

濁水流下における濁度低下への河床材料の影響 ～濁度減少係数推定式の提案～

本山健士・中西 哲・石神孝之

1. はじめに

洪水等によってダム貯水池内に流入した濁質により貯水池において濁水が長期間発生する事例が日本全国で確認されている。この濁水が下流に放流された際の下流の濁度や影響範囲について、ダム事業における環境影響評価では、濁水の流下過程でのSSの沈降を考慮し式(1)に示す減少係数モデルにて予測されている¹⁾。

$$E = E_0 e^{-Kt} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 E : 下流地点のSS(mg/L)、 E_0 : 上流端のSS(mg/L)、 K : 減少係数(1/s)、 t : 流下時間(s)

しかし、この既存の手法は現地調査の実測値をもとに予測する帰納的な手法である。一方、ダム下流の河川では、ダム建設に伴う流入土砂の減少やダムからの土砂供給等により河道の物理環境が大きく変化していくことが予測される。よって、物理環境等を加味した演繹的な手法の開発が必要である。

そこで本検討では、濁水流下範囲の予測手法構築を目的に河床材料によるフィルタリング効果に着目し室内実験より検討した。

2. SS低減メカニズムに関する検討

2.1 水路実験における実験概要

図-1に実験に使用した循環水路の概要を示す。当水路は幅50cm・高さ70cmであり、循環装置としてポンプ2台を使用している。実験時にはポンプの水流などの影響のない区間を計測区間とし、この区間に異なる河床材料を設置し、河床材料ごとのSS低減への影響について検討した。表-1に実験ケースを示す。濁水製作及び計測は、簡易に計測できる濁度を指標とし、濁度-SSの相関関係からSSを算出した。実験において使用している濁水はAダムの底泥を濁質の粒径が0.2mm以下、濁度が約40NTUになるように調整したものを使

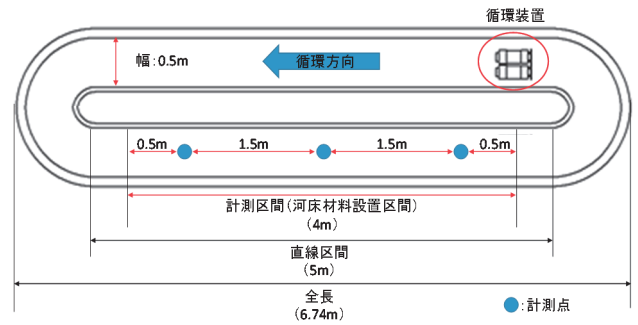


図-1 循環水路概要

表-1 実験ケース一覧

ケース番号	河床材料			平均流速 (m/s)	初期水位 (cm)	実験時間 (h)
	河床材料の粒径	空隙率(%)	層厚(cm)			
Case1	なし			0.23	54.0	48
Case2	10cm	36.6	6.5	0.22	50.5	
Case3	10cm,1cm	28.7		0.23	50.0	
Case4	10cm,1cm,1mm	23.4		0.23	48.5	
Case5	1cm	38.3		3	0.25	
Case6	3mm	38.8	0.25		45.0	

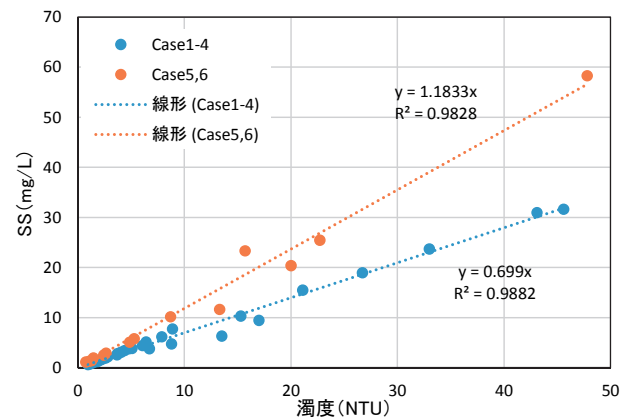


図-2 濁度-SS相関

用した。図-2に実験に使用した濁水の濁度-SS相関図を示す。ここで、case1～4とcase5、6で使用した濁水の濁度-SS相関が異なるのは、実験終了後に濁度が40NTUになるよう濁水を調整する作業を実施しているが、Case4終了後の濁度調整時に濁質等が変化し、濁度-SS相関が変化したものと思われる。

また、計測は濁度の空間分布を把握するため流下方向3点の計測点において、水面より5cm下・中央水深・底面より5cm上の水深の合計9点の濁度を計測した。

2.2 水路実験における実験結果

図-3、4にCase4実験時の24・48時間後における濁度の計測結果を示す。図より、濁度の空間分

Influence of Bed Material on Turbidity Reduction in Flowing Water

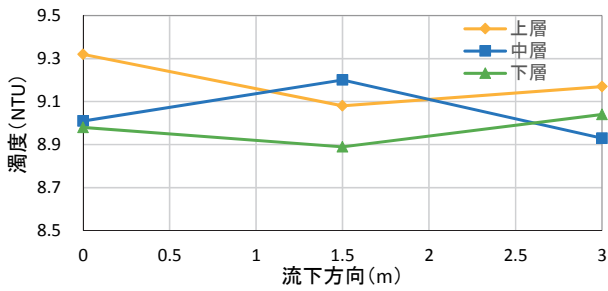


図-3 Case4、24時間後の計測結果

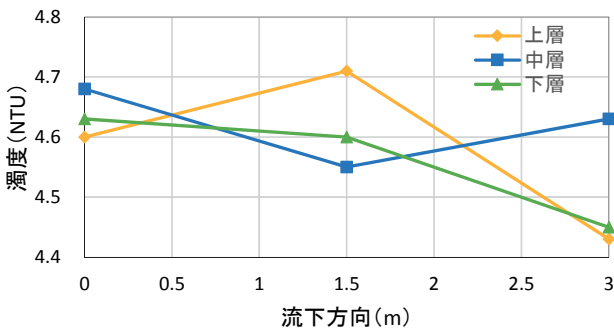


図-4 Case4、48時間後の計測結果

布について、明確な傾向は見られなかった。よって、実験結果は各計測時間の濁度を全計測箇所を平均し、濁度-SS相関より算出したSSを用いて整理した。図-5、6に全実験ケースのSS経時変化を示す。図-5、6より実験の初期条件等が異なるものの、Case1の河床材料なしのケースでは、SSがほとんど低下していないのに対して、Case2~6の河床材料ありのケースでは、SSが低下していると同時に河床材料ごとにSSの低下量が異なることが分かる。

2.3 実験結果の考察

実験結果よりSSの低下量には河床材料の影響があると考えられる。そこで実験結果を減少係数 K を用いて整理した。本実験における減少係数 K の算出方法を式(2)に示す。各実験ケースにおける減少係数 K は式(2)をもとに最小二乗法を用いて解析した。解析にはPythonの数値解析ライブラリであるscipyを用いた。また、河床材料ではなく、水路による濁質の低減の影響を考慮し、河床材料なしの実験より得られた減少係数をもとに補正した。

$$\begin{aligned}
 E &= E_0 e^{-K\Delta t} && \text{式(2)} \\
 \Delta t &= t(t_1/t_0) \\
 K &= K_0 - \dot{K}
 \end{aligned}$$

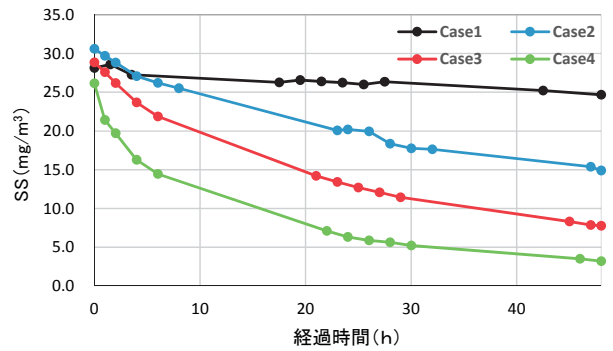


図-5 濁度の経時変化 (case1~4)

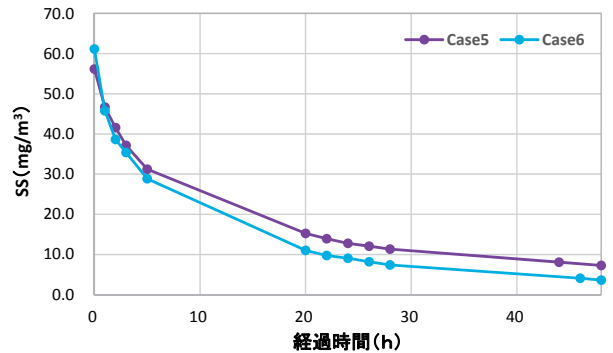


図-6 濁度の経時変化 (case5,6)

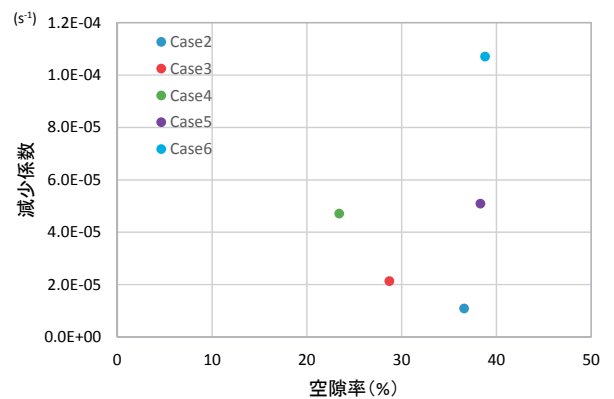


図-7 河床材料の空隙率と減少係数 K

ここで、 E : 経過時間 Δt におけるSS(mg/L)、 E_0 : 実験開始時SS(mg/L)、 K_0 : 各実験における減少係数、 Δt : 計測区間総流下時間(s)、 t : 実験時間(s)、 t_1 : 循環水路一周のうち河床材料設置区間を流下する時間(s)、 t_0 : 循環水路一周を流下する時間(s)、 K : 補正後減少係数 (1/s)、 \dot{K} : 水路の減少係数(1/s) (case1より算出)を表す。

SSの低減する要因として、濁質の河床材料の空隙への吸収といったメカニズムがあると考え、減少係数と河床材料の空隙率の関係を整理したものを図-7に示す。図より、本検討の実験ケースの中では、空隙率と減少係数の間に明確な相関は見

られなかった。また、空隙率がほぼ同一のケース (Case2,5,6) の減少係数を比較すると河床材料が小さくなるほど減少係数が大きくなった。

次に減少係数と河床材料の粒径の関係を図-8に示す。図より、河床材料の粒径と減少係数の間に相関関係があることが分かる。河床材料による濁質のフィルタリング効果として、河床材料の空隙に濁質が吸収されると考え、室内実験より検討したが、空隙率との相関は見られず、河床材料の粒径が大きいと減少係数が小さいという相関関係が得られた。河床材料中の流体挙動は浸透流、すなわちダルシー則におおよそ支配されるであろう。ダルシー則で流体場を規定するのは透水係数である。一般的に透水係数は個々の空隙の孔径の二乗に比例する。また代表粒径の二乗に比例する形でも表現される。空隙率は河床材料の空隙総量を示す指標であり、個々の孔径を表してはいない。

よって、濁質が空隙に取り込まれたのちの浸透流場の挙動により、それぞれのケースで河床材料中の滞留時間が異なることによるためだと考えられる。

2.4 河床材料の影響を踏まえた減少係数の推定

実験結果を踏まえ、河床材料の粒径と減少係数 K の関係から、減少係数の推定式 (式(3)) を導出した。

$$K = ae^{-bx} \quad \text{式(3)}$$

ここで、 a 、 b : 係数 (実験より $a=9.00 \times 10^{-5}$ 、 $b=2.84 \times 10^{-2}$)、 x : 河床材料の中央粒径(mm) を表す。

本手法では出水やダムからの土砂供給等による河床材料の変化に対応した予測が可能である。

河床材料による減少係数の推定式 (以下「 K 推定式」という。) の再現性を確認するため、実験結果との比較を行った。Case3およびCase6における比較検討結果を図-9に示す。図より概ね実験結果と同程度となっているが、 K 推定式に比べ、実験開始より15~20時間までは実験結果の濁度が小さく、それ以後は K 推定式による計算結果の濁度が小さい結果となった。これは、実験開始時より比較的粒径の大きい濁質より順に沈降していくため、初期はSS低減が大きく、実験終了時はSS低減が小さいためであると考えられる。

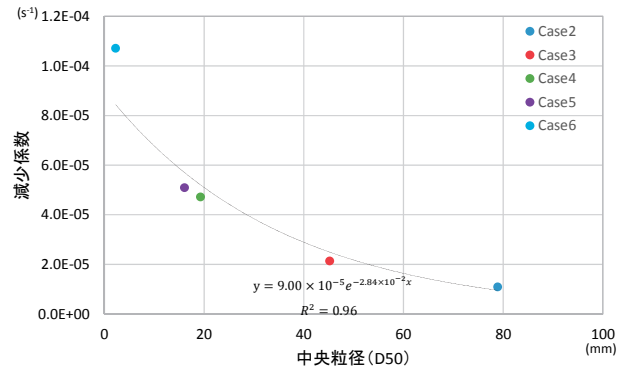


図-8 河床材料の中央粒径と減少係数 K

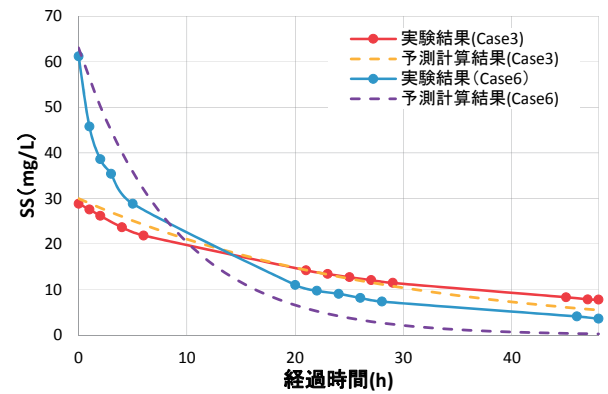


図-9 K 推定式による実験結果の再現

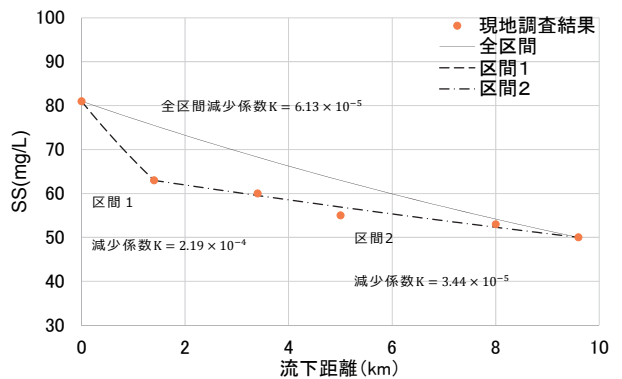


図-10 現地調査結果と既存手法の比較

3. 実河川における K 推定式のケーススタディ

3.1 濁水流下範囲に関する現状分析

ダムから濁水が下流のどの範囲まで及ぶかを把握するため、2016年11月にBダム下流において現地調査を実施した。図-10に現地調査の結果を示す。調査は大きな支川流入のないBダムの下流約10kmの範囲において6地点を選定し、濁水を採水し濁度およびSSを測定した。図-10より、濁水が流下していく過程において、SSが低減することを確認した。

Bダムにおける濁水の流下について既存手法を用いて分析した。既存手法減少係数の算出に必要な

な流下時間 $T(s)$ について、1次元不等流計算より平均流速を算出し、平均流速と流下距離から流下時間を算出した。また、減少係数は区間の上下流端の2地点より算出し、減少係数をもとに区間途中のSSを算出した。図より0km地点と9.6km地点より算出した減少係数では、計算結果と現地調査結果が大きく乖離する結果となった。それを踏まえ、全区間を上流端より0km～1.4kmの区間1と1.4km～9.6kmの区間2の2つに分け、減少係数を算出し計算を行った。その結果、計算と現地調査結果がほぼ同程度となっている。これより現地調査をもとに減少係数を算出する手法においては調査地点が重要であり、調査地点が異なることにより、減少係数及びSSの計算結果が大きく異なることが分かった。

3.2 現地調査結果とK推定式の比較

K推定式および実験より算出された係数の適用性について検討するため、K推定式を用いたSS予測計算を実施した。予測計算に必要な河床材料の粒径は流下距離6km地点における平成25年度の調査結果より中央粒径30.01mmを用いた。また、現地調査の分析結果を踏まえ、区間2を対象とし予測計算を実施した。予測計算結果と現地調査結果の比較を図-11に示す。図より、K推定式による予測計算結果と現地調査結果は概ね同程度の値となっているが、区間1を対象にした場合、現地調査結果を再現することはできない。

よって、現地河川への適用については引き続き検討を進める必要がある。

4. まとめ

本研究では、ダム下流における濁水の流下に関する基礎的検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

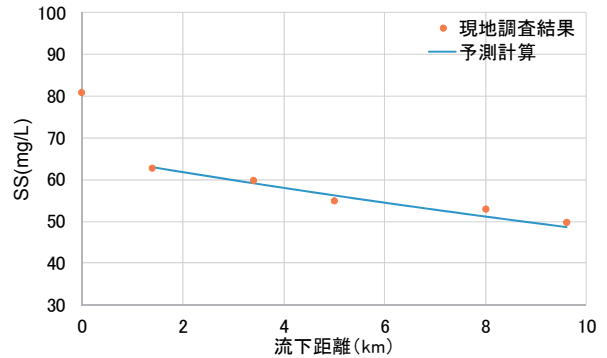


図-11 K推定式による予測計算結果の比較

- 1) 河床材料による濁質のフィルタリング効果として、河床材料の粒径と減少係数に相関関係があることを確認した。
- 2) 現地調査の結果、既存の減少係数のモデルでは、上下流端の決定方法により減少係数が大きく異なるため、流下途中のSSの予測が困難である。

本検討においては、河床材料のフィルタリング効果によるSS低減について着目し、既存の減少係数モデルをもとに検討した。しかし、河川におけるSSの低減については、河床材料の粒度分布や河道形状・水理条件等の影響についても検討する必要がある。今後は、他の影響要因の分析やモデルの高度化等について、引き続き検討する必要がある。

謝 辞

ダム下流における濁水に関する現地調査は、国土交通省、地方整備局等にご協力いただいた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

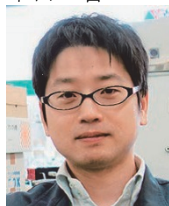
- 1) (財)ダム水源地環境整備センター：ダム事業における環境影響評価の考え方、pⅢ-118～Ⅲ-120、2000.3

本山 健士



土木研究所水工研究グループ
水理チーム 研究員
Kenshi MOTOYAMA

中西 哲



土木研究所水工研究グループ
水理チーム 研究員
Satoru NAKANISHI

石神 孝之



土木研究所水工研究グループ
水理チーム 上席研究員
Takayuki ISHIGAMI