

巨石落差工を用いた礫河床の回復手法に関する研究

株式会社ウエスコ 学生会員 加瀬瑛斗
五洋建設株式会社 学生会員 青木千卓

岡山市 学生会員 ○野田大地
岡山大学 正会員 前野詩朗

1. はじめに

ダム建設後、上下流の流砂の連続性が断たれ、ダム下流では、河床低下、粗粒化、岩盤河床の拡大などの物理環境の変化や、それに伴う生態系の劣化が指摘されている。これに対して、ダム堆砂等の土砂をダム下流河道に設置し、フラッシュ放流や自然出水で河床に供給する土砂還元が、全国のダムで試行されている。土砂還元により、小粒径の礫河床空間が回復するだけでなく、土砂が河床を移動することで、付着藻類の剥離更新が促進されることが示されるなど、土砂還元に関する研究が進められている¹⁾。しかしながら、岩盤が露出する急流河川における土砂還元の効果や、生態系への影響に関する知見や情報は未だ少なく、土砂還元の効率的な実施手法は確立されていない。急流河川、特に河床粗度が小さい岩盤河床区間では、土砂還元で供給した土砂が短期間で流亡するため、土砂が定期的に調達できないなどの理由で土砂還元が継続的に実施できない場合は、その効果が持続しにくいことが懸念される。これに対して、著者らは現地河道に分布する巨石を用いて落差工を構築し、土砂の流亡を抑制（土砂還元の効果を持続させる）する手法を提案し²⁾、実施に向けた取り組みの一環として、巨石落差工の設置手法及び効果について、仮想対象とした現地河道におけるフラッシュ放流 1 サイクルを対象とした水路実験を行っている³⁾。本研究では、過去に実施された実験を踏まえて、土砂の移動が収束するまで通水を継続し、フラッシュ放流規模の出水が連続して発生した場合における巨石落差工の礫河床回復効果を検証した。

2. 実験概要

実験は、図-1 に示す全長 16m、幅 0.6m、高さ 0.4m の可変勾配循環水路で実施した。縮尺は、想定する現地河道及び実験水路を考慮して約 1/10 とした。勾配は 1/100 に設定し、水路下流端は自由流出とした。水路下流端から約 3m の位置を中心として、自然石を用いた 1 段及び 3 段のアーチ型落差工を設置した（図-2）。自然石の粒径は、1 段の場合で約 0.2m、3 段の場合で約 0.1m とし、

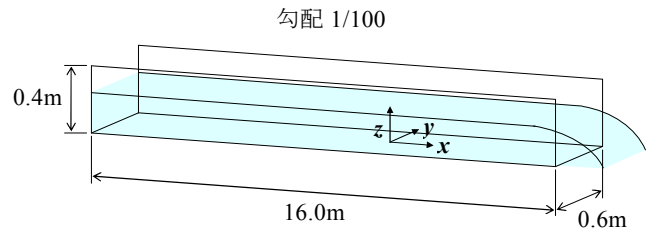
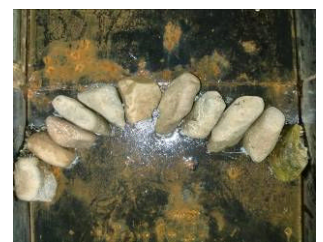


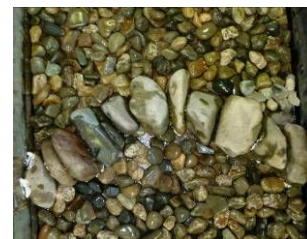
図-1 実験水路



(a) 落差工 1 段



(b) 落差工 3 段



(c) 落差工 3 段+礫敷設

図-2 落差工の設置状況

表-1 実験ケース

ケース名	落差工形状	供給土砂	礫投入
N-0-L	なし	単一粒径 (6.7mm)	なし
A-1-L	アーチ型 1 段		
A-3-L	アーチ型 3 段	単一粒径 (3.5mm)	
A-3-S			
A-3-S-G			
A-3-M-G		混合粒径 (2.8～20mm)	

礫間の空隙を確保しつつ、ボンドで河床に固定した。また、岩盤河床にスイカ大の礫を敷設した場合の効果を検証するため²⁾、3 段の落差工の落差直上流のプールに平均粒径 32mm の小石を敷き詰めた場合の実験も行った。

実験ケースは、表-1 に示す 6 ケースとした。流量は、現地河道におけるフラッシュ放流 ($Q=30\text{m}^3/\text{s}$, 年数回程度発生する洪水に相当する) を想定し、 $0.095\text{m}^3/\text{s}$ とした。各ケースにおいて通水し、定常状態の流速分布及び、水面形を計測した。供給土砂の粒径は (現地河道で不足し、供給が望まれる粒径として)、平均 6.7mm (単一粒径)、平均 3.5mm (単一粒径)、 $2.8\sim 20\text{mm}$ (混合粒径) の 3 種類とした。土砂供給は、落差工上流側の堰上げによる跳水の影響を避けるため、跳水発生位置から約 1.0m 上流で行った。供給量は、いずれのケースも 0.05m^3 とし、供給箇所への堆積を防ぐため、60 分かけて連続的に供給した。土砂供給完了後 12 時間通水したのち、土砂の捕捉状況 (水路内の堆積厚、堆積量 : 供給土砂量に対する水路内に残った土砂量の割合) を計測した。

3. 実験結果と考察

3.1 落差工の効果検証

落差工の有無、段数の違いによる土砂捕捉効果への影響について、水面形、流速、土砂捕捉状況により検証した。

a) 水面形

図-3 に水路中央 ($y=0.3\text{m}$) における水面形の縦断分布を示す。落差工を設置しない N-0-L は全域で等流であった。A-1-L では、堰上げにより落差工の上下流で約 0.2m の水面比高が生じた。一方、A-3-L では、1 段の落差が小さいステップ&プールが形成された。

b) 流速分布

図-4 に水路中央 ($y=0.3\text{m}$) における断面流速分布を示す。A-1-L では、堰上げにより落差工上流側の流速は小さく、落下により下流側の流速は大きかった。A-3-L では、(下流側から数えて) 3 段目の落差下流の高速流により、落差工上流側の流速は比較的大きく、1 段目の落差上流の堰上げにより、落差工下流側の流速は小さくなっていた。図示していないが、落差自体が A-1-L に比べて低く (図-3 参照)、1 段目の落差下流における流速も、A-1-L に比べて小さいため、落差工の直下での跳水による洗掘も緩和できると考えられる。

c) 土砂捕捉状況

図-5 に 12 時間通水後の土砂堆積厚を、表-2 に堆積量を示す。岩盤河床を想定した鋼製の水路床は粗度が小さく、落差工を設置しない N-0-L では、投入した土砂は全量が流亡した。落差工を設置した場合は、いずれも落差

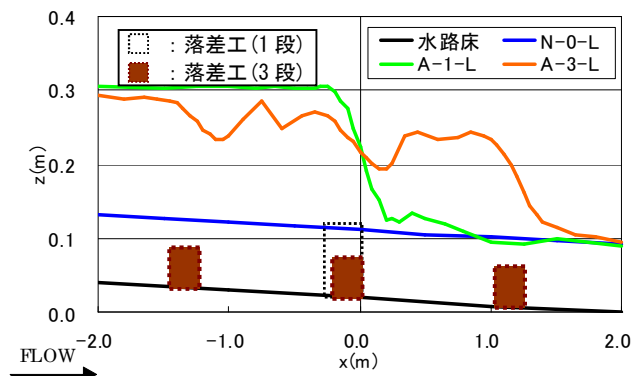


図-3 落差工周辺の水面形 (落差工の効果検証)

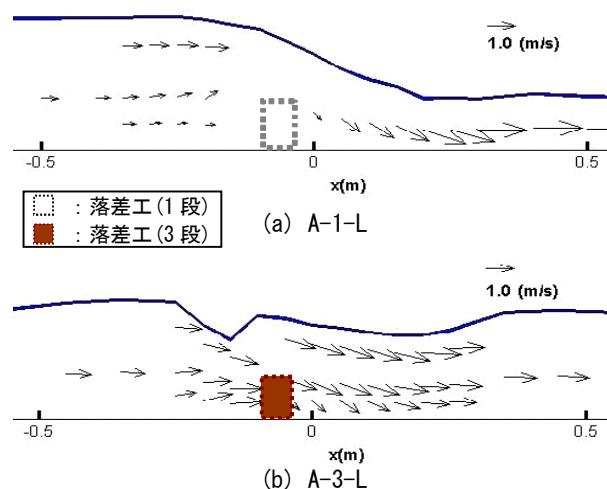


図-4 落差工周辺の断面流速分布 (落差工の効果検証)

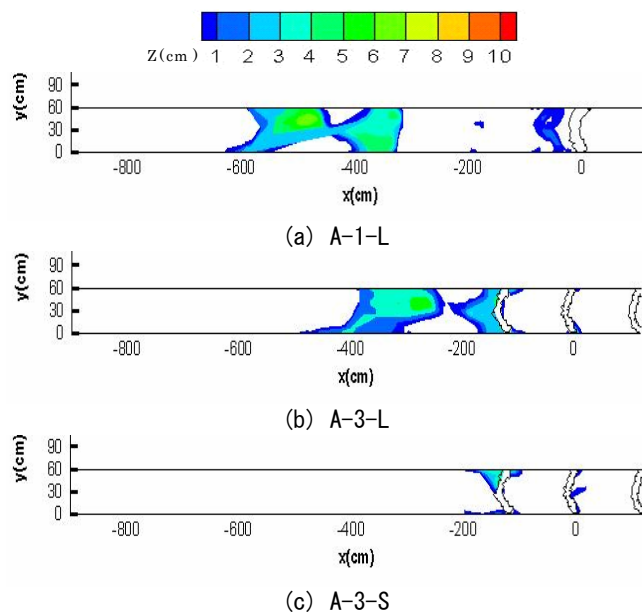


図-5 土砂堆積形状 (落差工の効果検証)

表-2 土砂堆積量(落差工の効果検証)

ケース名	堆積量(m³)	堆積量/供給量(%)
A-1-L	0.0495	99.0
A-3-L	0.0490	98.0
A-3-S	0.0038	7.6

上流での堆積が見られた。A-1-L、A-3-L では落差上流の流速(掃流力)が小さいため、ほぼ全量が、堰上げ区間の広範囲にとどまった(供給量に対する体積比 98~99%)。一方、A-3-S の堆積量は A-1-L、A-3-L と比べて大幅に少ない(同 7.6%)。供給土砂の粒径が小さく、掃流されやすかったことに加え、落差工の間隙を通過して流失したためと考えられるが、一定の礫河床回復効果が示された。

3.2 プール内の礫敷設効果の検証

礫敷設による土砂捕捉効果への影響について、水面形、流速、土砂捕捉状況により検証した。

a) 水面形

図-6 に水路中央(y=0.3m)における水面形の縦断分布を示す。両ケースで、水面形に大きな差は見られない。波立ちの位相のずれは、礫敷設により各落差工間の流れの乱れが減少したことによるものと考えられる。

b) 流速分布

図-7 に落差工 2 段目付近の平均流速分布を示す。流速に有意な差は見られなかったが、A-3-S-G では、流速の y 軸方向成分が小さくなり、流向がより流下方向に揃う状況が見られた。

c) 土砂捕捉状況

図-8 に 12 時間通水後の土砂堆積厚を、表-3 に堆積量を示す。A-3-S-G では、落差工上流に敷設した礫の空隙を埋める形で供給土砂の堆積が見られ(図-9)、現地において粗粒化した河床の改善効果が期待された。堆積量は、礫を敷設しない A-3-S と比べて約 2 倍(7.6%→18.8%)であった。礫敷設(粗度)による底面近傍流速の減少及び、礫の遮蔽効果で、土砂の移動が抑制されたと考えられる。混合粒径の土砂を供給した A-3-M-G では、単一粒径の A-3-S-G と比べて、堆積範囲、堆積量とも増加し、特に 3 段目の落差上流には、4~5cm の堆積が生じた。堆積しやすい粗粒土砂による細粒土砂の遮蔽や礫間へのトラップで、堆積が促されたと考えられる。

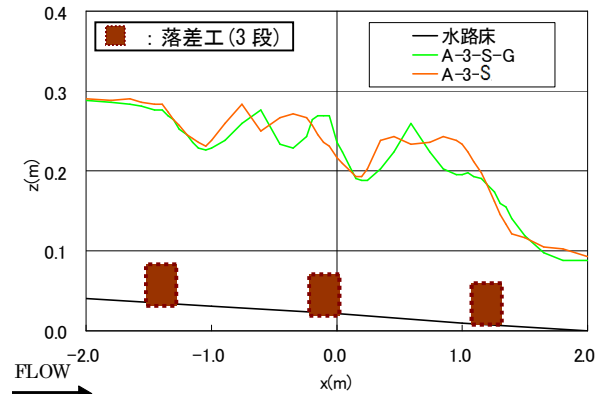


図-6 落差工周辺の水面形(礫敷設効果の検証)

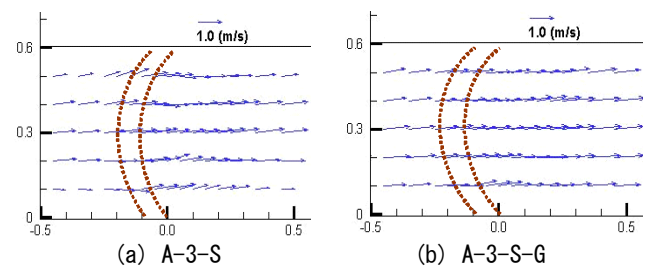


図-7 落差工周辺の平面流速分布(礫敷設効果の検証)

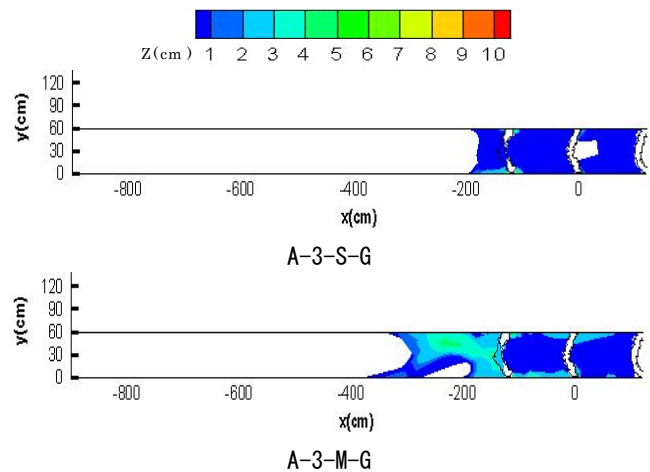


図-8 土砂堆積形状(礫敷設効果の検証)

表-3 土砂堆積量(礫敷設効果の検証)

ケース名	堆積量(m³)	堆積量/供給量(%)
A-3-S-G	0.0094	18.8
A-3-M-G	0.0394	78.9



図-9 礫間にトラップされた細粒土砂

3.3 通水時間による捕捉状況の変化

フラッシュ放流 1 サイクルを対象として、1 時間通水した場合³⁾と、同規模の出水が連続して発生した場合（又はピーク流量の継続時間が長かった場合）を対象として 12 時間通水した場合の堆積量を表-4 に整理した。供給土砂の粒径が大きい A-1-L, A-3-L では、通水時間によらず、ほぼ全量が捕捉された。粒径が小さい A-3-S, A-3-S-G では、1 時間後はほぼ全量が残っているが、12 時間後（移動収束状態）は 2 割以下に減少した。一方、混合粒径の A-3-M-G では、12 時間通水後も約 8 割の土砂が河床にとどまることから、複数回の出水や継続時間が長い出水に対しても、土砂還元（による小粒径の河床空間の回復）効果の持続が期待された。

4. 結論

本研究で得られた結果と考察について、以下にまとめる。

①巨石落差工により、出水が連続（長時間継続）した場合においても、粒径 6.7mm でほぼ全量、粒径 3.5mm で約 1 割の土砂がとどまる。一定の礫河床回復効果の持続が期待できる。

②プール内への礫敷設により、とどまりにくい小粒径土砂についても、12 時間通水後の捕捉量は約 2 倍に増

表-4 土砂堆積量の経時変化

ケース名	通水 1 時間後 (%)	通水 12 時間後 (%)
A-1-L	100.0	99.0
A-3-L	99.0	98.0
A-3-S	94.8	7.6
A-3-S-G	98.0	18.8
A-3-M-G	100.0	78.9

加した。岩盤河床における落差工の機能向上が図れる。

③混合粒径の土砂を供給した場合では、礫敷設の併用により、12 時間通水後も約 8 割が水路内にとどまる。実際の土砂還元では混合粒径の土砂が供給されるため、現地においても、十分な礫河床回復効果が得られることが示唆される。

課題としては、流量、河床に敷設する礫サイズ等の条件を変更した実験による知見の蓄積、実河川での実証試験、実験結果を踏まえた計算モデルの構築などが挙げられる。

参考文献

- 1) 例えば、坂本博文，谷崎保，角哲也：河川土砂還元を組み合わせた真名川ダム弾力的管理試験「フラッシュ放流」，河川技術論文集，第 11 巻，pp.273-278，2005.
- 2) 加瀬瑛斗，前野詩朗，植田光明，渡辺敏：河床形状改良によるダム下流生態ポテンシャル回復手法の検討，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.67，No.4，pp.1387-1392，2011.
- 3) 加瀬瑛斗，伊藤祐哉，浦上清彦，青木千卓，前野詩朗，宮崎貢：急流河川における土砂還元時の自然石落差工の効果に関する研究，平成 22 年度(第 62 回)土木学会中国支部研究発表会講演概要集，II-13，2010.