

洪水時の石積み魚道を越える流れに対する堰越流面形状の影響

Effect of downstream shape of weir on flood flows passing over fish passage with stacked boulders

安田陽一¹, ○金野滉太²,
Youichi Yasuda¹, *Kota Konno²

Abstract: Practically, there are various type of downstream shape of weir in which stacked boulders are installed, and, the stability of stacked boulders during flood stages may depend on downstream shape of weir. This report presents the effect of downstream shape of weir on flood flows passing over stacked boulders. The experimental investigation yields that streamline of curvature depends on discharge and downstream shape of weir. In the case of rectangular weir, the bed-pressure at downstream end of stacked boulders is lower than the hydrostatic pressure for large discharge. while in the case of ogee crest weir, the bed-pressure can be regarded as a hydrostatic pressure for large discharge.

1. はじめに

既設魚道の補助構造物として近年、安田らによって石積み魚道が提案されている^{[1],[2],[3]}. 石積み魚道を設置する場合、接続される堰形状は様々である。堰形状によって越流面形状が異なるため、石組みに作用する外力は異なると推察される。しかしながら、現在、石積み魚道に対する越流面形状の影響は考慮されていない。

本研究では、堰形状によって越流面が異なることに着目し、流速及び圧力の変化から越流面形状の違いが石積み魚道に与える影響について実験的検討を行った。

2. 実験概要

長方形断面水平開水路（幅0.80m、長さ14.5m、高さ0.60m）に堰模型（落差 $H=0.10\text{m}$ ）を設置し、フルードの相似則に基づき実験的検討を行った（Table 1）。ここに相対落差 H/d_c は限界水深 d_c に対する落差高さ H を示す。平均粒径 $0.03\sim 0.06\text{m}$ の石と平均粒径 0.01m 前後の玉石を用い、幅 $B=0.50\text{m}$ 、長さ $L=0.50\text{m}$ 、落差 $H=0.10\text{m}$ 、魚道勾配 $i=1/5$ の練積み石積み魚道を再現した。練積み石積み魚道模型は $b_1=0.20\text{m}$ 、 $b_2=0.30\text{m}$ の扇形に配置し、練積み部分は粉パテの量：セメントの量=2:1 で配合した。測定器具は、流速測定にプロペラ流速計（内径30mm、測定時間20sec）、底面圧力の測定にピトー管（内径1mm）の静圧管、水深の測定にポイントゲージを用いた。測定点は下流端の石を対象に14点設けた（Figure 1, Figure 2）。堰始端を基準に流下方向座標を x 軸、水路右岸側壁を基準に左岸側を正とした水路横断方向座標を y 軸、水路床を基準とした鉛直上向き座標を z 軸とする。

Table 1. Experimental conditions

H/d_c	H (m)	B (m)	L (m)	i	θ	Model scale
2.51						
1.91						
1.58						
1.36						
1.20	0.10	0.50	0.50	1/5	矩形堰	1/10
1.09					Ogee crest堰	
0.99						
0.92						

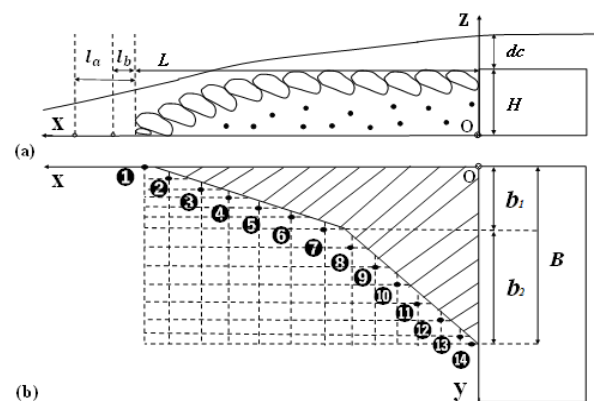


Figure 1. Definition sketch of installation of rectangular weir (a)Side view (b)Plane view

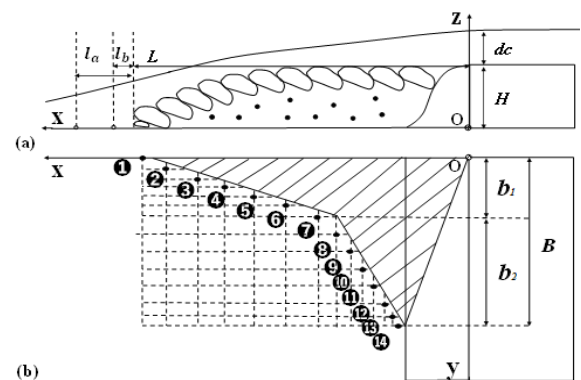


Figure 2. Definition sketch of installation of Ogee weir (a)Side view (b)Plane view

1 : 日大理工・教員・土木 2 : 日大理工・院 (前)・土木

3. 石組み下流端での底面流速分布

石組み下流端において、相対流速 \bar{u}/V_c の変化を示したものを **Figure 3** に示す。ここに \bar{u} は流下方向の時間平均流速、 V_c は限界流速である。測定は下流端の石組み先端から流下方向に $l_a=0.05\text{m}$ の位置で行った。

Figure 3 に示されるように、流量規模が大きくなるにつれ、流速が小さくなる分布となっている。これは流量規模が小さい場合、石組みに沿った流れが形成されるため底面の流速が大きくなるが、流量規模が増加するにつれ、石組みを乗り越える傾向があるため、底面付近の流速は小さくなると推察される。また、左岸側ほど堰形状による流速の違いが見られる。これは石組みの形状抵抗が小さく、堰越流面形状の影響が大きくなるためと推察される。矩形堰を越える流れは、流量規模が増加するにつれ、越流面角度が緩やかになるため剥離域が大きくなり底面流速が極端に小さくなる。一方で Ogee 堰を越える流れは堰形状に沿った流れが継続しやすく、矩形堰と比べて底面流速が大きくなる。

4. 石組み下流端での底面圧力分布

石組み下流端において、圧力係数 $C_{dp} = p_d/(\rho\bar{u}^2/2)$ について整理したものを **Figure 4** に示す。ここに、 $\rho\bar{u}^2/2$ は運動エネルギー、 p_d はピトー管で測定したピエゾ水頭から圧力を算定し、静水圧分を差し引いたものである。測定は、石組み先端から流下方向に $l_b=0.018\text{m}$ (静圧管位置)で行った。

$H/d_c=1.20$ で矩形堰において測定点 13, 14 の圧力係数が負の値を示す。 $H/d_c=0.92$ になると、測定点 10, 11, 12 でも負の値を示す。これは流量規模の増加に伴い、剥離内の渦の形成が大きくなり、圧力が低下しているものと推察される。一方で Ogee 堰は $H/d_c=1.91, 1.20, 0.92$ において、圧力係数がほぼ 0 になる。これは堰形状に沿った流れが継続しやすく、剥離流れが形成されにくいためと考えられる。

5. まとめ

本研究において、堰の越流面形状によって石組みを乗り越える流線の曲がり異なることが明らかになった。矩形堰は圧力が静水圧を下回るが、石を引抜くほど圧力が小さくなる可能性は低いと思われる。Ogee 堰は圧力が静水圧相当になる。すなわち、落差高さに対して流量規模が大きくなるほど、安定性への影響は小さくなると思われる。

今後の検討課題として、洪水時に漂流物が石組み魚道に衝突することで石組みが緩み、安定性に影響を与

えることが考えられる。特に Ogee 堰の場合、石組みが緩んだ状態で流量が減少すると、堰形状に沿った流れが継続しやすいため、石組みが崩壊することが推察される。対策として、石組み下流端を補強部材で固定し石組みの安定性を高めることが考えられ、今後実験的検討を進めていく。

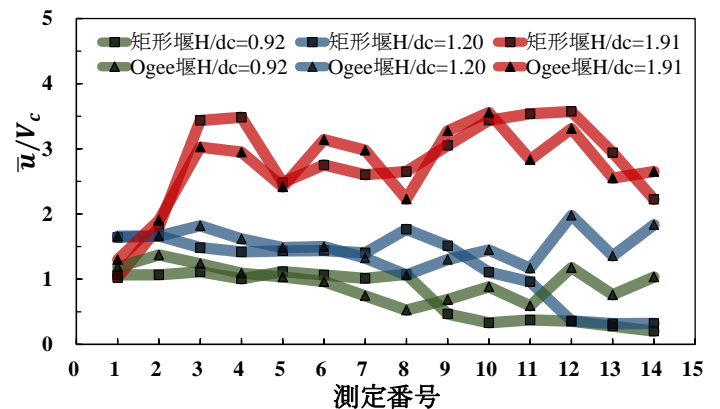


Figure 3. Bed-velocity distribution at downstream end of with stacked boulders

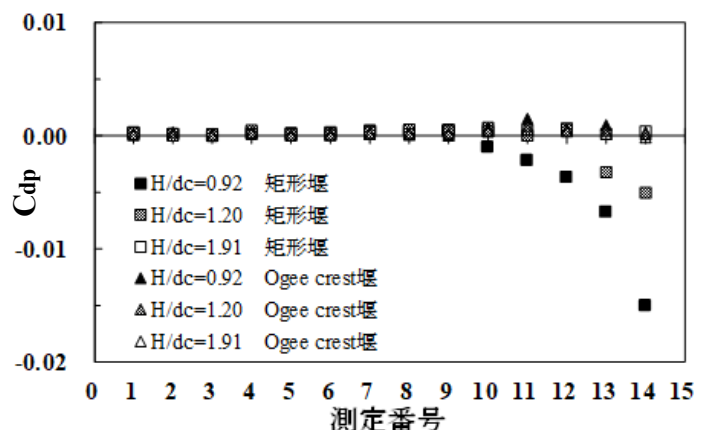


Figure 4. Bed-pressure distribution at downstream end of with stacked boulders

6. 参考文献

- [1] Youichi Yasuda, Masahiko Uchimura: Fish passage based on stone masonry with stacking boulders. ISE, Japan, Tokyo, SS38, 2018, CD-ROM.
- [2] 安田陽一, 内村政彦, 頭首工に設置した石組み魚道に関する実験から実務への適用, 第45回土木学会関東支部技術研究発表会, CD-ROM, II-49, 2018.
- [3] 安田陽一: 技術者のための魚道ガイドライン, 北海道魚道研究会編集, コロナ出版, 2011, 141頁.