

フラッシング排砂の導入可能性を評価する一次判定手法に関する研究

京都大学大学院工学研究科 正会員 角 哲 也
 (株) ハイドロソフト技術研究所 学生会員 ○井口 真生子

1 目的

近年、貯水池の土砂管理手法としてのフラッシング排砂が黒部川水系出し平ダムや宇奈月ダムで適用され、当初の排砂時の放流水質問題は改善され、持続的な排砂運用段階に入ってきている。今後、同様な操作を新規ダムや既設ダムに適用する場合に有効な対策となり得るか否かは、当該ダム貯水池の地形（河道幅・河床勾配など）、堆積土砂の特性、排砂に利用可能な流量とその継続時間・生起頻度、下流河道の特性などにより大きく左右されることが想定される。そこで本研究では、このようなフラッシング排砂に係る諸条件から、ダムごとの土砂管理の有効性を容易に判定可能な手法を確立し、これを用いて日本のダムにおける実施可能性について検討を行うことを目的とする。

2 フラッシング排砂導入可能性の一次判定手法

排砂可能性の一次判定の重要性は既に提示されており、Basson、角は貯水容量と年間流入量・年間土砂流入量の関係に着目している¹⁾。一方、世界銀行による貯水池土砂管理プロジェクト（RESCON Project）²⁾では、種々の土砂管理対策の経済比較分析が行われており、その際のフラッシング排砂評価には、Atkinson の提案した判定指標 SBR、LTCR^{3,4)}が採用されている。この SBR、LTCR の日本のダム貯水池への適用可能性について検討し、必要な改良を加えらるとともに、国内の他ダムへの適用について検討を行った。

2.1 SBR (Sediment Balance Ratio)

1 回のフラッシング排砂で除去可能な土砂量は、少なくとも次の排砂が実施されるまでの期間に堆積する土砂量に匹敵しなければならない。SBR はこの条件（ $SBR \geq 1$ ）を満たすか否かを判定する指標であり、式(1)に定義される。

$$SBR = \frac{\text{1年当りフラッシング排砂量}}{\text{年堆砂土砂量}} \dots\dots(1)$$

$$= \left(\frac{Q_s T_f \cdot 36500}{N} \right) / M_{in} \cdot TE$$

ここに、 Q_s ：フラッシング排砂量（t/s）、 T_f ：排砂実施期間（日）、 N ：排砂実施サイクル（年）、 M_{in} ：年流入土砂量（t/年）、 TE ：土砂捕捉率である。 TE は Brune 曲線⁵⁾により、 Q_s は清華大学手法⁴⁾により求められる。

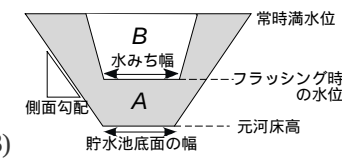
2.2 LTCR (Long Term Capacity Ratio)

フラッシング排砂により維持可能な貯水容量は初期総貯

水容量に対して十分な割合（約 50%以上）でなければならない。LTCR はこの条件（ $LTCR \geq 0.5$ ）を満たすか否かを判定する指標であり、式(2)に定義される。

$$LTCR = \frac{\text{維持可能な貯水容量}}{\text{初期総貯水容量}} \dots\dots(2)$$

LTCR は複雑な貯水池地形を単純にモデル化し、ダムサイト付近の代表断面にて評価する。図-1 のうち、排砂しても堆積土砂が除去されずに取り残される断面積（A）、排砂によって土砂が除去される断面積（B）とすると、LTCR は式(3)で表される。



$$LTCR = \frac{B}{A + B} \dots\dots(3)$$

図-1：モデル断面図

2.3 SBR および LTCR に必要なデータ

SBR、LTCR を算出するのに最低限必要なデータは、①総貯水容量、②貯水池延長、③常時満水位（および洪水期制限水位）、④ダムサイト付近の貯水池底面の幅、⑤ダムサイト付近の貯水池側面勾配、⑥年流入土砂量、⑦堆積土砂のタイプ、⑧排砂時の水位（排砂ゲート標高）、⑨排砂流量、⑩排砂継続期間、⑪排砂の実施サイクル、である。

なお、排砂が実施されていないダム貯水池では⑧から⑪を決定する基準が必要となる。これらはダム貯水池の運用、流況、排砂設備設置コストなどを考慮して決定しなければならないが、本研究では検討の末、次のようなルールに従った。イ）排砂時の水位は、ダムの底高から制限水位までの高さを H としたとき、 $(1/3)H$ とする。ロ）フラッシング排砂流量は $3/365$ 日流量とする。ハ）排砂継続期間は 1 日とする。ニ）排砂の実施サイクルは 1 年とする。

3 フラッシング排砂量の推定方法

SBR に必要なフラッシング排砂量 Q_s は、RESCON モデルでは式(4)で示される清華大学手法により求めている。

$$Q_s = \Psi \frac{Q_f^{1.6} S^{1.2}}{W_f^{0.6}} \dots\dots(4)$$

ここに、 Q_f ：排砂流量（ m^3/s ）、 S ：河床縦断勾配、 W_f ：水みち幅（m）、 Ψ ：定数（黄土のような土；1500、 $D_{50} < 0.1mm$ ；650、 $D_{50} \geq 0.1mm$ ；300、排砂が困難な場合[粒径が大きい、粘性を有する、排砂流量が小さいなど]；180）で

キーワード 貯水池土砂管理、フラッシング排砂、RESCON モデル

連絡先 〒550-0015 大阪市西区南堀江 1-7-4 パロスビル 7F (株)ハイドロソフト技術研究所 TEL 06-6533-8011

ある。なお、水みち幅 W_f は実測値から導いた式(5)より求められる。

$$W_f = \alpha Q_f^{0.5} \dots (5)$$

ただし、排砂時の水位での貯水池幅の方が小さい場合は、その幅を水みち幅とする。式(5)はレジーム則と同じ形であり、RESCON モデルでは $\alpha=12.8$ が採用されている。日本の一般河道では $\alpha=5\sim 8$ が適用され、出し平ダムの排砂の実測値では約6であったことから、本研究では $\alpha=6$ とした。

式(4)は中国の貯水池の実測値より求めた経験式であり、Atkinson は「中国の貯水池と状態が違ような貯水池においては3倍以上過剰に評価される恐れがある。」と述べ、貯水池の状況に応じて Ψ を3で除したものを比例定数としている。そこで、式(4)の Ψ の値を出し平ダム ($D_{50}=0.3\text{mm}$) とスイス連邦のローヌ川水系ヴェルボアダム ($D_{50}=0.01\text{mm}$ 粘性土) の実績値と比較した (図-2)。その結果、出し平ダム ($\Psi=1\sim 16$)、ヴェルボアダム ($\Psi=11\sim 39$) となり、清華大学手法が示す値より極端に小さな値になった。これは、中国では堆積土砂の粒径が大きいものや河床勾配の急な貯水池の事例が少なかったことの他に、日本やスイスでは下流環境への影響が重視され、堆砂量に対して排砂使用水量が多くなっていることが主な要因と考えられる。

さらに、式(4)を日本で一般的な流砂量式と比較した。掃流砂量式に芦田・道上式、浮遊砂量式に Lane-Kalinske の式を用い、勾配を 1/50、1/100、1/500、流量を 100~800m³/s とし、4 粒径に対して計算した結果を図-3 に示す。掃流砂主体の $D_{50}=0.3\text{mm}$ 、 0.5mm の結果は、流砂量と ($Q_f^{1.6} S^{1.2} / W_f^{0.6}$) は相関がよく、その比例係数は出し平ダムで最も排砂効率が高い時の Ψ (=16) と近い値を示した。相関が高いのは、次元的に類似しているからである。一方、浮遊砂が主体の $D_{50}=0.1\text{mm}$ 、 0.05mm は、勾配ごとに異なった直線上に乗った。これは、式(4)は勾配の 1.2 乗に比例するのに対し、Lane-Kalinske の式は勾配の概ね 0.5 乗に比例するからである。粒径が細かいシルト・粘土については、比較可能な粘性土の侵食量の評価式が提案されておらず、今後の課題とする。これらの検討を踏まえ、本検討では D_{50} が 0.1mm より小さな土砂については RESCON モデルに従い、大きな粒径のものには、 $\Psi=15$ を使用することとした。

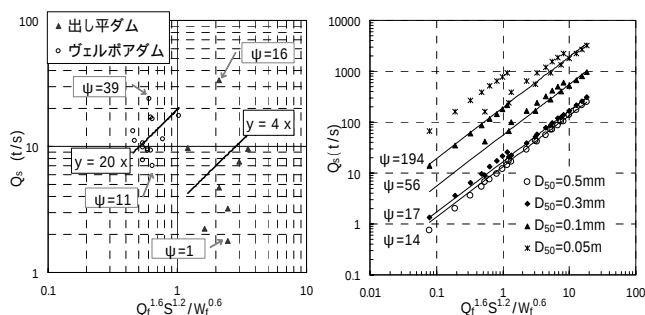


図-2 実績値との比較

図-3 他の流砂量式との比較

4 国内 10 ダムの判定結果

国内の 10 ダム (多目的ダム) について、SBR と LTCR を算出した。これらのダムの緒元と SBR、LTCR を表-1、図-4 に示す。この結果から、10 ダムのうち 6 ダムはフラッシング排砂が有効な堆砂対策と判定された。フラッシング排砂が有効でないとしたダムのうち、ダム G、I、J は、流砂能力は十分であるが貯水池幅が形成される水みち幅に対してかなり広いこと、またダム H は、ダム規模に対してフラッシング流量が小さい (貯水池回転率小) ことが、フラッシング排砂効果が十分得られない原因と考えられる。

表-1 10 ダムの緒元と SBR、LTCR

	CAP/MAS	CAP/MAR	排砂勾配	フラッシング水位での河床幅 (m)	フラッシング流量 (m ³ /s)	Ψ	SBR	LTCR	判定
A	180	0.05	1/240	76	462	15	8.8	0.75	○
B	122	0.04	1/590	80	162	180/3	2.0	0.78	○
C	92	0.05	1/200	100	202	15	1.9	0.65	○
D	123	0.05	1/240	32	18	180/3	2.5	0.60	○
E	72	0.04	1/180	77	99	15	3.3	0.55	○
F	63	0.09	1/34	46	21	15	3.0	0.62	○
G	84	0.08	1/120	153	93	180/3	3.9	0.42	×
H	248	0.48	1/120	131	56	15	0.8	0.54	×
I	236	0.17	1/70	147	53	15	3.9	0.37	×
J	102	0.28	1/120	193	63	180/3	1.7	0.35	×

*CAP=総貯水池容量、MAR=平均年間流入量、MAS=平均年間土砂流入量

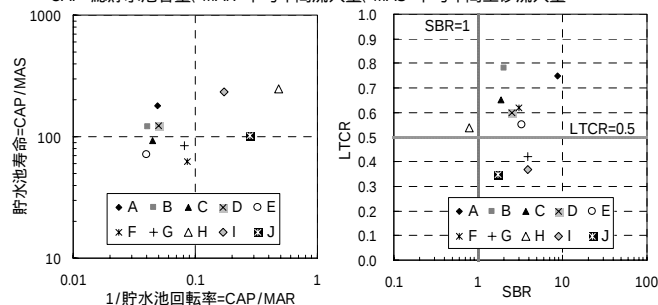


図-4 10 ダムの貯水池回転率と貯水池寿命、SBR と LTCR

5 まとめ

フラッシング排砂可能性の検討として、Atkinson の提案する SBR、LTCR の算出において使用される流砂量式を、既往のダム排砂実績値を用いて改良を加えた。そのモデルを用いて日本の 10 ダムについて判定を行った結果、半数以上のダムで導入可能性が高いことが確認され、有効でない貯水池についてはその原因を容易に把握することができた。なお、排砂が困難と判定されたダムにおいても、今回固定した排砂ゲートの高さを下げると、SBR、LTCR が増大し、排砂効率を高める可能性があり、今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 角 哲也：ダム貯水池のフラッシング排砂における排砂効率，ダム工学，Vol.10，No.3，211-221，2000
- 2) 流域一貫の土砂管理（貯水池土砂管理に向けた挑戦）セッション運営ワーキンググループ：第3回世界水フォーラム 流域一貫の土砂管理（貯水池土砂管理に向けた挑戦）セッション報告書，2003
- 3) White, W. R., Attewill, L., Ackers, J., Wingfields, R.: Guidelines for the flushing of sediment from reservoir, HR Wallingford Report SR566, 2000
- 4) Atkinson, E.: The feasibility of flushing sediment from reservoir, HR Wallingford Report OD137, 1996
- 5) Morris, G and Fan, J.: Reservoir Sedimentation Handbook, McGraw-Hill, 1997