

京都大学工学研究科 学生員 ○前田 圭一
京都大学工学研究科 正会員 角 哲也

1. はじめに

我が国には急峻な地形、降雨が多い特徴を活かして、多くの貯水池が建設されてきたが、流入する土砂により貯水機能が低下するダムが増加している。そこで、様々なダム堆砂対策が行われているが、その1つにフラッシング排砂がある。しかし、日本では排砂施設を備えたダムが少なく、排砂実績が少ないため、効率的な排砂を行うシステムが確立していない。本研究は、ダム貯水池の排砂対策としてのフラッシング排砂による水みちの形成を簡単に予測し、これにより排砂操作の有効性を、簡易に判定する手法について検討を行ったものである。

2. 解析方法

排砂の最終形状をいくつかの仮定の元に簡易に求める試みが、フランス電力会社 (E.D.F) の Bouchard[1] により行われている。

水みち幅/水深の比の関係

$$B_f/h = \alpha \quad (B_f = \alpha h) \quad (1)$$

$$\text{マニング式} \quad Q = vA = \frac{1}{n} R^{2/3} I_f^{1/2} A \quad (2)$$

限界掃流力

$$\tau_c = \rho g R I_f = \rho g \left(\frac{\alpha}{\alpha+2} h \right) I_f \quad \therefore \quad h = \frac{\tau_c}{\frac{\alpha}{\alpha+2} \rho g I_f} \quad (3)$$

(1),(2),(3) 式を整理すると排砂勾配 I_f 、及び水みち幅 B_f が次のように求められる。

$$I_f = \left\{ \frac{\alpha \left(\frac{\alpha+2}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\tau_c}{\rho g} \right)^{8/3}}{nQ} \right\}^{6/13} \quad (4)$$

$$B_f = \alpha h = \alpha \left\{ \frac{\left(\frac{\alpha+2}{\alpha} \right)^{1/3} n^2 Q^2 \left(\frac{\rho g}{\tau_c} \right)}{\alpha^2} \right\}^{3/13} \quad (5)$$

これにより、簡易計算法による排砂形状の推定方法を以下 (1)~(8) のようにまとめることが出来き、これを模式的に表したものが図1である。ここで、 H_0 :貯水池満水高、 H_f :排砂高、 I_0 :初期河床勾配、 I_s :堆砂勾配、 I_f :排砂勾配、 B_0 :初期河道幅、 B_f :水みち幅、 θ_0 :初期河岸傾斜角、 θ_f :排砂河岸傾斜角、DDR:水位低下率 ($= 1 - H_f/H_0$) である。

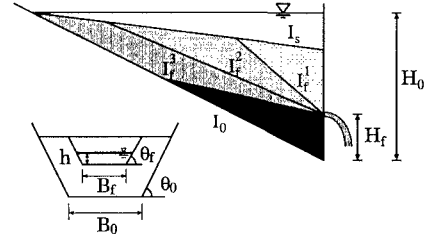


図1: フラッシング排砂の模式図

- (1) 検討対象とする貯水池内の堆積土砂の粒径整理。
- (2) (1) より代表粒径を求め、対応する τ_c を推定。
- (3) 排砂流量を Q と仮定する。
- (4) (4) 式、(5) 式より I_f 、及び B_f を求める。
- (5) 排砂時の下流基準点 (排砂ゲート敷高標高など) を定めて、排砂勾配 I_f より排砂縦断形状を確定する。
- (6) 貯水池内の各河道断面に排砂勾配 I_f より求められる排砂縦断標高をプロットする。
- (7) 河道断面中央より幅 $B_f/2$ ずつの水みちを設定。
- (8) 貯水池内堆積土砂の平均安息角より、排砂河岸傾斜角 θ_f を推定し、水みち端部より左右に側岸侵食形状を求める。

Bouchard は、フランスにおける自然河川の水深と水みち幅に関する統計データから (1) 式において $\alpha = 18$ を用いているが、これはフランスにおける経験則であり、これがそのまま日本のダムにあてはまるとは限らない。そこで、別に後藤ら [2] による側岸侵食の数理模型実験結果を参考に検討したところ、 $\alpha = 50$ 程度の大きな値の方が適合性が高いことが明らかとなった。そこで以降においては $\alpha = 18$ と $\alpha = 50$ について検討を行う。

次に実際にフラッシング排砂実績のある、黒部川水系の出し平ダムについて考察してみる。出し平ダムの平面図と平成3年排砂実績を図2に、断面図 No.6 と No.8 をそれぞれ図3、図4に示す。以下、特に Regime 則に着目して $B_f = 18h$ の場合と、 $B_f = 50h$ の場合について考察する。方法としては実績の排砂勾配 I_f 、排砂流量 Q を用いて、(4) 式により限界掃流力 τ_c を求め、 τ_c により限界排砂勾配を与える代表粒径が、粒径加積曲線でどの程度の通過率にあたるかを求める。また、(5) 式により B_f を求め、実際の水みち幅 B_f と比較して α の妥当性を考察する。

3. 解析結果

図3, 図4に平成3年の排砂実績とともに, $\alpha = 18$ と $\alpha = 50$ として計算したものを示す。これを見ると $\alpha = 18$ の場合は水みち幅 $B_f = 19.6\text{m}$ となり, $\alpha = 50$ の場合は $B_f = 36.5\text{m}$ となった。実際の水みち幅は $B_f = 47.5\text{m}$ であり $\alpha = 50$ の場合でもまだ小さいが, $\alpha = 18$ よりも実際の水みち幅に近い。Bouchard の用いた Regime 則 ($B_f=18h$) は, フランスの河川における実績値をもとに作成されているが, フランスの河川は日本の河川と比較して, 河床構成材が細粒土砂が中心である事が知られている。これが Bouchard が $\alpha=18$ を採用した理由であるかは不明であるが, 少なくとも出し平ダムの実績や後藤らの水理模型実験結果を考慮すれば, これよりも大きな値, 例えば $\alpha=50$ とすることが適当ではないかと考えられる。従って, 以降の検討においては, $B_f=50h$ を用いて議論を進める。また, $B_f = 50h$ とすると, 排砂勾配を与える代表粒径 d_r が 90 % 粒径であることが分かる。

次に図5のようなモデルダムを想定して, このダムでフラッシングをすると考え, 排砂流量 Q を変化させて, 排砂率 E_f ($=$ 排出堆砂量/排砂前堆積土砂量) との関係を見る。また, 排砂河岸傾斜角 $\theta_f=30^\circ$ とした。流量 Q を $Q=0\sim 250\text{m}^3/\text{s}$ と変化させた場合の, 流量 Q と排砂率 E_f の関係を図6に示す。これを見ると, 流量 Q が $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度までは流量に比例して排砂率 E_f が大きくなるが, 流量がそれ以上になると, 排砂率はあまり変わらない。これより, ここで設定したモデルダムにおいて, フラッシング排砂を成功させるための目標流量は, $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度以上と考える事ができる。なお, この排砂目標流量の一般化のためには, 何らかの形で無次元化する必要がある。その1つとしては, 横断的な要素としての初期河道幅 B_0 に対する水みち幅 B_f の比があり, $B_f/B_0 \geq 0.7$ を条件と考え, これを満足する排砂流量を目標とする事が考えられる。

4. 本研究のまとめ

- 簡易計算法により, フラッシング排砂の効果を検討することが可能
- Regime 則は, $B_f = 50h$ の方が適合性が高い。
- $B_f/B_0 \geq 0.7$ で排砂率の増加が小さくなり, これを排砂目標流量とすることが可能である

参考文献

[1] Bouchard, J-P and Maurel, F and Petitjean, A: Sedimental impact of reservoir emptying prediction tools and site investigation, "Proc. of Int. Water Research Symposium," RTWA, Aachen, 1997

[2] 後藤孝臣, 北村忠紀, 辻本哲郎: 土砂供給の停止による河床低下と砂礫河岸拡幅の進行過程, 水工学論文集 vol.44, pp765-770, 2000

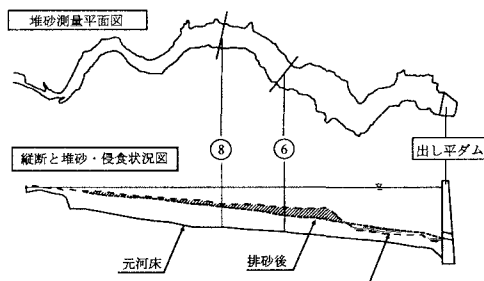


図2：平成3年度出し平ダムの排砂実績と平面図

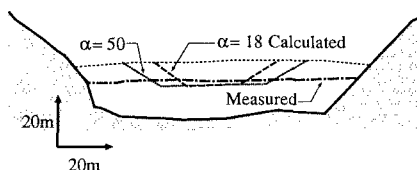


図3：平成3年排砂後の出し平ダムの断面 No.6

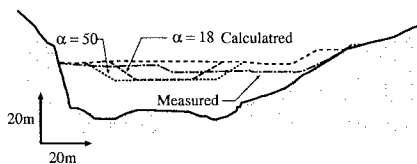


図4：平成3年排砂後の出し平ダムの断面 No.8

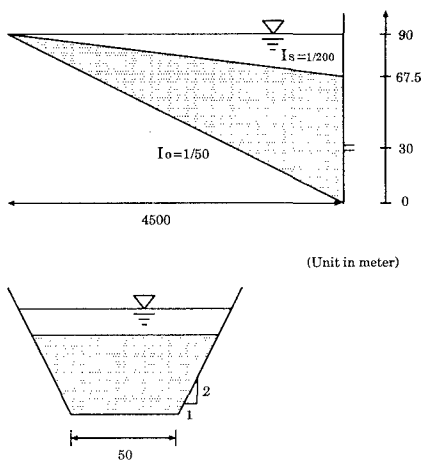


図5：モデルダム

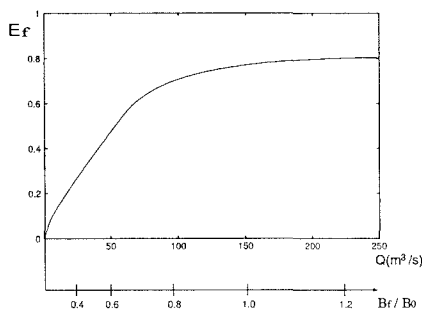


図6：排砂率 E_f と流量 Q , 河幅比 B_f/B_0 の関係