

2023年6月
2023年度河川技術に関するシンポジウム

発電ダムにおける持続可能な 土砂管理手法の選択と運用高度化の課題



【キーワード】

Hydropower Dam、Sediment Management
Improvement of Sluicing Rules、Sustainable



2023年6月
電源開発株式会社 奥村裕史

内 容

1. はじめに

2. 土砂管理手法の選択

(既往方法による手法選択ほか)

3. スルーシングの実施・高度化

(試運用と本運用、ならびに高度化の実績)

4. 土砂管理手法選択と運用高度化に向けて

(課題と対応方法)

5. おわりに

1. はじめに

- 再生可能エネルギーである水力発電の持続性を確保していくうえで、**貯水池土砂管理は大きな課題**である。
- 一部で流水の力を用いるバイパストネル運用やスルーシングによる土砂管理が行われているが、**多くの地点で機械を用いた掘削排除**が行われている。
- 掘削排除は、量・位置の限定、高コスト、発電制約等の課題があり、**持続可能な手法とは言い難い**。
- 今後の発電ダムにおける土砂管理手法選択および運用高度化を目的とし、スルーシングを実装している2ダムの実績の整理・分析を行い、**課題と対応方法**の検討結果を示す。

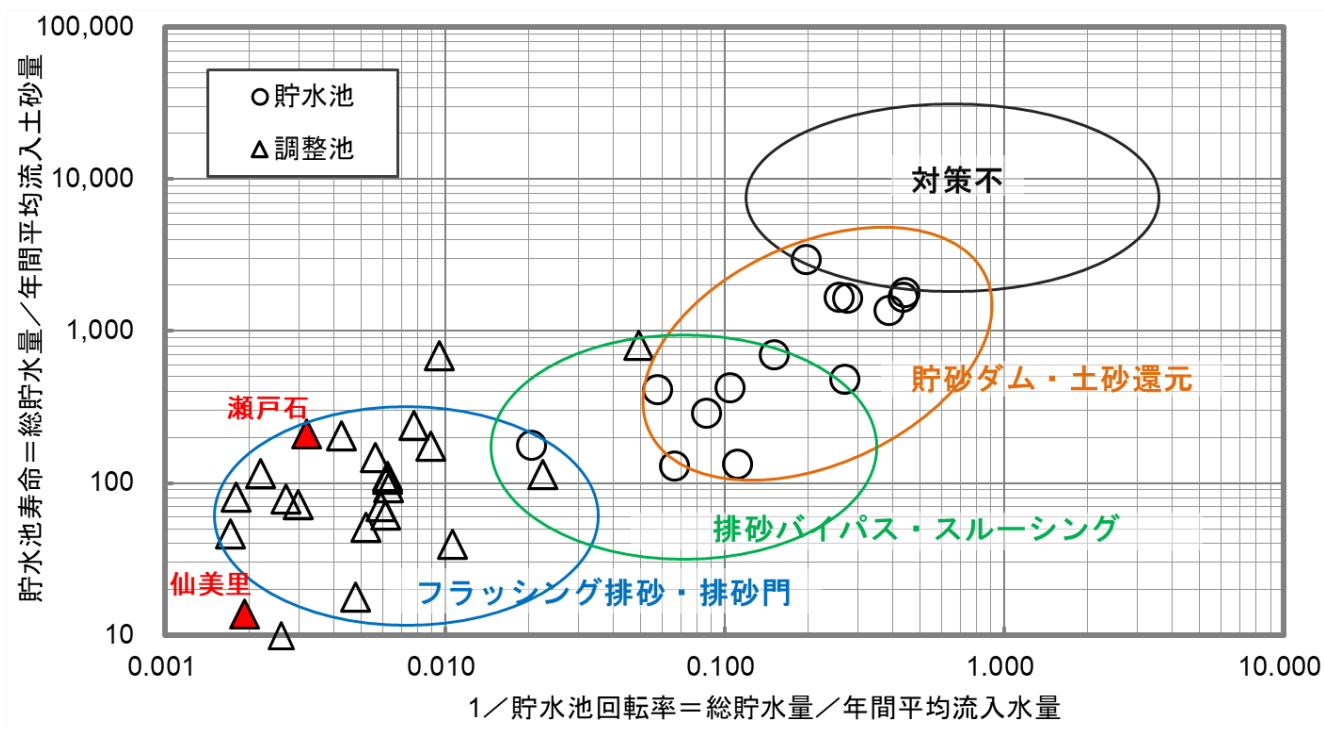


瀬戸石ダム堆砂掘削排除状況(冬期水位低下)

検討対象の2ダム(スルーシングを実装)

項目	瀬戸石ダム	仙美里ダム
水系	球磨川	十勝川
運用開始	1958年	1962年
ダム形式	重力式コンクリート	アースフィル
ダム高・頂長	26.5m・139m	11.7m・363m
当初総貯水量	9,930,000m ³	3,100,000m ³
2021年全堆砂率	6.2%	58.9%
土砂管理手法 (従来／今後)	掘削排除 ／スルーシング	掘削排除 ／スルーシング

2. 土砂管理手法の選択（貯水池回転率と貯水池寿命）



ダム土砂管理手法の適用性（貯水池回転率と貯水池寿命）^{2005角}

- 瀬戸石ダムと仙美里ダムは貯水池回転率の逆数（横軸）が小さく、貯水池寿命（縦軸）が小さいので、貯砂ダム・土砂還元（掘削排除）よりも、フラッシング・スルーシング（流水の力を使う土砂管理）の適用性が高いことが示されている。

2. 土砂管理手法の選択（堆砂分布および出水時水位）

水力発電用ダムにおける土砂管理手法の適用性（※電源開発が所有・管理するダムの平均）2011年奥村・角

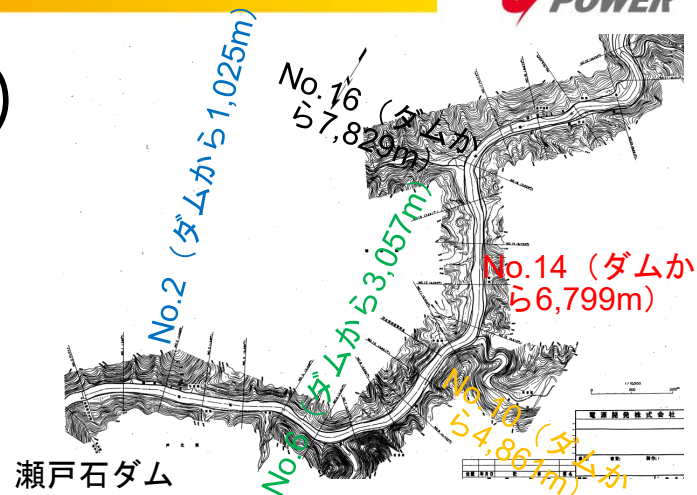
タイプ	堆砂位置および出水時水位の概略図	平均※ダム高	平均※設計洪水量	平均※洪水吐高／ダム高	対象ダム数※（割合%）	著者らが提案する堆砂対策
調整池 川タイプ	<p>出水時調整池は川状態</p> <p>堆砂は全域に生じている</p>	27m	8,000 m ³ /s	54%	5 (26%)	出水時にダム水位低下運用を行い、堆砂および流入土砂を洪水吐ゲートからダム下流へ供給する。（スルーシング排砂）
調整池 中間タイプ	<p>出水時調整池は池状態と川状態</p> <p>堆砂は全域に生じている</p>	42m	4,000 m ³ /s	29%	9 (48%)	出水時にダム水位低下運用を行い、堆砂および流入土砂を洪水水位上昇に影響しない位置へ導く、または洪水吐ゲートからダム下流へ供給する。掘削排除等によりフォローする。
調整池 池タイプ 貯水池	<p>出水時調整池は池状態</p> <p>堆砂は全域に生じていない</p>	58m	2,700 m ³ /s	13%	5 (26%)	出水時にダム水位低下運用を行い、堆砂および流入土砂を洪水水位上昇に影響しない位置へ導く。必要に応じて設備対応（排砂バイパス、貯砂ダム、等）によりフォローする。

- 瀬戸石ダムと仙美里ダムは、堆砂位置および出水時水位から「調整池川タイプ」となり、堆砂対策として、出水時に水位低下運用を行うスルーシングの適用性があると判断される。

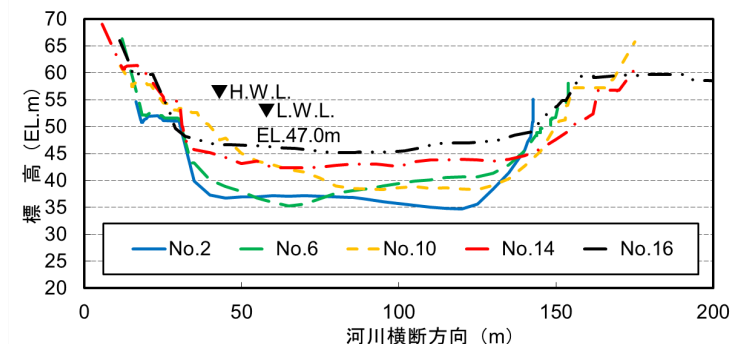
2. 土砂管理手法の選択(まとめ)

瀬戸石ダムおよび仙美里ダムにおける土砂管理手法の選択

項目	瀬戸石ダム	仙美里ダム
貯水池回転率	300回転/年	500回転/年
貯水池寿命	200年	15年
選択1	フラッシング・排砂	フラッシング・排砂
堆砂分布	調整池全域	調整池全域
出水時水位	河川状態	河川・池状態
選択2	スルーシング	スルーシング +補助掘削
地点特性	調整池横断形状が 縦断方向に類似	調整池幅が 河川幅に比して大きい
最終選択	スルーシング	スルーシング+河道整備



瀬戸石ダム
瀬戸石ダム・調整池(平面)



瀬戸石ダム・調整池(断面)



瀬戸石ダム・調整池(断面)

- 「選択1」、「選択2」、「最終選択」とともに**流水の力を使う堆砂対策**の適用性を示した。
- 「選択2」で着目した堆砂分布や出水時水位等は、地点特性が反映された現象であることから、「選択2」と「最終選択」とは概ね等しくなった。

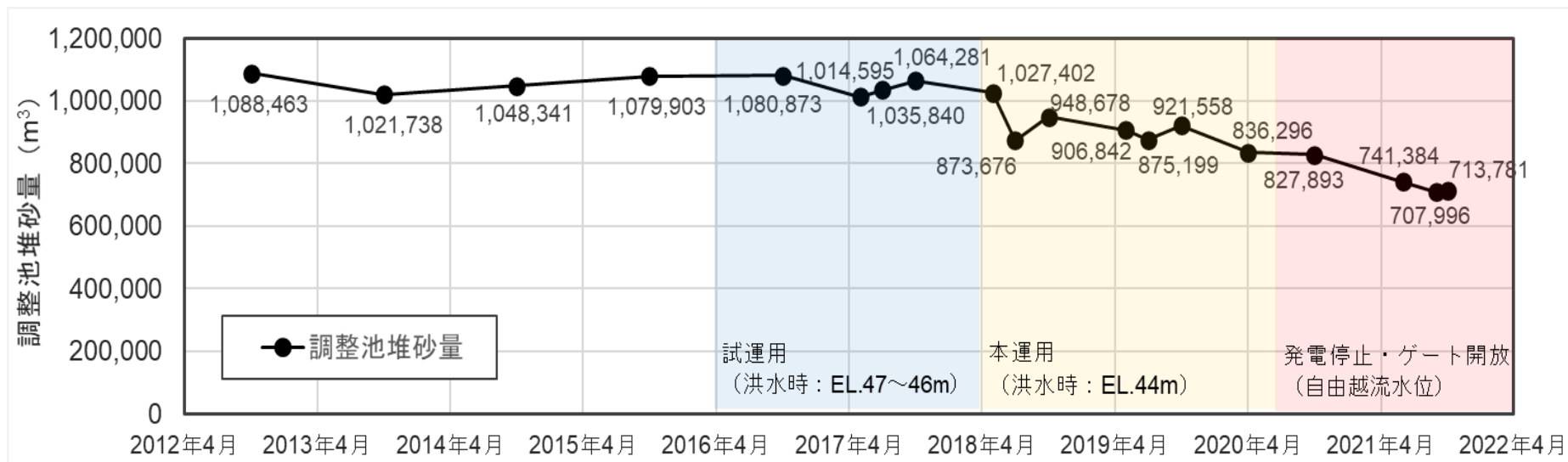
3. スルーシングの実施・運用高度化（瀬戸石ダム）

瀬戸石ダムスルーシング 試運用と本運用の実績

運用・目標水位 (利用水深: EL.47.0m ~EL.50.0m)	実績			備考 (実施基準: ダム流入量 2,000m ³ /s)
	最大流入量 発生日	通砂／排砂水位 (EL.m)	最大ダム流入量 (m ³ /s)	
試運用・EL.47.0m	2016年9月20日	47.0	1,226	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
試運用・EL.46.0m	2017年6月25日	46.3	1,454	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
	7月08日	46.0	906	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
	9月17日	46.0	1,285	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
本運用①・EL.44.0m	2018年6月20日	44.1	3,501	
	7月07日	44.1	4,450	
	2019年7月03日	44.0	2,088	
	14日	44.0	3,200	
	19日	45.0	289	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
	8月06日	44.4	191	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
	14日	44.3	615	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
	2020年6月11日	44.3	814	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
	19日	44.3	870	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
	28日	44.1	1,805	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
	7月03日	44.3	推定10,000	令和2年7月豪雨
発電停止に伴う洪水 吐きゲート常時開放	2021年7月10日	35.6~40.3	1,673	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず
	8月13日	35.0~41.6	2,477	
本運用②・EL.41.9m	2022年7月20日	41.8	1,647	ダム流入量2,000m ³ /sに到達せず

■ H.W.L.=EL.50.0m・L.W.L.=EL.47.0m、洪水吐き越流頂=EL.36.0m、洪水量=2,000 m³/s。

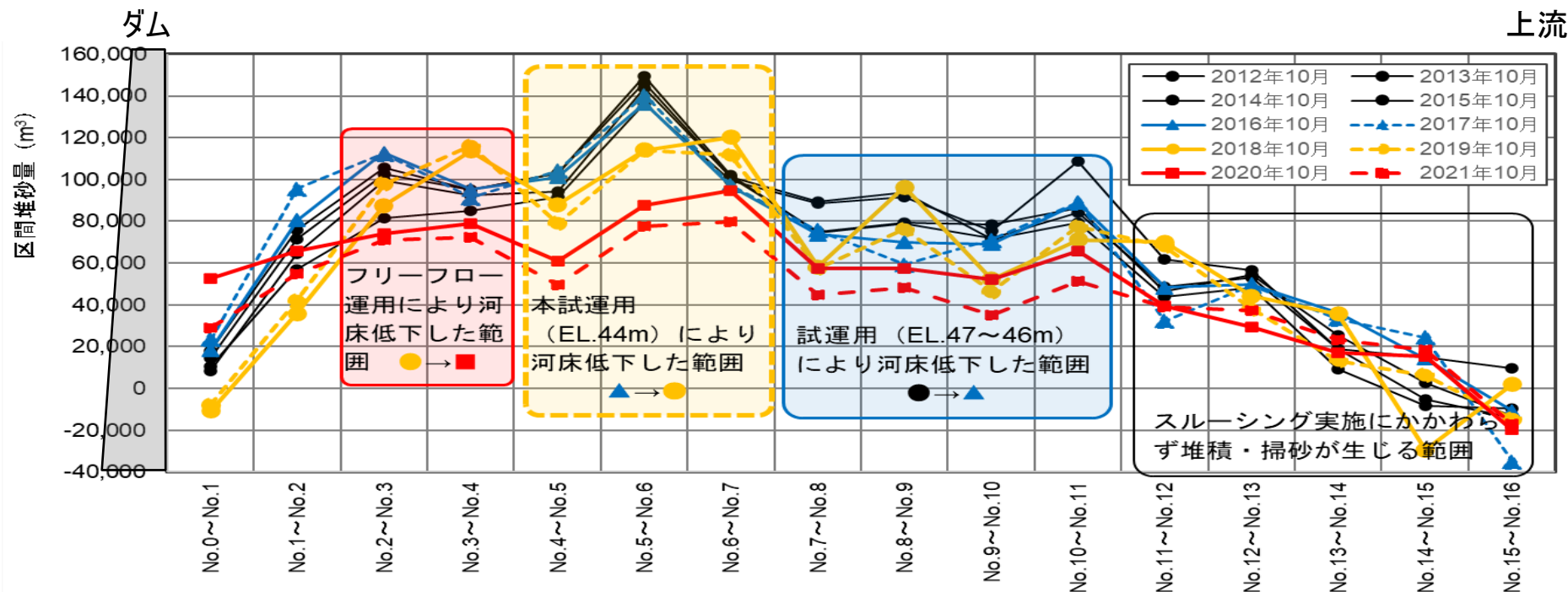
3. スルーシングの実施・運用高度化（瀬戸石ダム）



瀬戸石ダムスルーシング 堆砂量経年変化

- H.W.L.=EL.50.0m・L.W.L.=EL.47.0m、洪水吐き越流頂=EL.36.0m、洪水量=2,000 m³/s。
- 河床変動計算によりスルーシング水位EL.44.0mとすれば堆砂進行抑制が可能であることを確認。
- スルーシング開始にあたっては、調整池からの急激な掃砂を回避するため、試運用を実施。
- 実施基準はダム流入量が洪水量に達する見込みとなった場合で、GSMの84時間予測を用いる。
- スルーシング水位の低下に従い堆砂量が減少していることが分かり、2020年7月の出水後のゲート開放中にはさらに減少していることが分かる。
- 2020年7月の出水後、年間100千m³程度の調整池堆砂量の減少が生じたもののダム下流の河川環境に大きな変化がなかったことから、2022年にスルーシング水位EL.41.9m、2023年からスルーシング水位を自由越流水位(ゲート開放)とすることとした。

3. スルーシングの実施・運用高度化（瀬戸石ダム）



瀬戸石ダムスルーシング 位置別堆砂量経年変化

【スルーシング水位を低くするに従って堆砂量が減少している事象について】

水位低下に従って堆砂量の減少する範囲が調整池上流から調整池下流へ拡大していることが分かる。これは、スルーシング時に河川状態になる範囲の拡大が理由と考えられる。出水が大きな流量とならなくとも、ダム地点で大きく水位低下すれば調整池のより広い範囲が池状態から河川状態となるからである。

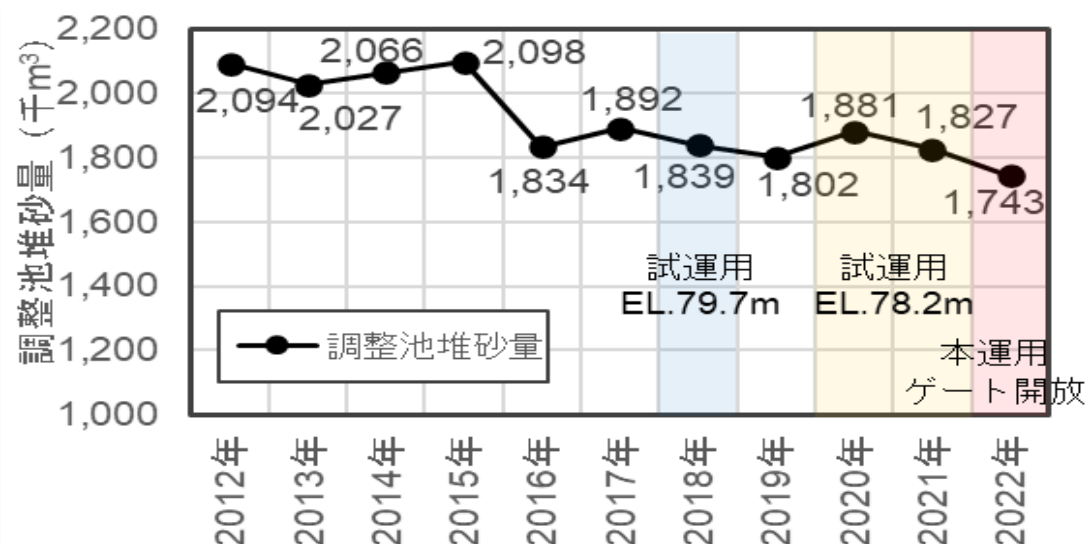
3. スルーシングの実施・運用高度化（仙美里）

仙美里ダムスルーシング 試運用と本運用の実績

運用・目標水位 (利用水深: EL.80.2m~EL.80.9m)	実績			備考 (実施基準:ダム流入量400m ³ /s)
	最大流入量 発生日	通砂／排砂水位 (EL.m)	最大ダム流入量 (m ³ /s)	
試運用・EL.79.7m	2018年 8月17日	79.7	275	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	8月25日	79.7	95	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	10月 1日	79.6	135	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
試運用・EL.78.2m	2020年10月23日	80.0	63	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	2021年 8月11日	78.4	237	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
本運用・ゲート開放	2022年 5月28日	79.1	73	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	7月18日	79.0	161	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	8月02日	79.8	147	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	12日	79.5	91	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	16日	79.0	395	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	19日	79.4	186	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	9月 1日	77.4	136	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
	20日	77.1	122	ダム流入量400m ³ /sに到達せず
24日	79.6	87	ダム流入量400m ³ /sに到達せず	

■ H.W.L. =EL.80.9m、L.W.L. =EL.80.2m、洪水吐き越流頂=EL.75.0m、洪水量=400 m³/s

3. スルーシングの実施・運用高度化（仙美里）



仙美里ダムスルーシング 堆砂量経年変化

- 目的＝流水疎通能力の維持。
- 調整からの急激な土砂排出を回避するため、試運用を実施（EL.79.7m（2018年）、EL.78.2m（2020年～2021年））。2019年は調整池内の補修工事があったため実施を見合わせ。
- 実施基準はダム流入量が洪水量400m³/sに達する見込みとなった場合、MSMの51時間予測を用いる。
- 2018年から2021年までの試運用期間、大きな流量が生じず調整池内堆砂量減少とはならず。
- 本運用を開始した2022年に大きな流量は生じなかったが、洪水量相当の395m³/sが生じたこと、100m³/sを超える規模の出水が複数回生じたことにより、堆砂量は減少。
- スルーシング開始後の調整池堆砂量は横ばい傾向であり、気候特性，降雨予測，発電運用などを踏まえた**実施基準の最適化が必要**。

4. 土砂管理手法選択と運用高度化に向けて(課題と知見)

(1) 手法選択

ダム、貯水池・調整池の流入水、流入・堆積土砂、堆砂状況などの条件から**適用性の高い土砂管理手法を選択することは可能**であると考え。ただし、現地固有の条件を考慮して選択した土砂管理手法の最適性を確認する。

(2) 運用水位設定

スルーシング水位は低位であるほど掃砂効果は大きい、水位低下や回復に時間を要し、発電運用時間が減少する。数値計算である程度予測できるものの、**開始後のモニタリングにより土砂管理として必要なスルーシング水位を決める**のが良い。そのためにはモニタリングが重要である。

(3) 実施基準設定

スルーシング実施頻度は高いほど掃砂効果は大きくなるが、発電時間が減少する。**モニタリングにより土砂管理として必要な実施基準を決める**こと、状況に応じて弾力的とするのが良い。

(4) 予測活用

降雨・流入量予測を基にスルーシングやトンネル運用を実施判断するが、実績では空振りが多い。**予測精度を向上**して、空振りを少なくしていく必要がある。

(5) 気候考慮

西日本に比して東日本は雨期に**大きな出水が生じる頻度が低い**。年1回程度のスルーシングやトンネル運用が実施されるよう、1回目の実施基準流量を小さくする、融雪出水を利用するなどの**工夫が必要**と考える。

(6) ダム下流河川環境

貯水池・調整池から掃砂された土砂は、多くの場合ダム下流河川の物理的、生物的な多様性を高める結果が得られている。試運用により河川環境変化を確認し次段階へ進めるのは良い方法であるが、試運用ステップを少なくし、**土砂を流していく管理を早期に実現**し、結果に基づき改善を行うことが良いと考える。

5. おわりに

貴重な再生可能エネルギーである水力発電ダムの持続的管理の鍵となる流水の力を利用する貯水池土砂管理の実装は重要である。特にスルーシングに着目し、既の実装している2ダムを対象に手法選択や運用高度化の実績を分析して課題と対応方法を得た。今後、得られた知見を活用して、スルーシングの適用拡大、運用高度化を進めていく必要がある。



2023年6月
瀬戸石ダム 水位低下中
(電源開発WEBサイトから)