

礫間流れによる逆サイフォンを利用した分水流量制御方法の提案

Proposal of discharge control due to seepage flow in stacked boulders through inverted siphon

日本大学理工学部 正会員 安田 陽一

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○福沢 一輝

1. まえがき

全国各地で浸水被害や洪水氾濫が報告されている。このような被害への対策を講じることは喫緊の課題である¹⁾。浸水被害や洪水氾濫を未然に防ぐ方法として、河川や雨水管内において分水させ、一時的に貯留施設に貯留するという方法が用いられる^{2)~4)}。従来では常流区間の水面形が比較的安定している区間の下流域を対象に集水を行っている³⁾。貯留能力の増大をすると、下流域に設置されている貯留施設の大規模化が挙げられるが、費用や土地の制約から実行するのは難しいと考えられる。そのことから、細分化した小規模な貯留施設で分水を行い、集水域全体でピーク流量を減らす方法が有効であると考えられる。分水する施設下の地形条件によっては、射流区間にて分水する必要があると考えられる。分水方法の一つとして、横越流区間にフラップ板を設置した分水流量の制御を提案している³⁾⁴⁾。この提案では接近する流れが安定していることが前提条件となる。

ここでは、逆サイフォンを用いた分水方法を提案する。主要水路に段差を設け、増水しても石組みが崩れない礫で石組みし、礫の設置勾配を変化させ、掃流力が大きくなる適切な勾配を実験的に示した。また、逆サイフォンを利用した分水機能について検討を行った。

2. 逆サイフォンを用いた分水方法の提案

細分化した小規模な貯留施設で分水を行うためには分水流量の制御が必要不可欠となる。また、様々な流況に対しても効果を発揮する必要がある。そこで、主要水路底部にバイパスを設け、逆サイフォンを用いて主要水路外の分水流量調整池に一時貯留し、分水を行う方法を提案する。主要水路に段差を設け、石組みされた礫に浮遊物が堆積しないように石組みの設置勾配を持たす。また、逆サイフォンを利用することによって、主要水路と分水流量調整池のピエゾ水頭の関係から、分水流量調整堰の高さを調整し、貯留施設への流入のタイミングを調整することができる。

3. 実験方法

実験には水路幅 0.80m、水路高さ 0.60m、水路長さ 18m を有する矩形断面水平水路を使用した。図 1 に示す礫設置区間を設けた主要水路模型を水路に設置した(写真 1)。この場合、水路途中に段差を設け、その間に礫を石組みすることにより礫間の隙間から分水する構造とする。段差 s を一定として、礫設置区間の長さ T を変化させることにより、勾配を変化させた。段差 s は 3.2cm とした。勾配を 1/10, 1/8, 1/7, 1/5 と変化させるため礫設置区間の長さ T を 32cm, 25.6cm, 22.4cm, 16cm とした。礫設置区間内の底面流速について検討を行うため、I 型プローブを有する二次元電磁流速計を用いて測定を行った。(測定時間 30 秒, 測定間隔 50ms)。

分水能力についての検討については、幅 $B = 0.373$ m の主要水路に、逆サイフォンを用いた分水模型を設置した(写真 1, 図 2)。バイパスの勾配は水平を対象とした。礫設置区間の段差 s と限界水深 d_c の比 d_c/s を表 2 で示す範囲で変化させ、礫設置区間の長さ T を 0.256m、段差 s を 0.032m とした。なお、礫の設置区間の勾配は事前に浮遊物が掃流されやすい最適勾配を検討した結果から示された 1/8 勾配とした。また、分水調整池における調整堰の高さ H は主要水路礫設置区間最下流端の底面の高さと同じさせるために 0.101m とし、越流水深を測定することによって分水流量を推定した。分水流量調整池幅 B_s は 0.360m、分水流量調整池長さ L_s は礫設置区間とする。礫設置区間内の石組みの間隙については、礫占有体積 V_v と礫設置区間の空間を含めた総体積 V の比である石組みの空隙率 $n=(V_v/V)$ として定義している。

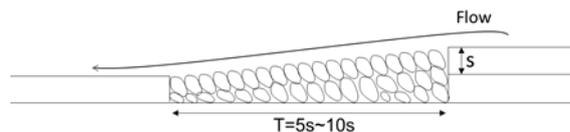


図 1 礫による石組み設置の概要図

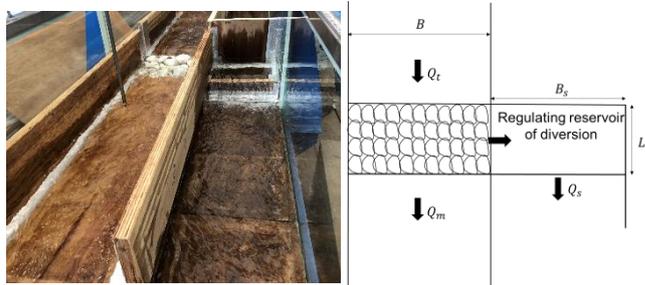


写真 1 逆サイフォンを用いた分水構造模型 (左)

図 2 逆サイフォンを用いた分水構造概要図 (右)

表 1 礫設置区間の最適勾配に関する実験条件

	礫設置区間長 T (m)	水路幅 (m)	段落間の勾配 s/T	段落差 s (m)	段落前後の水路勾配 I	相対水深 d_c/s	段落上のフルード数 Fr
case1	0.32	0.8	0.1	0.32	0	$2.91 < d_c/s < 3.12$	$0.94 < Fr < 1.04$
case2	0.256		0.13				$1.11 < Fr < 1.18$
case3	0.224		0.14				$1.06 < Fr < 1.10$
case4	0.16		0.2				$1.11 < Fr < 1.16$

表 2 礫間流れによる分水能力に関する実験条件

	主要水路幅 B (m)	礫傾斜路長 T (m)	礫傾斜路段落差 s (m)	段落間勾配 s/T	段落前後勾配 I	空隙率 n	相対水深 d_c/s	段落上のフルード数 Fr_1
case1	0.373	0.256	0.0320	0.125	0	0.489	1.44	1.02-1.21
case2							1.85	
case3							2.24	
case4							2.87	
case5							3.31	
case6							3.94	
case7							4.27	

キーワード 礫間流れ, 石組み, 逆サイフォン, 流量制御, 流量分配比

連絡先 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL.03-3529-0409 E-mail: yasuda.youichi@nihon-u.ac.jp

流量を変化させ、主要水路の総流量 Q_t と分水流量 Q_s の比を表す流量分配比 Q_s/Q_t について検討を行った。なお、空隙率 n の評価は、秤を用いて、石組みの空間と礫の総体積分および礫の占有体積分の水の重量を測定し、空隙率を算定した（本実験では、空隙率 n を 0.49 とした）。

4. 礫傾斜路の底面の流速

礫傾斜路の中央部の時間平均流速 u および流下方向成分の乱れ強度 u' について、 $u/V_c = f(x/T, s/T, d_c/s)$, $u'/V_c = f(x/T, s/T, d_c/s)$ の関係で整理したものを図 3 (a), (b), 図 4 (a), (b) に示す。図に示されるように、与えられた d_c/s に対して、礫設置区間の勾配 s/T によって底面付近の流速が異なっていることがわかる。 d_c/s が減少すると、 s/T によっての底面付近の流速の差が大きくなっている。これは、礫の凹凸形状による底面付近の流速の違いが大きくなったものと考えられる。底面付近の乱れ強度については、 d_c/s が増大すると、凹凸形状の影響が大きくなることから、 s/T による乱れ強度が大きくなる。これは、 $s/T = 0.13$ の場合、相対落差 d_c/s による底面付近の時間平均流速比 u/V_c の変化は小さく、相対距離 x/T による時間平均流速比 u/V_c の変化も小さく、その値は 1 に近いものになる。これは組まれた礫の斜面に沿った流れは剥離も小さく、礫の凹凸による乱れが最も抑えられた状態になっていると考えられる。以上のことから、設置勾配が大きくなると流量規模によって剥離が生じやすく、底面付近で滞留する箇所が形成されやすくなる。その一方で、設置勾配が小さくなると礫の凹凸に乱される流れとなり、底面付近の流速の変化が大きくなる。すなわち、勾配が 1/8 前後の場合、礫設置区間内で浮遊物が堆積しにくい勾配であると推定される。

5. 礫間流れから逆サイフォンを通じた分水機能

総流量 Q_t と分水流量 Q_s との比 Q_s/Q_t について、 $Q_s/Q_t = f(d_c/s, s/T, Fr)$ 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、流量規模を表す無次元量 d_c/s が増加すると、流量分配比は減少し、一定値に収束していく傾向が示される。これは、流量規模 d_c/s が増加していくと、運動量が大きくなり、礫設置区間の流向の曲がり角が小さくなり、バイパスに入り込む流量が制御されたためと考えられる。その結果、主要水路の水位と分水流量調整池との水位差が大きくなっている。また、分水流量調整池での水面について、水面の観察から水面変動が小さく、流れが安定していることを確認した。

以上のことから、石組みの空隙率 n が 0.49 の場合、礫間の流れによって分水流量が制御され、安定した状態で分水流量調整池に分水することが確認された。また、本実験では分水流量調整池として設けた堰の高さは主要水路の底面の同じ高さであることから、堰の高さを調整することによって主要水路からの分水をある一定以上の流量の段階から分水することが可能であり、分水流量の制御が可能であると考えられる。

6. まとめ

本研究では、主要水路の総流量を分水する方法として、主要水路に落差を設け、礫で石組みし、礫設置区間に逆サイフォンを通して分水流量調整池に分水する方法を提案した。礫設置区間において、礫天端近くの流速が設置区間であまり変化することなく、浮遊物が掃流されやすいようにするには、1/8 勾配に設定することが最適であることを明らかにした。また、石組みされた

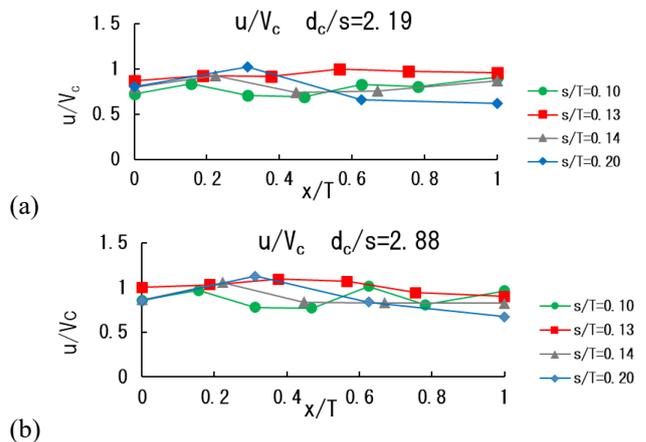


図 3 礫傾斜路中央部における底面流速

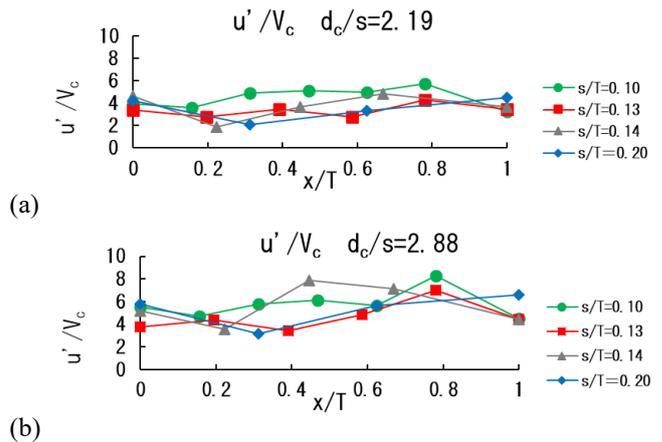


図 4 礫傾斜路中央部における底面乱れ強度

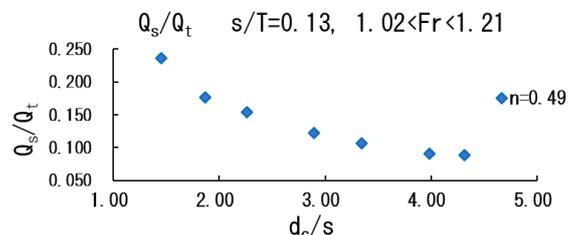


図 5 無次元量 d_c/s による流量分配比 Q_s/Q_t の変化

礫の設置区間で、1/8 勾配に設定すると、流量規模が増加しても、分水流量調整池の流れは常に安定していることを示した。また、流量増加に伴い流量分配比は減少し、一定値に収束する傾向を示すことから、流量分配比を抑制することができる方法であることを示した。

参考文献

- 1) 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, CD-ROM, 2015.
- 2) 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.
- 3) 細川康司, 安田陽一 : 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, 第 54 回下水道研究発表会, N-2-1-4, 2017.
- 4) 安田陽一 : 射流中の横越流の流量制御に関する実験的検討, 第 55 回下水道研究発表会, N-2-2-4, 2018.