

砂防ダムからの排砂が溶存酸素濃度に与える影響

国土交通省 ○木下篤彦
 京都大学防災研究所 藤田正治
 京都大学大学院農学研究科 水山高久
 京都大学防災研究所 澤田豊明

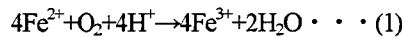
1. はじめに

排砂に伴う濁水による溪流魚への生理的な影響を評価する際には浮遊物質濃度の増加と共に溶存酸素濃度の低下を予測することが重要となる^{1)・2)}。著者らは、これまで、神通川水系ヒル谷、信濃川水系熊取沢での排砂に際して、溶存酸素濃度が低下する原因を調査した^{1)・2)}。その結果、階段状河床形の発達しているヒル谷では、主にプールの埋没による曝気の減少によって、階段状河床形の発達していない熊取沢では、主にダム堆積土砂中の2価鉄によって溶存酸素濃度が低下することが分かった。今後予想される山地河川での排砂では、プールの埋没と還元物質の両方を考慮する必要があると考えられる。そこで、本研究では、まず、黒部川での排砂による溶存酸素濃度の低下予測モデル³⁾、藤田らの排砂後のプールでの土砂の堆積および侵食モデル⁴⁾を参考に、ダム堆積土砂中の2価鉄の含有量、プールの容積を指標とした溶存酸素濃度の低下を予測するモデルを構築する。次に、仮にヒル谷の排砂において排出する土砂が熊取沢のダム堆積土砂と同じ密度で還元物質を含んでいた場合について計算を行い、モデルの検証を行う。

2. 排砂後の溶存酸素濃度を予測するモデル

片岡ら³⁾、藤田ら⁴⁾の研究を参考に排出土砂に含まれる2価鉄の含有量、プールの容積を指標として溶存酸素濃度の変化を予測するモデルを構築する。

排砂後に2価鉄は以下の式(1)に従って水中の酸素を消費し3価鉄に変化する。



式(1)中の2価鉄の反応速度について、Stumm and Morgan⁵⁾は実験結果より、反応速度は2価鉄濃度、酸素濃度、水酸化物イオン濃度の2乗にそれぞれ比例すると述べている。著者らが対象とした熊取沢、ヒル谷の排砂では排砂後のPHの変動が小さかったので、本研究では反応速度は2価鉄濃度、酸素濃度によって決まると仮定し、2価鉄の反応速度を以下の式(2)で表す。

$$\frac{\partial C_{F2}}{\partial t} = -K \cdot C \cdot C_{F2} \cdots (2)$$

ここに、 C_{F2} ：水中の2価鉄濃度、 K ：反応速度係数、 C ：溶存酸素濃度である。

式(1)中の酸素の反応速度については式(1)、(2)より以下の式(3)のように表すことができる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -K \cdot \frac{W_{O_2}}{4W_{Fe}} \cdot C \cdot C_{F2} \cdots (3)$$

ここに、 W_{O_2} ：酸素の分子量(32)、 W_{Fe} ：鉄の原子量(55.8)である。還元物質は2価鉄以外にも存在し、それらによっても酸素が消費される。そこで式(3)を以下の式(4)のように修正する。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{1}{R_{F2}} \cdot K \cdot \frac{W_{O_2}}{4W_{Fe}} \cdot C \cdot C_{F2} \cdots (4)$$

ここに、 R_{F2} ：還元物質による酸素消費量に占める2価鉄由来の割合である。

酸素と鉄は共に水の流れと拡散によって移動すると考えられ、溶存酸素濃度 C と水中の2価鉄濃度 C_{F2} は以下の式(5)、(6)のような移流拡散方程式によって求められると考えられる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot C)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + K_r \cdot (C_S - C) - \frac{1}{R_{F2}} \cdot K \cdot \frac{W_{O_2}}{4W_{Fe}} \cdot C \cdot C_{F2} \cdots (5)$$

$$\frac{\partial C_{F2}}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot C_{F2})}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial C_{F2}}{\partial x} \right) - K \cdot C \cdot C_{F2} \cdots (6)$$

ここに、 ε_x ：流下方向の拡散係数、 K_r ：再曝気係数である。

式(5)、(6)中の流下方向の拡散係数 ε_x は鉛直方向の拡散係数と等しいと仮定して以下の式(7)で求める。

$$\varepsilon_x = \frac{1}{6} \kappa U_* h \dots (7)$$

κ :カルマン定数(=0.4), U_* :摩擦速度, h :水深である。水深 h は等流として流量から Manning 式を用いて求める。 U_* は以下の式(8)から計算される。

$$U_* = \sqrt{ghi} \dots (8)$$

ここに, g :重力加速度, i :エネルギー勾配である。

式(5)中の再曝気係数 K_r について, 再曝気はプールが大きいほど盛んになると仮定して以下の式(9)のように表す。

$$K_r = \frac{V_W}{V_{W0}} \cdot K_{r0} \dots (9)$$

ここに, V_W :単位幅当たりのプールの容積, V_{W0} :土砂が堆積していない状態の単位幅当たりのプールの容積, K_{r0} :プールに土砂が堆積していない状態の再曝気係数である。なお, 本研究では瀬での曝気はプールでの曝気に比べれば無視できると考えて $K_r=0$ と仮定する。

3. 仮にヒル谷のダム堆積土砂に熊取沢と同じ密度の還元物質が含まれていた場合の排砂後の溶存酸素濃度の変化についての検討

1998年のヒル谷での排砂について, ヒル谷のダム堆積土砂に仮に2003年の熊取沢のダム堆積土砂と同じ密度で還元物質が含まれていた場合について, 図-1(a)に計算条件であるヒル谷の1998年の排砂後の流量の時間変化を, (b)にダム下流30.5m, 180.5mでの単位幅当たりのプールの容積の時間変化を, (c)に再曝気係数の時間変化を, (d)にプールでの溶存酸素濃度の時間変化を示す。なお, 空隙を含めた排砂量は49m³とし, 土砂はゲートが開いている間平均的に排出されるものとした。また, 熊取沢でのダム堆積土砂の調査結果から, 排出土砂1gにつき5.71mgの2価鉄が付着し, 式(4)中の R_{Fe} は0.89とした。

ダム下流180.5m地点のプールについて, プールに土砂堆積がない排砂直後は還元物質の流下によってダム下流で溶存酸素濃度が初期値の9.8mg/Lから8.5mg/Lまで低下する。その後, プールの埋没によって再曝気係数が低下し, 排砂2時間後には8mg/L近くまで低下している。その後, ゲートを閉めると還元物質の流下が無くなり, 急激に溶存酸素濃度が増加することが分かる。ヒル谷のような山地河川では排砂時の流量が小さいとプールに土砂が堆積し, プールでの曝気が減少し, 溶存酸素濃度が低下することが分かった。

4. おわりに

本研究ではダム堆積土砂中の2価鉄の含有量, プールの容積を指標として山地河川における排砂後の溶存酸素濃度を予測するモデルを提案した。本研究から, 排砂時の流量が小さいとプールに土砂が堆積し, これによってプールでの曝気が減少し, 溶存酸素が低下することが分かった。排砂による溶存酸素濃度への影響を評価する際には, プールへの土砂堆積についても考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 木下・藤田・水山・澤田:排砂に伴う濁水によるイワナへの影響評価法, 水工学論文集, 第47巻, p.1129-1134, 2003,
- 2) 木下・藤田・田川・水山・澤田:排砂に伴う濁りが魚類に与える生理的影響とその評価法, 砂防学会誌, Vol.58, No.3(260), p.34-43, 2005,
- 3) 片岡, 加藤, 南, 森, 劉:ダム排砂に伴うDO変化に関する数値モデル, 水工論文集, 第45巻, p.1195-1200, 2001,
- 4) 藤田・澤田・水山・木下:砂防ダムからの排出土砂の移動とそれが溪流環境に与える影響, 水工学論文集, 第44巻, p.1215-1220, 2000,
- 5) Werner Stumm and James J. Morgan:一般水質化学(下), 共立出版, p.497-498, 1974

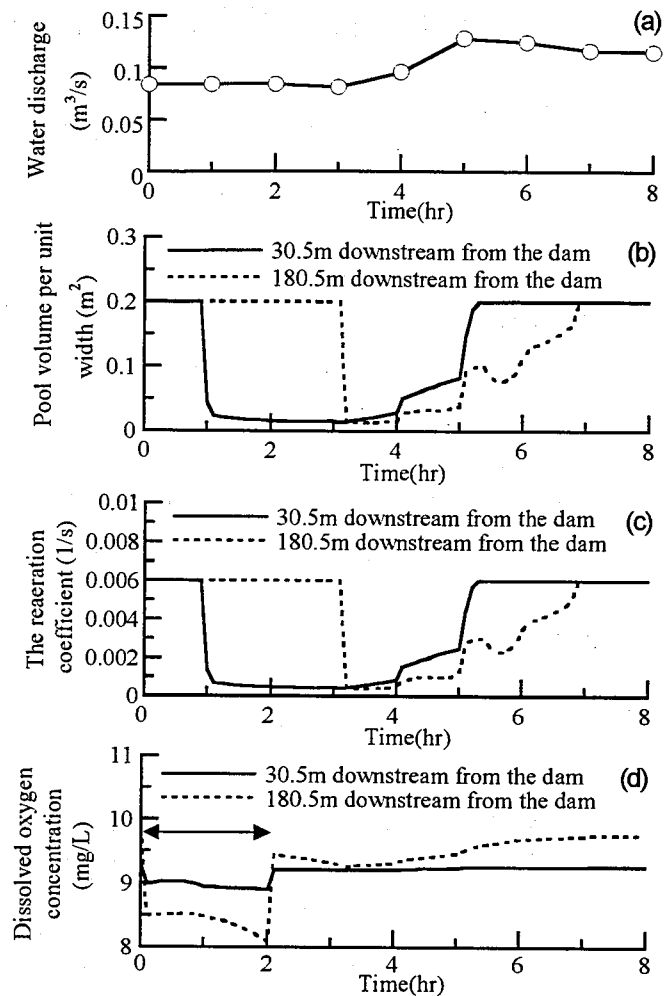


図-1 仮に, ヒル谷に1998年の排砂と同じ流量, 排出土砂量, 排砂時間で, 熊取沢と同じ密度の還元物質を含む土砂を排出した場合の(a)流量条件, (b)単位幅当たりのプール容積の時間変化, (c)再曝気係数の時間変化, (d)溶存酸素濃度の時間変化の計算結果。矢印はゲートが開いている時間を示す。