

捨石堰の形状特性と目詰まり特性に関する実験的研究

岡山大学大学院

学生員 ○菊池 慶太

岡山県庁

正会員 森永 智

岡山大学環境理工学部

正会員 前野 詩朗

神戸大学

正会員 道奥 康治

1. はじめに 現在、多自然型川作りとして、自然に近い材料を用いた河川整備が各地で行われつつある。しかし、効率的な設計手法の確立がなされていないため、現段階では経験に基づく整備にとどまっている。自然石を用いて構築された堰は、低流量時においても堰体中を絶えず流体が流れるため、周辺の生態系にもやさしく、景観的にも親水性に優れている。本研究では、従来まで行われてきた自然石を用いた堰（以下、捨石堰と呼ぶ）の水理特性に加え¹⁾、堰の形状特性、土砂による堰内の目詰まりの解消過程などを実験的に明らかにした。

2. 捨石堰の形状特性 本研究では、水路長 5m、水路幅 0.4m、水路高 0.6m の可変勾配循環水路に表-1 に示すような各種堰モデルを設置し実験を行い、上流水深と流量の関係を測定した。

表-1 実験条件

Case 名	堰モデル	堰長-天端長-堰高	粒径
Case1-A	捨石堰	150-100-15	3.2cm
Case1-D	捨石堰	75-25-15	3.2cm
Case2-A	捨石堰	150-100-15	4.8cm
Case2-B	捨石堰	125-75-15	4.8cm
Case2-C	捨石堰	100-50-15	4.8cm
Case2-D	捨石堰	75-25-15	4.8cm
Case3-A	混合粒径堰	150-100-15	1.9・4.9cm
Case3-D	混合粒径堰	75-25-15	1.9・4.9cm
Case4-A	混合粒径堰	150-100-15	3.2・4.8cm
Case4-D	混合粒径堰	75-25-15	3.2・4.8cm
Case5-A	不透水堰	150-100-15	
Case5-D	不透水堰	75-25-15	

(1) 堰長の違いによる比較 図-1 は、Case2-A～Case2-D について、上流水深と流量の関係を示したものである。この図より、堰長が大きくなるに従って一定流量に対する上流水深が増加していることと、0～5(l/s) 程度の非越流状態においても堰上げ効果は期待できることがわかる。しかし Case2-B、Case2-C、Case2-D の差が顕著であるのに比べて、Case2-A、Case2-B は、顕著な差がみられず、堰上げ効果の差は非常に少ない。このことより堰長を増加させることによる、堰上げ効果の上昇には限界があることがわかる。

(2) 構成材料の違いによる比較 後述するが、捨石堰は石礫の粒径が大きくなることによって空隙一つ一つの大きさが増加し、堰内の通水性が増すことから堰上げ効果は減少する。また、粒径が大きくなることで堰下流側の石礫の自重が大きくなり堰の破壊は生じにくくなる²⁾。従って本研究では堰上げ効果が高く、破壊に強い混合粒径堰を提案し、単一粒径堰との比較とともに、不透水性の堰との比較も行った(図-2、図-3)。まず、本研究で用いた捨石堰は、いずれも間隙率が 0.4 程度と大きな差は無いが、Case1-A、Case2-A を比較すると粒径の小さい石礫を用いた堰の方が堰上げ効果が高いことがわかる。これは粒径の大きい堰の方が空隙が大きく通水性が良くなっていることが原因である。このことより堰上げには、間隙率よりも空隙の大きさが影響を及ぼしているといえる。また、図-2 より、混合粒径堰は、非越流時に高い堰上げ効果を発揮するが、越流後は単一粒径堰と顕著な差は見られなかった。これは、水の流れが通水性の低い堰中央部を避け、粒径の大きい石礫が存在する天端付近に堰内の流れが集中するような流況を形成しているためではないかと考えられる。次に捨石堰と不透水性の堰と比較する。図ではわかりにくいですが、流量が 20(l/s) 程度を超えると捨石堰が不透水性の堰を上回る堰上げ効果を発揮することがわかった。また、図-3 は堰長の短い形状での実験結果を示したものである。堰長の短い捨石堰は同形状の不透水性の堰と比べて堰上げ効果が低く、捨石堰には適当な長さを持たせないと性能を十分に発揮しないということがわかる。

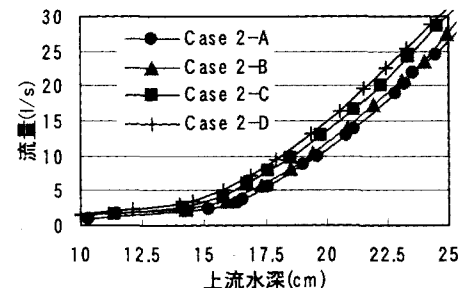


図-1 堰長の違いによる比較

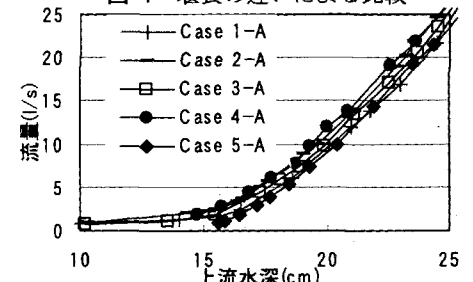


図-2 構成材料の違いによる比較(堰長 A)

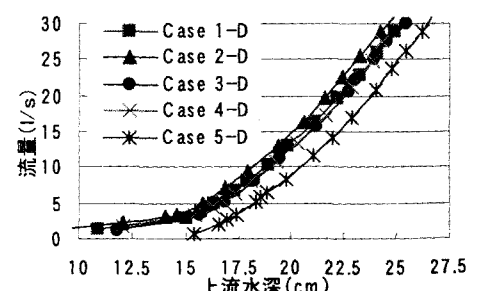


図-3 構成材料の違いによる比較(堰長 D)

3. 捨石堰の目詰まり特性 この実験は2と同じ水路を用い、表-1でのCase 2-Aの捨石堰で行った。堰上流側法先から0.5mの位置から約50kgの豊浦標準砂を約5分間で途切れることなく供給した。実験は越流を始める前後の流量6(l/s)と、捨石堰を完全に越流する流量である12(l/s)の2ケース行った。また、採取した砂は乾燥炉で絶乾状態にし、重量を測定することにより体積を算出した。

(1) 堆砂形状の推移 図-4に各測定時間の堰周辺における砂の堆砂形状と流速分布を示す。なお、図に示す堆砂形状については、水路側面アクリル版から可視的に計測したものである。給砂終了直後から堰内の堆積砂は、次第に下流側へ抜け出し、通水後3時間程度で25cm断面より下流側では、ほとんど目詰まりが解消されているのがわかる(図-4(c)参照)。図-4(b)における通水開始0.5時間後の図を見ると堰内の下流側の目詰まりの砂より先に、堰内部の上流側の目詰まりの砂が抜け出している現象が見てとれる。これは、堰内に流入した流体が堰天端上を流れる高速流により連行され、25～50cm断面付近で砂粒子が、堰上部へ吸い出されているためであると思われる。堰天端付近の連行現象は前野¹⁾や、道奥³⁾の研究によると、堰に流入する急縮区間で特に顕著に起こり、その後は堰天端への吸出しよりも堰内部への潜り込みの割合が大きくなっていくことが確認されている。図-4(b)、(c)を見ても、堰中央の50cm～75cm付近では吸出しが小さくなっており堰内部の砂粒子が流されずにとどまっているのがわかる。

(2) 流砂量と水理量の関係 図-5は、目詰まり砂の流出量を無次元化した q_* と無次元掃流力 τ_* の関係を示したものである。以下にここで用いた無次元量の式を示す。

$$\text{無次元流砂量: } q_* = \frac{q_b}{\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}}, \quad \text{無次元掃流力: } \tau_* = \frac{u_*^2}{\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd}}$$

ここに q_b :単位幅流砂量(m^2/s)、 g :重力加速度(m/s^2)、 d :砂の平均粒径(m)、 σ :砂粒子の密度(kg/m^3)、 ρ :水の密度(kg/m^3)、 I :エネルギー勾配、 u_* :摩擦速度(m/s)、 v :平均流速(m/s)である。

本研究では上記の無次元量の算出に際して-25cm断面での水理量を用いた。

図-5より、無次元化した目詰まり砂の流出量と無次元掃流力の間に弱い正の相関が見られる。また、図示はしていないがフルード数との関係にも同様の傾向が見られた。このことから目詰まり砂の流出量は、堰上流の掃流力やフルード数の影響を受けているのではないかと考えることができる。今回の実験結果より流砂量は、その多くが目詰まり砂の流出であることが明らかになった。目詰まり砂の量とその流出には、堰の間隙率、堰長、堰高、堰天端上の流速および、堰内を流れる浸透流速などが影響を及ぼしているものと考えられる。今後は、これらの影響因子を実験ケースを増やすことによって調べ、目詰まり砂の抜け出しと堰上流部に堆積した砂の抜け出しを独立して求められる流砂量式を提案していく必要がある。

参考文献

- 1) 前野詩朗, 道奥康治, 森永智, 大西利典(2002): 自然石を用いた堰の水理特性, 水工学論文集, 第46巻, pp493-498.
- 2) 前野詩朗, 道奥康治, 森永智, 大西利典(2003): 捨石堰の破壊機構のモデル化, 水工学論文集, 第47巻, pp781-786.
- 3) 道奥康治, 前野詩朗, 古澤孝明, 羽根田正則(2002): 捨石堰の「水位-流量」特性を規定する水理量, 水工学論文集, 第46巻, pp487-492.

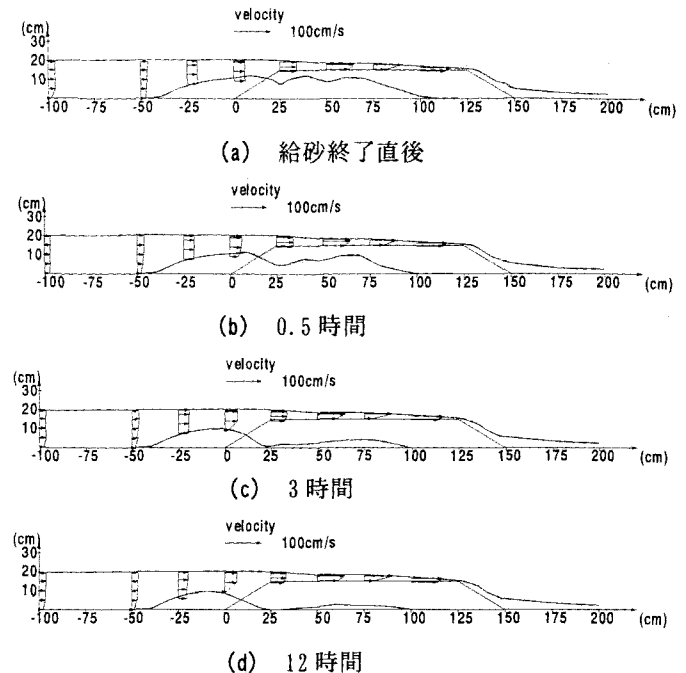


図-4 堆砂形状の推移

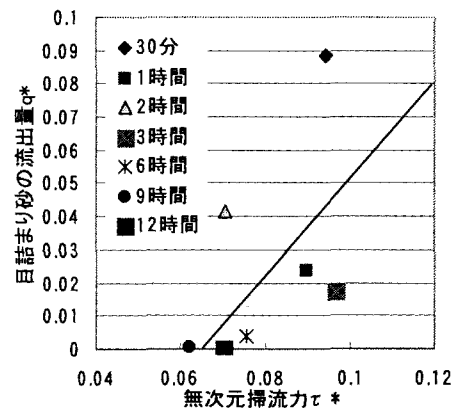


図-5 流砂量と無次元掃流力の関係