリフィスからの流出流量の調整が可能となることが分かった。

7. 相対横越流堤長 T/B に対する流量分配比 Q_p/Q_m の影響

主要水路幅 B と横越流堤長 T との比 T/B を変化させた場合の流量分配比 Q_p/Q_m について $Q_p/Q_m = f(dc/B, a/A)$ の関係で整理したものを図6に示す。図に示されるように相対横越流堤長比 T/B が大きいほど流量分配比が増加する傾向がある。また、堰長比を変化させた場合でも、オリフィス内にフラップを設置することで段階的に流量分配比 Q_p/Q_m を制御することが可能である。

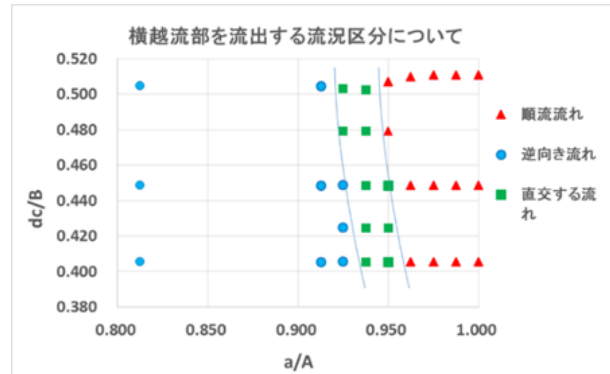


図3 射流中の横越流部を流出する流況区分

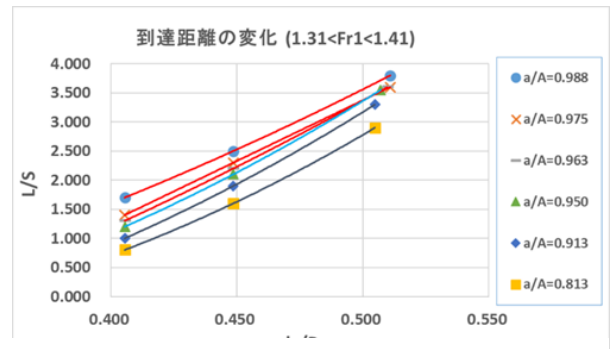


図4 $L/S=f(dc/B, a/A)$ の関係

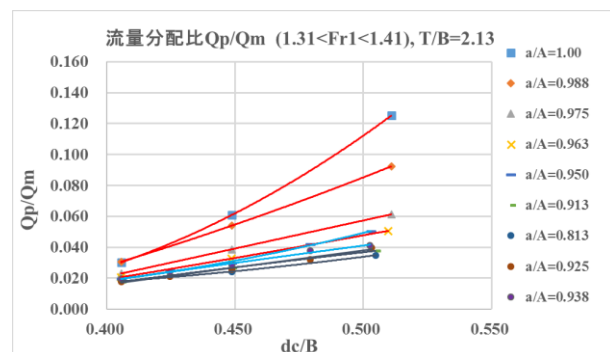
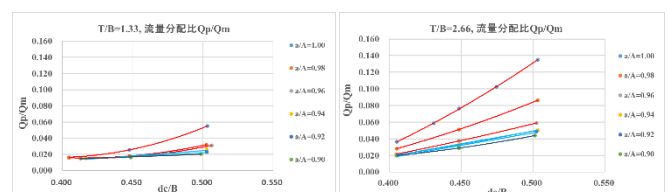


図5 $Q_p/Q_m=f(dc/B, a/A, T/B)$ の関係 ($T/B=2.13$)



a) $T/B=1.33$ の場合 b) $T/B=2.66$ の場合

図6 $Q_p/Q_m=f(dc/B, a/A, T/B)$ の関係

参考文献

- 1) 大津岩夫, 安田陽一, 高橋正行共著: 水理学—理論と適用—, 理工図書, 第4版, pp.161-163, 2013.
- 2) 安田陽一, 篠崎遼太, 石川真: 急勾配水路における流量分配の提案とその可能性, 第42回土木学会関東支部, CD-ROM, 2015.
- 3) Miller, D.S.(Editor), Discharge Characteristics, IAHR Hydraulic Structures Design Manual 8, Taylor & Francis, New York, pp.37-43, 1994.
- 4) Willi H. Hager: 下水道水理学—理論と実務—(日本語版) 第17章分水水路, 公共投資ジャーナル社, 第1版, pp.423-453, 2008.
- 5) 荒尾慎司, 瀧田康雄, 楠田哲也: 直線水路における横越流堰の分水特性に関する理論的研究, 下水道協会誌, Vol37, No.448, pp.139-150, 2000.