

急勾配水路における流量分配の提案とその可能性

Proposal and its possibility for distribution of discharge in steep slope canal

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田陽一
日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○篠崎遼太
日本下水道新技術推進機構 非会員 石川 眞

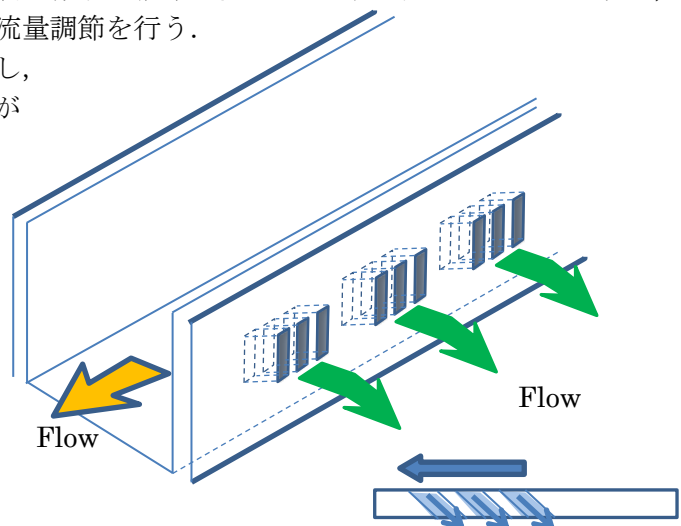
1. はじめに

洪水対策の一つとして、下流域の氾濫被害を回避するために、ピーク流量を軽減するための流量調整機能が求められている。地形条件によっては、急勾配に位置する箇所から排水する必要があるが、洪水流の流況が射流となることが推定される。従来、流量調整として、横越流を利用した流量配分^{1), 2), 3), 4), 5)}が適用されるが、常流中に適用するものであり、射流の場合、横越流による流量配分⁵⁾は難しい。ここでは、射流中の洪水時の流量配分機能を持たせるため、オリフィス形式の排水機能を提案し、急勾配水路における雨水流量調整機能としての可能性を示す。

2. オリフィス形式の雨水流量調整機能の提案

急勾配水路中に設けたオリフィス形式の雨水流量調整機能の概略を図-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、オリフィス構造にして流量調節を行う。

水位がある程度上昇した段階から排出できるようにし、流出口の穴の向きは、射流の流れを直接受けることがないように、流れの方向と逆向きに45度の斜めの切り込み状にオリフィスを設けている。図に示す状態からオリフィス排出流量を増やすためには、オリフィス設置箇所を増やすか、主要水路側にオリフィス前後のわずかな突起を設けてオリフィスを通過する流速を低減して排出流量を増大させる方法がある。



3. 実験方法

幅 80 cm, 水路幅 60 cm, 高さ 60cm の矩形断面水路に主要水路模型(通水幅 $B=40.6$ cm, 高さ 30 cm (スリット設置区間 20 cm), 長さ 5.8 m)を設置した。

なお、主要水路底面は実験底面水路から 10 cm 上方に位置する。水路勾配は急勾配を対象とするため 1/100, 1/200 とした。

主要水路への流入流量について、水路勾配が 1/100 の場合、 $Q = 0.113 \text{ m}^3/\text{s}$ (上流部の水位が導流壁の上限に対応), $0.0666 \text{ m}^3/\text{s}$ (水位がオリフィス開口直上部に対応) とした。水路勾配が 1/200 の場合、 $Q = 0.113 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0646 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。実験条件を表-1 に示す。

写真 1, 2 はオリフィス型雨水流量調整模型を示す。オリフィス高さを底部から 10 cm とし、流れの方向と逆向きに 45 度の斜めの切り込み状のオリフィスを設けている。また、底部から 5cm までは銀テープで排水しないようにした。側面に沿ったオリフィス幅は 5 mm の場合と 25 mm の場合の 2 種類とした。5 mm の場合、10 cm 区間に 6 か所のオリフィスを設け、オリフィス間の支柱幅を 14 mm とした。25 mm の場合、10 cm 区間に 3 か所のオリフィスを設け、オリフィス間の支柱幅を約 13 mm とした。

鳥瞰図 スリット断面図
図-1 オリフィス型雨水流量調整機能概念図



写真 1 オリフィス幅が 5 mm の場合



写真 2 オリフィス幅が 25 mm の場合

キーワード：洪水流, 雨水流量調整機能, 流量分配, オリフィス, 急勾配水路

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

排出流量を増加させるために、突起物として幅 2 cm、厚さ 1 cm の角材を利用した。突起物を下流側に設置する場合、オリフィス下流端に設置し、上流側に設置する場合、オリフィス上流端から 6 cm 離れたところに設置した（写真 8 参照）。流量測定について、全流量は全幅刃型堰によって測定し、オリフィスからの流出量については検定柵を用いて、測定重量および測定時間から算定した。流速測定には KENEK 製のプロペラ流速計（プロペラ径:2cm）を用いた（平均時間:20 sec, 1 秒間のパルス数を平均）。水深測定はポイントゲージを用いている。

4. オリフィスからの流況

表-1 に示す実験条件のもとで検討した結果、急勾配水路内の流れは射流となり、フルード数 Fr は 1 から 1.5 であった。オリフィス型雨水流量調整機能を設けた場合でも主要水路内の流れは大きく乱れることない。突起を設けた場合が水表面を中心に剥離に伴う衝撃波を伴う流れが形成されたが、オリフィス設置区間より 1.5 m 下流側ではオリフィス付近から生じる衝撃波も観察されなくなる。すなわち、主要水路を流れる射流の流況に与えるオリフィス設置の影響を最小限に抑えたことになる。また、オリフィスが流れ方向の逆向きの切り込み状に設けられていることから、オリフィスを通過する流れは剥離をするが、各オリフィスの下流端で流れが衝突し、主要水路の流れと逆方向に流出するため、オリフィスからの流れは噴出する流れにはならなかった。以下に、オリフィス幅 t と主要水路幅 B との比が異なる 2 ケースで観察された流況を以下に説明する。

4.1 オリフィス幅が 5 mm の場合 ($t/B = 0.0123$ の場合)

オリフィス幅が相対的に小さいため、主要水路を通過する流量に比べてオリフィスから排出する流量が小さい。その結果、写真 3, 4 に示されるように、オリフィスからの流れが放物線を描くような流れ方をする。排出流量が小さいため、3 か所からの流れる状況に大きな差異は見られなかった。なお、水路勾配 1/100 と 1/200 の違いによる流況および流出量の違いは小さかった。これは、オリフィス区間を通過する流速に水路勾配による差異がなかったためと推定される。

4.2 オリフィス幅が 25 mm の場合 ($t/B = 0.616$ の場合)

$t/B = 0.0123$ の場合に比べてオリフィス幅は 5 倍ほど大きいので、オリフィスからの排出流量も大きくなった（写真 5～7）。ただし、主要水路を射流の状態で流れているため、オリフィスを通過するときに形成される剥離域が大きくなる。また、オリフィス設置区間の前後に突起を設けることで、突起によって形成される剥離（写真 8 参照）の影響を受けてオリフィスを通過する流速が軽減され、流入口に見られる剥離域が狭くなり、オリフィスからの流出流量が大きくなる。

表 1 実験条件

	i (-) 水路勾配	$Q \times 10^3$ (m^3/s)	オリフィス 幅 t (mm)	突起 位置*
Case 1	1/100	113	5	なし
Case 2	1/100	66.6	5	なし
Case 3	1/200	110	5	なし
Case 4	1/200	64.7	5	なし
Case 5	1/200	64.7	25	下流
Case 6	1/200	64.7	25	なし
Case 7	1/200	113	25	なし
Case 8	1/200	113	25	下流
Case 9	1/200	113	25	上流

*突起設置状況について、写真 8 参照



写真 3 オリフィスからの流況 (Case 1)



写真 4 オリフィスからの流出状況 (Case 3 拡大)



写真 5 突起がない場合の流況 (Case 7)



写真 6 オリフィス下流側に突起を付けた流況 (Case 8)



写真 7 オリフィス上流側に突起を付けた流況 (Case 9)



1) 突起がない場合

2) 突起をオリフィス下流側に設置

3) 突起をオリフィス上流側に設置

写真 8 主要水路から見たオリフィス周辺の流況

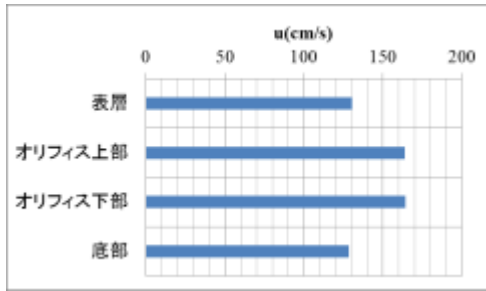


図-2 オリフィス区間の流速 (Case 3)

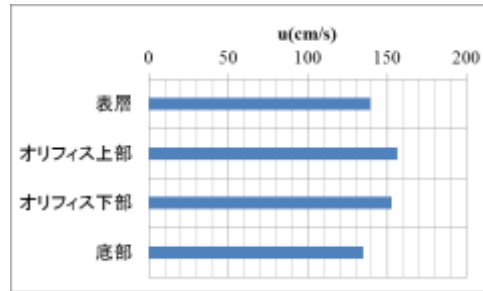
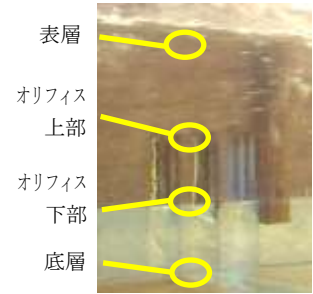


図-3 オリフィス区間の流速 (Case 4)



流速測定位置

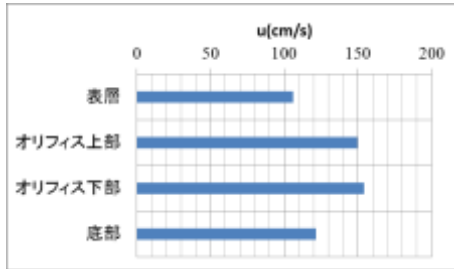


図-4 オリフィス区間の流速 (Case 8)

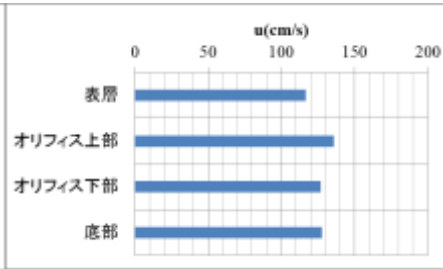


図-5 オリフィス区間の流速 (Case 9)

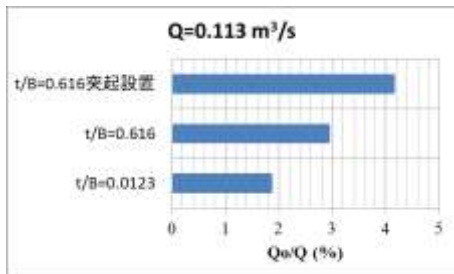


図-6 流量配分比の比較 ($Q=0.113\text{m}^3/\text{s}$)
(Cases 3, 7, 9)

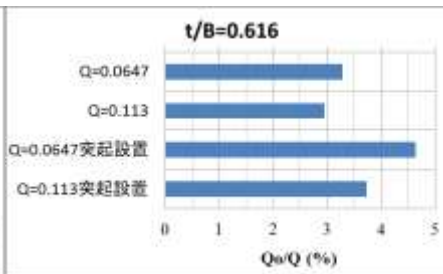


図-7 流量配分比の比較 ($t/B=0.616$)
(Cases 5, 6, 7, 8)

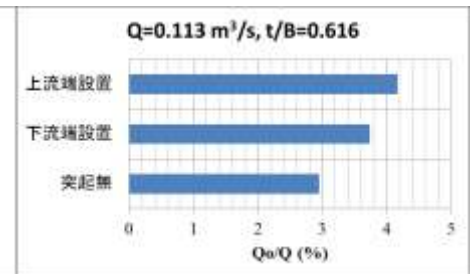


図-8 流量配分比の比較 (突起設置の有無)
(Cases 7, 8, 9)

5. オリフィスを通過する流速

図-2～6はオリフィス設置区間の流下方向の流速を計測した結果を示したものである。 $t/B=0.0123$ の場合、図-2, 3に示されるように、流量規模の増加に伴い、射流の流速が増加する。これらの図は水路勾配が $1/200$ の場合であるが、水路勾配が $1/100$ の場合についても同様な傾向を示す。すなわち、検討した範囲では水路勾配による影響は小さい。なお、オリフィス前後に突起を設けていない場合、射流の流速分布とその大きさに対するオリフィス設置の影響は小さいため、相対オリフィス幅 t/B の違いによる流速の違いは小さい。オリフィス区間の直下流側に突起を設置した場合、図-5に示されるように、突起を設置していない場合（図-4参照）と比べて、壁面に沿った流れが突起によって偏向したため、流速がわずかながら小さくなった。オリフィス区間の直上流側に突起を設置した場合、図-6に示されるように、設置していない場合（図-4参照）と比べて、突起によって剥離流れが生じ、オリフィスを通過する流速が減速した。

6. オリフィスからの排出流量と主要水路の流出流量との流量配分比

図-7は水路勾配が $1/200$ であるときの $t/B=0.0123$ の場合と $t/B=0.616$ の場合のオリフィスからの排出流量と主要水路の流出流量との流量配分比 Q_o/Q を同一の流量規模に対して比較したものである。 $t/B=0.0123$ の場合、オリフィス幅が相対的に小さいため、流量規模が $0.113\text{m}^3/\text{s}$ のとき流量配分比 Q_o/Q が 1.89% となった。なお、水路勾配 $1/100$ による流量配分比の違いは小さく、流速が増加した分小さい値を示す。 $t/B=0.616$ の場合、オリフィス幅が大きくなったことによって、流量配分比 Q_o/Q が 2.95% となった。オリフィス設置区間直上流部に突起を設けることで、図-6に示されるように、流速が小さくなるため、流量配分比 Q_o/Q が 4.17% となった。 $t/B=0.616$ のオリフィスを対象に流量配分比 Q_o/Q について、流量規模の違いおよび突起設置有無の違いを検討すると、図-7に示されるように、オリフィスを通過する流速が小さくなると、流量配分比 Q_o/Q が大きくなる。

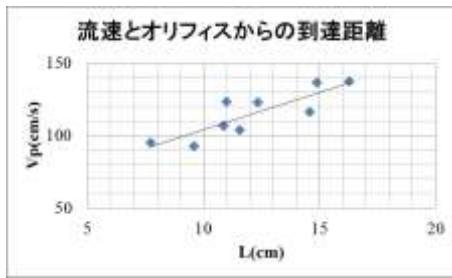


図-10 突入速度と到達距離の関係

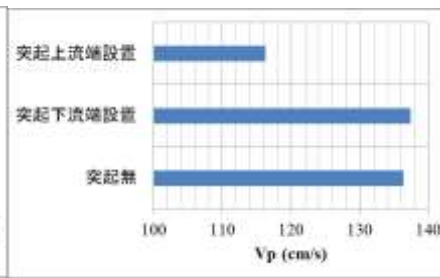


図-11 突起設置有無により突入速度の変化

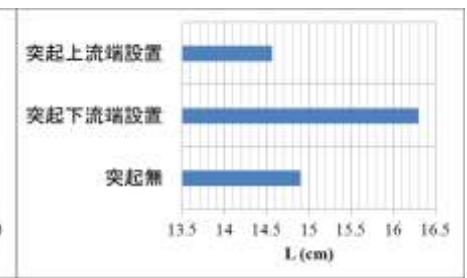


図-12 突起設置有無による到達距離の変化

ことが推定される。また、図-8 に示されるように、流量規模が $0.0647 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合、 $0.113 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合に比べて突起の有無による時間平均された流速の差は大きくないが、突起による乱れの影響が大きいため、突起の有無による流量配分比 Q_0/Q の差が大きい。流量規模が $0.113 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合、オリフィス設置区間の直上流側に突起を設けた場合、直下流部に突起を設けた場合、および突起を設けない場合の流量配分比 Q_0/Q の比較を図-9 に示す。図に示されるように、オリフィス設置区間の流速の変化に伴う流量配分比 Q_0/Q の違いが大きいことが確認される。

8. オリフィスからの流出流速と落下位置

表-1 に示す実験条件から得られたデータを対象に、オリフィスから流出した流れの突入速度 V_p およびオリフィスからの流れが貯留池に到達するまでの距離 L について、整理したものを図-10～12 に示す。図-10 に示されるように、突入速度 V_p の増加に伴い、運動エネルギーが大きくなり、到達距離 L が大きくなる。また、図-11, 12 に示されるように、突起をオリフィス設置区間の上流端または下流端のどちらに置くのかによって、オリフィスからの突入速度および到達距離が異なる。突起をオリフィス設置区間の下流端に設置することによって、突起によどみ点が形成され、オリフィスの流出口に向かう流れと突起を乗り越える流れに分かれ、オリフィスからの突入速度が大きくなったものと考えられる。その一方、突起をオリフィス設置区間の上流端に設置することによって、剥離域が形成され、流速が軽減された状態でオリフィスに突入することから、突入速度が突起設置していない場合に比べても小さくなったものと考えられる。

9. まとめ

射流中の洪水時の流量配分機能を持たせるため、オリフィス形式の排水機能を図-1に示す構造として提案した。表-1の実験条件のもとで、模型を用いて実験的検討を行い、オリフィスを通過する流れの流況および主要水路側から見たオリフィス周辺の流れを観察し、その特徴を示した。また、オリフィス設置区間の流速について水路勾配、相対オリフィス幅 t/B 、および流量規模を変化させ、オリフィスから排出する流況とオリフィスを通過する流速の大きさとの関係を示した。その結果、流速が小さくなることによってオリフィスからの排出流量が大きくなることを示した。また、オリフィス設置区間の前後に突起を設置することによって流速の低減効果が得られ、排出能力が向上することを示した。さらに、突起をオリフィス設置区間上流端に設置することで剥離した流れが流速を低減させ、オリフィスから流出する突入速度を最小限に抑え、到達距離を短くすることが可能となり、急勾配水路における雨水流量調整機能としての方向性を示すことができた。

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3版, 2014.
- 2) 水理公式集(平成11年度版), 社団法人土木学会, 水理委員会発行, 1999.
- 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, pp.529-534, 2004
- 4) Subramanya, K., and Awasthy, S.C. :Spatially varied flow over side weirs, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.98, No.1, pp.1-10, 1972
- 5) Miller, D.S. (Editor), Discharge Characteristics, IAHR Hydraulic Structures Design Manual 8, Taylor & Francis, New York, pp.37-43, 1994.