

技術報告 (特集)

石礫の露出高の簡易予測モデルによるダム下流の河床環境評価の紹介

宮川 幸雄¹ 小野田幸生² 堀田 大貴³ 末吉 正尚⁴ 中村 圭吾⁵Estimating Riverbed Environment at Downstream of a Dam
Using a Simple Prediction Model for Stone Exposure Height

Yukio MIYAGAWA Yukio ONODA Taiki HOTTA Masanao SUEYOSHI Keigo NAKAMURA

露出高は、現場への適用の観点から、細粒土砂の侵食・堆積による河床表層の立体構造に着目した変量で、石礫の露出部を利用する付着藻類やアユの生息環境と関連付けられる。露出高の簡易予測モデルは、現場の計測コストを軽減し普及拡大を目的として過去に開発・精度検証された技術であり、河床粒径分布から、露出高の予測により、アユの生物環境等との関連付けが可能である。今回、尾原ダムで本モデルを導入し、土砂還元による河床への効果のほか、露出高に基づく河川生物への効果を推定することで、露出高を現場に導入するメリットを示すことができた。

キーワード: 露出高, 河床粒径分布, 付着藻類, アユ, 尾原ダム

1. はじめに

本報告では、令和5年度ダム工学会技術開発賞を受賞した「石礫の露出高の簡易予測モデルを用いたダム下流の河床環境評価手法の開発」に関する一連の技術と現地での新たな展開について紹介する。ダム下流では、流下土砂の減少による河床材料の粗粒化やそれを緩和するための人為的な土砂還元の実施により、河床に堆積する土砂量の変動が大きく、礫間の空隙や砂礫を生息場や産卵場にする魚類等に影響が及ぶと考えられている^{1,2)}。露出高は、石礫の天端から砂面までの高さを表す変量であり、礫間にある砂等の細粒土砂の侵食で増加し、堆積で減少するうえ(図-1)^{3,4)}、石礫の露出部分を利用する付着藻類やアユ等の生息にも関わる指標となる⁵⁾。一方で、露出高は計測コストの高さが課題であったため、著者らは後述する研究により河床材料の粒径分布から露出高の分布を予測するモデルを開発し、現場での簡易推定を可能とした。このモデルにより、露出高を現場により導入しやすくなり、土砂還元の効果を考える上で、アユ等の生息環境の評価を適用しやすくなると考えられる。

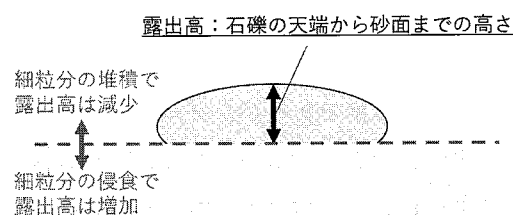


図-1 露出高について

以降の項目では、受賞技術である露出高を用いたダム下流の河床環境評価および露出高の簡易予測モデルの概要を現場導入のメリットとともに説明する。さらに、受賞後の本技術の普及に向けた新たな取り組みとして、土砂還元を実施中の現場にこの簡易予測モデルを導入し、河床環境評価を実施した事例を紹介する。最後に、簡易予測モデルの入手・使用方法を紹介する。

2. 露出高をダム下流の河床環境評価に用いる利点

ダム下流の環境影響評価において河床表層の状況を把握する一般的な手法として、河床材料の粒径の目視評価や河床表層からサンプリングした一定量の土砂の粒径別重量の分析が挙げられる。一方、露出高は前述

¹ 国立研究開発法人 土木研究所 流域水環境研究グループ 自然共生研究センター 主任研究員

² 豊田市矢作川研究所 研究員

³ 株式会社 建設技術研究所 中部支社 環境室 グループ長

⁴ 国立環境研究所 生物多様性領域 琵琶湖分室 研究員

⁵ 国立研究開発法人 土木研究所 流域水環境研究グループ グループ長

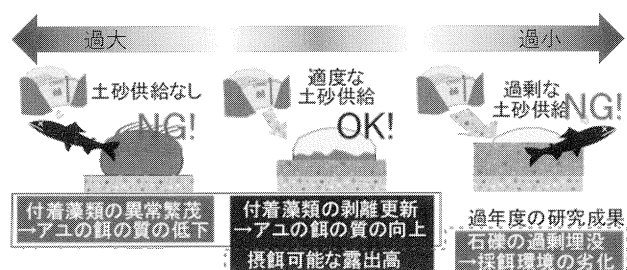


図-2 露出高を軸としたダム下流の河床環境評価のイメージ

の通り、石礫の露出部分を利用する付着藻類やアユ等の生息にも関わる指標であり、既往研究で示されているとおり⁶⁾、ダム下流への土砂還元による河床環境の変化とそれに伴うアユへの影響を総合的に評価できるといえる(図-2)。

3. 露出高の計測コストの軽減のための簡易予測モデルの開発と精度検証

露出高による河床環境評価は現場への適用のしやすさを目標とした技術であるが、ダム管理者で測定・蓄積されたデータがまだ少ないのが現状である。また、露出高はある程度の水深以上では、潜水目視しながらの計測が必要であり、高コストが現場適用のネックといえる。この課題を解決するため、ダム管理所で多くのデータ測定・蓄積されている河床粒径分布をもとに、露出高を簡易予測する手法を開発した。

この簡易予測モデルの仕組みについて、本報告では、概要のみ記載するが、詳細は宮川らの論文⁶⁾および土木研究所資料⁷⁾が参考となる。本手法の着眼点は、現場の河床材料の粒径および河床材料の鉛直方向の位置が一様でないことから生じる河床の凹凸、すなわち露出高の分布を算定することである。はじめに、単一粒径を想定し、それらの鉛直方向の位置は正規分布にしたがうと仮定した。そして、既往文献をもとに⁸⁾、混合粒径の場合、粒径の大きさをいくつかに分けると、各粒径区分における露出高が上記の正規分布にしたがうと仮定した(図-3)。この場合、各粒径区分の割合に応じた露出高の分布形が予測される。実際にモデルで予測される露出高の分布(確率密度関数の分布形)は、おおむねある値をピークに持つ凸型の曲線となる(図-4)。

このモデルの予測精度は、小渋ダム等の複数のダム

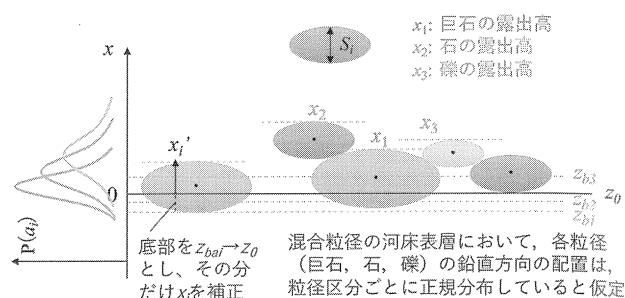


図-3 混合粒径の河床表層における石礫の露出高の分布の設定イメージ⁶⁾

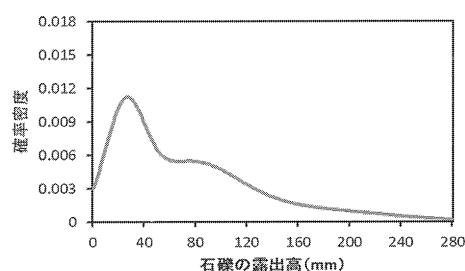


図-4 露出高の簡易予測モデルの出力結果の例

を対象に検証済みであり、現地の河床材料の粒径から予測される露出高と実測された露出高との間に大きな違いがなかったことが確認されている⁹⁾。このため、現地で予測精度について確認することが望ましいが、全国のダムで利用可能な点が強みである。さらに、このモデルは河床材料の粒径分布情報のみを用いて露出高を推定できるところ、石礫の露出部分を利用する付着藻類やアユ等の生物の生息場所の評価に関連付けられるところにも強みがある。

4. 簡易予測モデルを用いた効率的な河床環境評価の事例

3章で紹介した露出高の簡易予測モデルを島根県の尾原ダムに適用し、河床環境評価に活用した事例を紹介する。尾原ダムは一級河川、斐伊川の上流部に位置する国土交通省直轄のダムである(図-5)。尾原ダム下流では、河床の細粒分の減少が確認されており、生物への影響が懸念されていることから、2020年度から土砂還元が毎年、試験的に実施されている¹⁰⁾。

この土砂還元の効果を確認するためのモニタリング調査が2023、2024年度に実施されており、尾原ダム下流の4つの地点(L1~L4)で河床粒径分布を計測するとともに(図-5)、土砂還元後の河床環境評価(アユへの

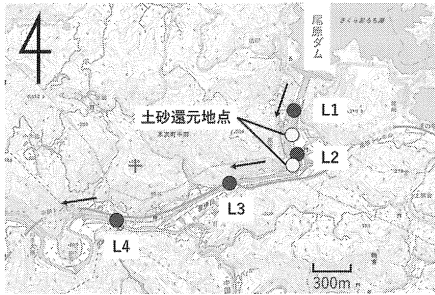


図-5 尾原ダム下流の調査地点（L1～L4）と土砂還元地点の位置関係（地理院地図引用）

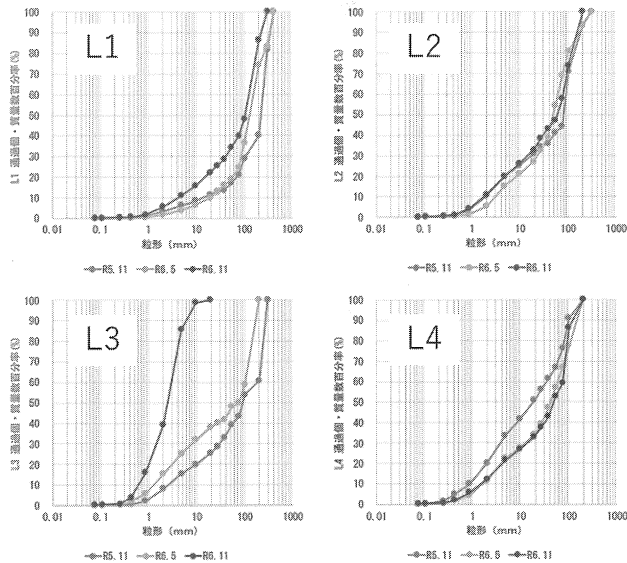


図-6 尾原ダム下流の調査地点（L1～L4）における河床粒径分布の調査結果

影響予測)を目的として3章の簡易予測モデルを用いた露出高が予測された。

河床粒径分布の計測および露出高の推定は、2023年11月、2024年5月、11月の計3回実施されており、この間、2024年3月にL1とL2の直下の2か所で置土による土砂還元が実施された（土砂量はL1直下に100 m³、L2直下に300 m³、主な粒径はともに1～10 mm）。L1は置土の影響がない地点、L2は2か所の置土に挟まれた地点、L3、L4は置土下流の地点（L3は置土から比較的近い、L4は遠い箇所）である。L1～L4の河床粒径分布の調査結果から、L3において、2024年11月に他の時期より河床の1～10 mmの粒径割合が顕著に増大しており、細粒化の傾向が確認された（図-6）。それ以外の地点では、調査時期による河床粒径分布の違いはL3ほど見られなかった（図-6）。この理由として、2024年11月に大規模な出水が生じており、2024年3月に置土した土砂が置土地点からすぐ下流のL3まで一気に流下

表-1 尾原ダム下流の調査地点（L1～L4）におけるモデルによる露出高の平均値の予測結果(mm)

	L1	L2	L3	L4
2023年11月	141	75	109	56
2024年5月	139	61	83	61
2024年11月	125	67	26	58

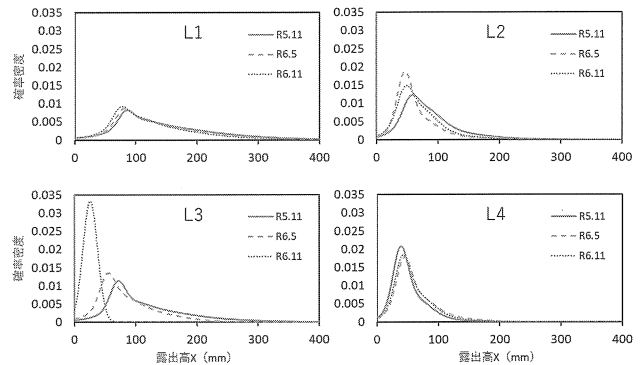


図-7 尾原ダム下流の調査地点（L1～L4）における予測された露出高の分布

したためと推定される。置土の主な粒径は1～10 mmであり、L3で増大した粒径と一致することからも、このことが裏付けられる。

上記の結果を露出高に変換すると、2024年5月～11月にかけて、L3の露出高の平均値が83 mmから26 mmと60 mm近く減少し（表-1）、分布も低い方にシフトしている（図-7）。このように、土砂還元による河床の変化を評価する場合、粒径分布から違いを表現することは容易ではないが、露出高に変換することで、河床の変化を最頻値や平均値として定量的にわかりやすく評価できるといえる。

さらに、露出高の導入によりアユ等の生物の生息場所として望ましいかどうかの考察も可能となる。L3の変化を見ると、置土後の2024年5月に露出高の平均値は83 mmと予測されたが（表-1）、これは既往研究からアユが採餌できる環境が維持されていたと考えられる¹¹⁾。その後の大規模な出水後（2024年11月）には、露出高の平均値は26 mmと減少したことから、置土上流箇所との比較により置土下流で生じた細粒化を検出可能であることが確認された。アユ等への影響に関しては、他の地点でL3ほど大きく低下していなかったことから、今回の土砂還元がアユの採餌環境に広域にわたって影響を及ぼした可能性はほぼなかったと考えられる。

5. おわりに

本報告では、石礫の露出高を用いたダム下流の河床環境評価の手法と導入の利点について、既往の研究に基づき紹介するとともに、この手法をより現場に導入しやすくするための、露出高の簡易予測モデルについて、概要と適用事例を紹介した。河床環境評価については、付着藻類とアユの採餌環境の観点から今回は評価しているが、河床の凹凸の影響は底生無脊椎動物の生息密度等、他の生物にも影響を及ぼしうるので¹²⁾、露出高を用いた評価を今後拡張できる可能性があるといえる。

本モデルは、国立研究開発法人 土木研究所 自然共生研究センターの WEB にも公開されており、どなたでも無料でダウンロードが可能である。

(https://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/research/m3_06.htm)

また、本モデルはエクセルで作成されており、「入力部分」のシートの指定の箇所に河床粒径割合の数値を入力するだけで、「出力部分」のシートに露出高の分布形や平均値が出力される簡易なモデルとなっている。ダム下流の河床環境の効果的・効率的な分析・評価にご活用いただき、さらなる技術の向上（発展）のためにご意見を頂ければ幸いである。

本報告にあたり、中国地方整備局出雲河川事務所および日本工営株式会社には、尾原ダム下流の露出高に関する調査および分析データを数多くご提供いただきましたので、ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Katano, I., Negishi, J.N., Minagawa, T., Doi, H., Kawaguchi, Y. and Kayaba, Y.: Longitudinal macroinvertebrate organization over contrasting discontinuities: effects of a dam and a tributary, *Journal of the North American Benthological Society*, **28**(2), 331–351, 2009
- 2) 原田守啓, 小野田幸生, 萱場祐一: 粗粒化した石礫河床への土砂供給が遊泳性魚類の空間利用に及ぼす影響に関する一考察, 土木学会論文集 B1(水工学), **70**, 1339–1344, 2014
- 3) 宮川幸雄, 小野田幸生, 萱場祐一, 角 哲也, 竹門康弘: 土砂供給で変動する河床の石礫の露出高を予測する方法の提案, 河川技術論文集, **24**, 83–88, 2018
- 4) 小野田幸生, 堀田大貴, 萱場祐一: 土砂供給に伴う河床環境評価の評価に向けた露出高による石礫の埋没度の定量化, 河川技術論文集, **24**, 343–348, 2018
- 5) 国立研究開発法人 土木研究所 自然共生研究センター編: ARRC NEWS, **14**, 2017
- 6) 宮川幸雄, 小野田幸生, 末吉正尚, 中村圭吾: 石礫の露出高を用いたダム下流の河床環境を予測・評価する手法, ダム技術, **437**, 14–21, 2023
- 7) ダム下流の土砂供給による河床環境への効果を予測・評価する手法～石礫の露出高を用いた簡易予測～, 土木研究所資料, 2021
- 8) 長田健吾, 福岡捷二: 石礫河川の河床変動機構と表層石礫の凹凸分布に着目した二次元河床変動解析法, 土木学会論文集 B1(水工学), **68**(1), 1–20, 2012
- 9) 宮川幸雄, 小野田幸生, 中村圭吾: 河床環境評価に資する石礫の露出高の簡易予測手法の改善と複数河川への適用による改善効果の検証, 土木学会論文集 B1(水工学), **76**(2), 1333–1338, 2020
- 10) 福田悠太, 渡辺康平, 平井雅之, 森脇 央, 河口幸広, 吉岡秀和, 宮川幸雄: 島根県斐伊川尾原ダム下流における土砂還元による河床環境改善の取り組み, 大ダム, **263**, 42–49, 2023
- 11) Hotta, T., Onoda, Y., Miyagawa, Y., Sueyoshi, M. and Kayaba, Y.: Relationship between exposure height of stones and feeding behavior of ayu in a large experimental flume, *In Proc. 12th International Symposium on Ecohydraulics*, 2018
- 12) Lenat, D.R., Penrose, D.L. and Eagleson, K.W.: Variable effects of sediment addition on stream benthos, *Hydrobiologia*, **79**, 187–194, 1981

(2025 年 6 月 24 日 受理)

Stone exposure height is a field-applicable indicator reflecting the riverbed's surface structure influenced by fine sediment erosion and deposition, and it relates to periphyton growth and Ayu (*Plecoglossus altivelis*) feeding. A simplified prediction model was previously developed to reduce monitoring costs and has shown reasonable accuracy at several dam sites. In this study, the model was applied to the Obara Dam to evaluate the effects of sediment replenishment and its ecological impact, demonstrating the practical value of using the model predicting stone exposure height in the field.

Key words : stone exposure height, bed material size distribution, periphytic algae, Ayu (*Plecoglossus altivelis*), Obara Dam