

射流中の横越流の流出制御に関するフラップ板設置の影響

Effect of Installation of Flap Plate on Drainage Control Passing over Side Weir in Supercritical Flow

○細川康司¹, 安田陽一²
Koji Hosokawa¹, Yoichi Yasuda²

Abstract: The drainage system in steep slope area against strong rain falls is the most important. The flow passing over side weir in steep slope might be helpful for the drainage control. But, there is a few information on the drainage control of the side weir in supercritical flow. The installation of the flap plate in side weir was proposed, and the flow condition passing over the plate could be classified into two categories. The experimental results yield that flap plate installed in the side weir might be effective for the drainage control.

1. はじめに

近年, 全国各地で浸水被害や洪水氾濫が報告され, 局所的な降雨に対する雨水対策には多くの課題が残る. 浸水被害や洪水氾濫を防ぐ方法として, ①河道幅および管径の拡幅, ②貯留能力の増強, ③既設の貯留施設の有効活用などが挙げられる. しかしながら, 自治体の経済性や土地利用の観点から河道幅や管径の拡幅は難しい. そこで河川や雨水管内において横越流堰を利用し, 分水させる方法が用いられる. 従来, 常流中の分水には横越流を利用した流量分配^{[1]-[4]}が適用される. ただし, 地形条件によっては急勾配となることから射流中の分水となる. 横越流堰の分水特性に関する研究は Parmley(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や横越流量を推定している^[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. 急勾配区間では, 流れが射流であり, 主要水路(河川, 雨水管に該当する箇所)において運動量が大きく, 流出流量も多であることから, ハイドログラフで示されるような適切なピークカットにつながる流量分配は難しい. 流量増加に伴い, 初期段階での貯留ではなく, 複数の小規模な貯留施設を設けて計画的にピークカットを実行することが重要である. 本検討では, 急勾配水路を対象に射流中の横越流から流出される流量を制御する方法として, 横越流部にフラップ板を設置することを提案し, 横越流部から流出する流況区分と流量分配比 Q_p/Q に関する実験を行い, 射流中の横越流の流出制御に関する検討を行う.

2. フラップ板を用いた流量調節機能の提案

急勾配水路中の横越流における流出流量の制御方法としてフラップ板を用いた流量調節機能の概要図を Figure 1 に示す. 主要水路の流れが射流の場合, フラップ板を用いてオリフィス構造として流量調節することが望ましいと考える. これは, 霞堤の考え方である洪水調節機能に着目し, フラップ板に適用した. Figure 1 に示すように, 流下方向に対して反対向きに 45°としてフラップ板を設置することで横越流部から流出する流量の制御が期待される.



Figure 1. Flap plate installed in side weir

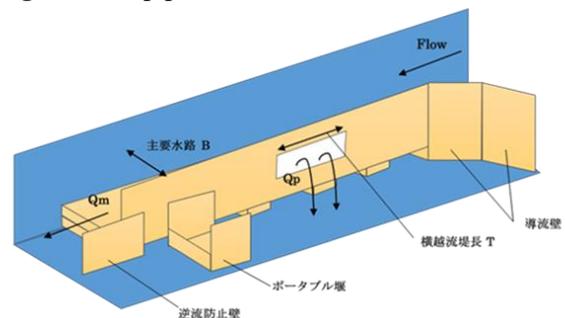


Figure 2. Physical model

Table 1. Experimental conditions

堰長 T(m)	相対堰長比 T/B	水路勾配 i	相対水深 dc/B	開口率 a/A
0.8	2.13	1/100	$0.406 \leq dc/B \leq 0.511$	$0.813 \leq a/A \leq 1.000$
0.5	1.33		$0.406 \leq dc/B \leq 0.507$	$0.900 \leq a/A \leq 1.000$
1.0	2.66		$0.405 \leq dc/B \leq 0.506$	$0.900 \leq a/A \leq 1.000$
0.8	2.13	1/250	$0.405 \leq dc/B \leq 0.500$	$0.900 \leq a/A \leq 1.000$

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 Figure 2 に示す横越流模型を設置した. 主要水路(幅 B=0.376m, 長さ=5.8m)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 1/250 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=10cm, 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 Table 1 に示す範囲で変化させた. フラップ板は, 高さ 10cm, 幅 1cm の薄い合板である. 図に示されるように, フラップ板を流下方向に対して反対向きに 45°として横越流部に設け, 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 :横越流区間の全面積から設置されたフラップの板厚分を差し引いた面積, A :横越流区間の全面積)を変化させた. ただし, フラップ板を間引くにあたって, フラップ板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き設置した. 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図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.

1: 日大理工・院 (前)・土木 2: 日大理工・教員・土木

4. 横越流部を流出する流況

横越流部から流出する流況は、主要水路の流れに対して反対方向に落下する流況(逆向き流れ), 主要水路の流れに対して同じ方向に落下する流況(順流流れ)の2つに大別される。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 **Figure 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。ここで a/A が大きくなるにつれ、やがて順流流れとなる。逆向き流れと順流流れの境界には、これら2つの流れが混在する遷移領域があることがわかる。図中実線は、各流況の境界線を示し、その境界線は a/A が大きくなること、 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。**Figure 3** より流量規模を示す dc/B の変化よりも開口率 a/A の影響が大きいことがわかる。また、相対堰長比 T/B や水路勾配 i を変化させた場合でも、流況区分の差異はないことから、開口率 a/A によって流況区分が変化する事が明らかになった。すなわち開口率 a/A を知ることで、流況区分の判別が可能になる。

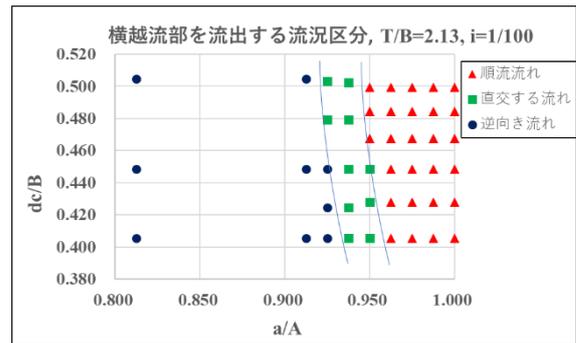
5. 流量分配比 Q_p/Q の解析結果

横越流部上流側の流量(総流量) Q と横越流部から流れる流量 Q_p との比、流量分配比 Q_p/Q について、 $Q_p/Q=f(dc/B, a/A, T/B, i)$ の関係で整理したものを **Figure 4** にそれぞれ示す。**Figure 4. a)**に示されるように、 dc/B が大きくなるにつれ、 Q_p/Q 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小さいが、 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 に対してすべてのパターンで流量分配比 Q_p/Q が最も大きくなる。ここで、横越流部にフラップ板を設置し、開口率 a/A を変化させると、横越流部から流出する流向が異なり、 dc/B による Q_p/Q の変化傾向が変わる。横越流部から流出する流況が逆向き流れの時、流量規模の変化に対して Q_p/Q の変化は小さい。その一方、流出する流況が順流方向になると、流量規模の変化に対して急激に Q_p/Q が増加する。これは、開口率 a/A が大きくなったことで、横方向に流出しやすくなったためである。順流流れが形成される領域では、流量規模の変化に対して Q_p/Q が急激に増加することから、適切なピークカットは難しくなる。ここでフラップ板設置により、逆向き流れを形成させることで、流量規模の変化に対して、 Q_p/Q の増加率は小さく、一定の分配量に制御される。すなわち逆向き流れが形成される領域でピークカットに有効活用できることが考えられる。

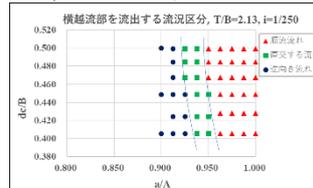
急勾配区間でフラップ板を設置し、逆向き流れを形成させることで、貯留施設1箇所におけるピークカットできる流量は、フラップ板を設置しない場合($a/A=1.00$)と比べ小さくなる。これは、逆向き流れを形成させ、一定の分配量に制御しているためである。流域全体で排水機能を向上させるためには、このような貯留施設を複数箇所に設置し、ハイドログラフで示されるピーク流量を複数の小規模貯留施設に分散させ、ピークカットする流量を分割することが可能となる。以上のことから急勾配区間で段階的に流量調節をすることが、浸水被害および洪水氾濫を未然に防ぐ方法として望ましいと考える。

6. 相対堰長比 T/B および水路勾配 i を変化させた場合の流量分配比 Q_p/Q

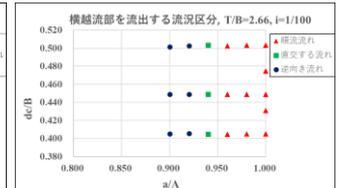
主要水路幅 B と横越流堰長 T との比 T/B を変化させた場合および水路勾配 i を変化させた場合の流量分配比 Q_p/Q について、 $Q_p/Q=f(dc/B, a/A)$ の関係で整理したものをそれぞれ **Figure 4. b)** と **c)** に示す。相対堰長比 T/B が大きいほど流量分配比が増加する傾向がある。水路勾配 i を $1/100$ から $1/250$ に変化させた場合、流量分配比 Q_p/Q は増加する。これは、水路勾配を緩くすることで主要水路底面での抵抗が増加し、運動量



a) $T/B=2.13, i=1/100$

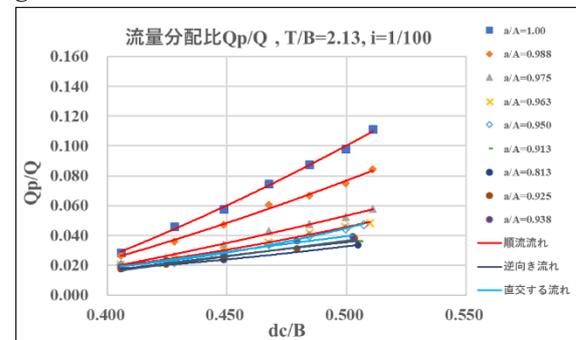


b) $T/B=2.13, i=1/250$

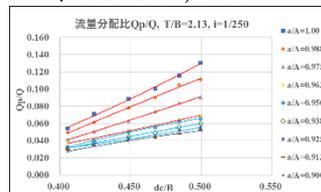


c) $T/B=2.66, i=1/100$

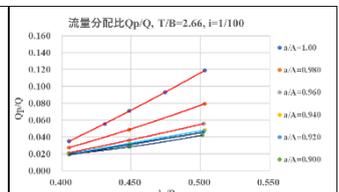
Figure 3. Relation of flow division



a) $T/B=2.13, i=1/100$



b) $T/B=2.13, i=1/250$



c) $T/B=2.66, i=1/100$

Figure 4. Relation of $Q_p/Q=f(dc/B, a/A, T/B, i)$

が小さくなることで、横方向に流出しやすくなったためと考えられる。**Figure 4** に示されるように、堰長比 T/B や水路勾配 i を変化させた場合でも、横越流部にフラップ板を設置し、逆向き流れを形成させることで Q_p/Q の増加率は小さくなることから、段階的な流量制御ができる。

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.