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

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
日本下水道新技術推進機構　石川　眞，亀田　瞬
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．雨水管内および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，流量調整として，横越流を利用した流量分配[1),2),3),4)]が適用されるが，常流中に適用するものである．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[5)]．しかしながら，流量分配比に着目しているものはほとんどない．これは，横越流部を流れる流量の推定がされておらず不明瞭な点が多いことによる．また，横越流部に整流板（プレート）を用いて，流れの方向と直交する形で設置し，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事例はある[5)]が，到達距離に着目しているものもなく，定量的な評価は行っていない．射流中の横越流から排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となる．

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，横越流堤長 T を一定とし，流量規模を変化させ，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する．

2. フラップを用いた流量調節機能の特徴

図 1 は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示す．図 1 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．

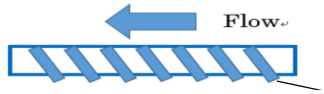

図 1 流量調節機能概要図

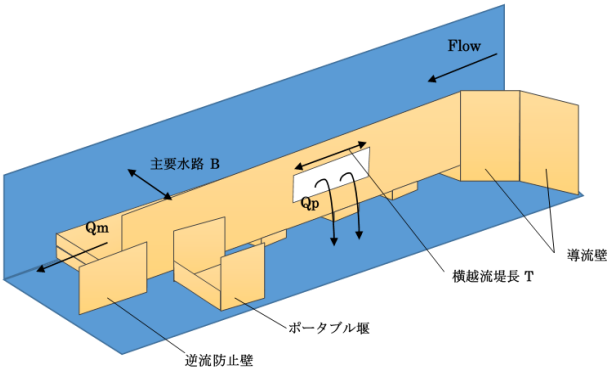

図 2 横越流模型全体図

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＝0.376m、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(図 2 参照)．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 =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) を表 1 に示す範囲で変化させた．写真 1 は横越流部にフラップを設置した状態を示す．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．

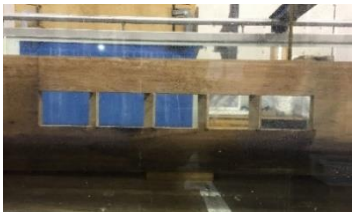

写真 1 フラップを設置した例 (a/A = 0.95)

表 1 実験条件

堰長T(m)	水路勾配 i(−)	dc/B	開口率 a/A
0.8	1/100	0.406～0.511	1
		0.406～0.511	0.9875
		0.406～0.511	0.975
		0.406～0.510	0.9625
		0.406～0.507	0.95
		0.406～0.505	0.9125
		0.406～0.505	0.8125

4. 横越流区間主要水路内の流況

表 1 に示す実験条件のもとで検討した結果，急勾配主要水路内の流れは射流となり，フルード数 Fr は 1.31～1.41 である．横越流部にフラップを設けた場合でも主要水路内の流れが大きく乱されることはない．ただし，開口率 a/A が大きくなるほど，横越流部に設置したフラップに対して衝突する流れの影響が大きくなるため，衝撃波を伴う流れが形成される．この場合，横越流部下流側から 1.5m 下流側では，衝撃波の形成が見られなくなった．主要水路内の流況の観察より,開口率 a/A が小さくなるほど，主要水路内の射流の流況に与える影響が小さくなることを確認した．

キーワード　射流，横越流，流量分配，到達距離，浸水対策
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

5. 横越流部を流出する流況区分

横越流から流出する流況の区分を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．図に示すように，a/A が 0.913 より小さいと，逆向き流れが形成される．その一方, a/A が 0.95 より大きくなると，横越流部からの流況が段階的に跳ね上がる流況となり，順流流れへと遷移する．すなわち，a/A = 0.95 のときに，流況の境界点となることが推定される．図中実線は，流況の遷移領域を示す．

6. 横越流部からの到達距離 L の解析結果

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.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．a/A=0.95，0.963 付近の L/S の変化傾向は他の a/A の変化傾向と異なる．これは，a/A=0.95，0.963 付近では，オリフィスから流出する流向が逆流と順流との境界となり，オリフィスから流出するときの運動量が異なるため曲線の変化傾向が異なるものと考えられる．

7. 流量分配比 Q_p/Q_m の解析結果

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．オリフィスからの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(**写真 4** 参照)，a/A による Q_p/Q_m の違いが大きくなる．なお, 開口率 a/A=0.963 より大きい場合，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．

以上のことから，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．

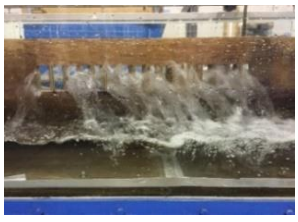

写真 2 逆向き流れ
(a/A=0.8125, dc/B=0.505)

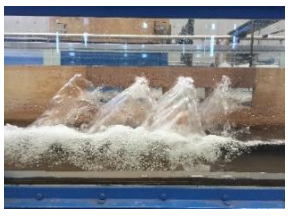

写真 3 順流流れ
(a/A=0.9625, dc/B=0.51)

写真 4 横越流部の底面を沿う流れ

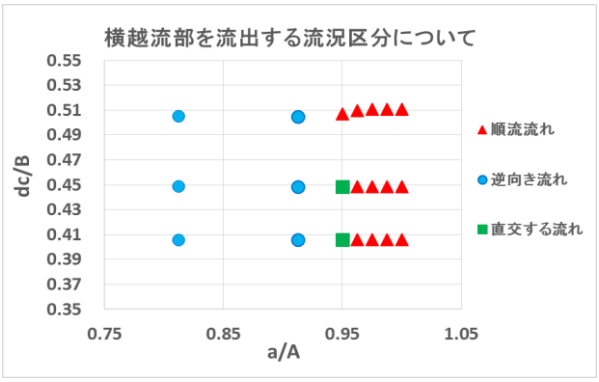

図 3 dc/B と開口率 a/A との関係

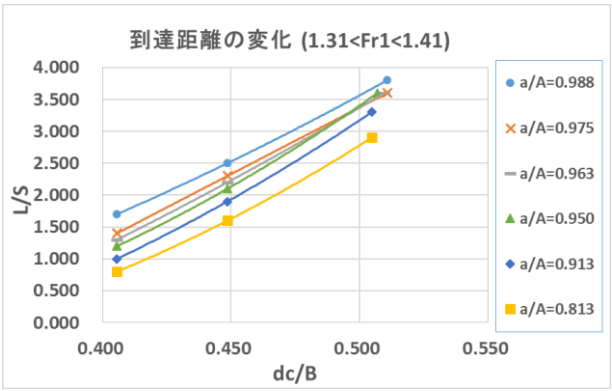

図 4 L/S=f(dc/B, a/A)の関係

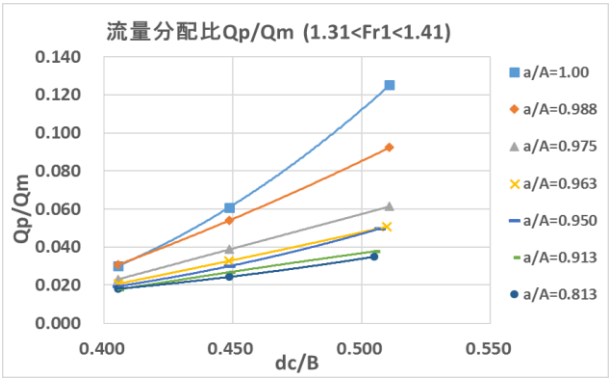

図 5 流量分配比 Q_p/Q_m と dc/B との関係

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, 2013, p.161-163
2) 安田陽一, 篠崎遼太, 石川眞 ： 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, , 2015, CD-ROM.
3) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 常松智博, 武田雅俊 ： 接近流が常流の場合の横流出を伴う流量式, 水工学論文集, 第 48 巻(1), 2004, pp.529-534
4) Miller.D.S.(Editor),Discharge Characteristics,IAHR Hydraulic Structures Design Manual 8 , Taylor & Francis, New York, 1994, pp.37-43.
5) 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, 第一版, 2008, p.423-453.