

連携排砂における宇奈月ダム先行操作を試行から基本運用へ移行したことに関する報告

山田 秀夫¹・青木 惇平¹

¹黒部河川事務所 土砂管理課 (〒938-0042 富山県黒部市天神新173)

黒部川では、出し平ダムおよび宇奈月ダムにおいて連携排砂を実施し、ダム貯水池への土砂堆積軽減と下流河川・海岸への土砂供給を図っている。2020年度から宇奈月ダム先行操作が試行され、堆積土砂量の軽減や浮遊物質（SS）ピーク低減などの効果が確認された。一方で、両ダムの堆積土砂量の軽減効果のバランス確保や、運用時間の短縮と先行操作に期待される効果の両立が課題であった。2024年度には両ダムの自然流下時間を重複・同程度確保する運用に改良し、2025年度から本運用に移行した。本稿ではその経緯と効果を報告する。

キーワード 連携排砂、宇奈月ダム先行操作、堆積土砂量、SSピーク濃度、バランス運用

1. はじめに

黒部川では、出し平ダム（発電ダム、関西電力）と宇奈月ダム（多目的ダム、国土交通省）において、治水・利水機能の維持、下流河道の河床低下の防止、海岸侵食の抑制を目的として、2001年から連携排砂が実施されている。連携排砂は関係行政機関や漁業関係者、農業関係者の理解の下で実施されているが、ダム貯水池の堆積土砂量のさらなる軽減や、浮遊物質（SS）濃度の低減に対する要請が継続しており、排砂方法の改良が求められてきた¹⁾。

この課題に対し、数値計算および実証実験により連携排砂方法の検討が行われ、宇奈月ダムの貯水位を通常の約半分まで低下させた後に出し平ダムの水位低下を開始する「宇奈月ダム先行操作」が有効であることが示された¹⁾。当該実証実験を含め、2020年度から2023年度にかけて、連携排砂・通砂時に宇奈月ダム先行操作が試行され、その効果検証が実施されてきた。なお、2022年度は連携排砂の実施基準流入量には到達したものの、流入量が早期に低減したことにより、両ダムが自然流下状態となる前に排砂が中止となった。効果検証の結果、当初期待された効果を発揮することが確認された。一方で、両ダムの堆積土砂量の軽減効果のバランス確保や、運用時間の短縮と先行操作に期待される効果の両立が課題であった。2024年度には、流況に応じた柔軟な判断により、両ダムの自然流下時間を重複・同程度確保する運用への変更が行われ、この運用がバランスに優れていると評価されたことから、2025年度から本運用に移行した。本稿

では、2020年度から2023年度に実施された効果検証結果および2024年度における運用改良の経緯を整理し、2025年度に本運用へ移行した結果について報告する。

2. 宇奈月ダム先行操作の概要

(1) 連携排砂における従来操作と先行操作の考え方

連携排砂における従来操作と先行操作のダム貯水位運用を図-1に示す。連携排砂では、出し平ダム貯水池内の堆砂形状をできるだけ維持するよう、前年からの堆積土砂を下流へ排出している¹⁾。その際、出し平ダム・宇奈月ダムの貯水池内の土砂を流水による掃流力で下流に流下させるため、両ダムの水位を通常の河川の状態（自然流下）まで下げる。従来操作では、宇奈月ダムの洪水調節後に出し平ダムが先行して水位低下を開始し、その後宇奈月ダムが水位低下を行っていた。そのため、出し平ダムが先行して自然流下状態を形成していた。一方、

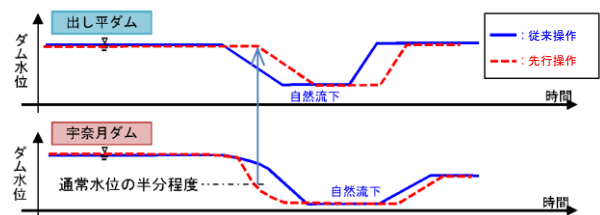


図-1 従来操作・先行操作のダム貯水位運用

2020年度から導入された先行操作では、宇奈月ダムが出し平ダムより先に水位低下を開始し、宇奈月ダム貯水位が通常の約半分（EL.235 m程度）まで低下した後に、出し平ダムの水位低下を開始した。これにより、宇奈月ダムにおいて出し平ダムより早期に自然流下状態を形成した。

(2) 先行操作に期待された効果

先行操作により期待される主な効果として、宇奈月ダムが先行して自然流下状態となることによる同ダム貯水池内の堆積土砂量の軽減、排砂時SSピーク濃度の低減・分散が挙げられた。また、下流河道および海岸への土砂供給について、従来操作と概ね同程度の量を供給できることが期待された²⁾。

3. 2020年度から2023年度の効果検証

(1) 2020年度の効果検証結果

2020年度から2023年度にかけて実施された宇奈月ダム先行操作の効果検証結果を表-1に示す。2020年度の連携排砂・通砂における先行操作の実証実験および実績流況を用いた数値計算により、先行操作の効果検証が行われた²⁾。なお、数値計算手法については既往研究¹⁾に示されている。宇奈月ダムの自然流下時間は、連携排砂で9時間45分（従来操作推定値5時間）、連携通砂で9時間40分（同4時間）となり、従来操作と比較して長く確保された。

2019年8月から2020年8月までの1年間における宇奈月ダム堆積土砂量は、従来操作推定値31万m³に対し、先行操作では1万m³であった。また、連携排砂時の宇奈月ダ

ム直下SSピーク濃度は、従来操作推定値49,893mg/Lに対し、先行操作で37,000mg/Lであった。さらに、排砂・通砂を通じた宇奈月ダム下流への土砂の通過量は、従来操作推定値92万m³に対し、先行操作推定値114万m³であった。通過土砂量のうち粗い粒径（70～500mm）については、従来操作推定値6,000m³に対し先行操作推定値1.9万m³となった。

(2) 2021年度の効果検証結果

2021年度の連携排砂においても、先行操作の実証実験および実績流況を用いた数値計算により、先行操作の効果検証が行われた³⁾。宇奈月ダムの自然流下時間は従来操作推定値6時間、先行操作10時間10分であり、先行操作で長く確保された。一方、出し平ダムの自然流下時間は従来操作推定値12時間、先行操作8時間10分であり、先行操作で短くなった。

2020年8月から2021年7月までの1年間における宇奈月ダムの堆積土砂量は、従来操作で推定7万m³、先行操作で0万m³であった。また、宇奈月ダム直下のSSピーク濃度は、従来操作推定値17,697mg/L、先行操作15,000mg/Lであった。さらに、排砂・通砂を通じた宇奈月ダム下流への土砂の通過量は、従来操作推定値21万m³に対し、先行操作推定値26万m³であった。通過土砂量のうち粗い粒径（70～500mm）については、従来操作推定値1,000m³に対し先行操作推定値2,000m³となった。

(3) 2023年度の効果検証結果

2023年度の連携排砂・通砂においても、先行操作の実証実験および実績流況を用いた数値計算により、先行操作の効果検証が行われた⁴⁾。なお、同年度の連携排砂では自然流下中に洪水が発生したが、流入量が立ち上がる

表-1 先行操作の効果検証結果一覧表

	単位	2020年度		2021年度		2022年度	2023年度		備考
		従来操作	先行操作	従来操作	先行操作		従来操作	先行操作	
自然流下時間 (出し平ダム)	—	(排砂) 12h (通砂) 8h	(排砂) 7h45min (通砂) 8h	12h	8h10min	連携 排砂 中 止	(排砂) 6h (通砂) 3h	(排砂) 5h36min (通砂) 3h	
自然流下時間 (宇奈月ダム)	—	(排砂) 5h (通砂) 4h	(排砂) 9h45min (通砂) 9h40min	6h	10h10min		(排砂) 2h (通砂) 2h	(排砂) 8h20min (通砂) 3h50min	
運用時間	—	(排砂) 25h (通砂) 24h	(排砂) 25h35min (通砂) 26h	25h	25h		(排砂) 18h (通砂) 17h	(排砂) 22h20min (通砂) 21h10min	いずれかのダムが水位低下開始 ～両ダム自然流下完了
堆積土砂量 (出し平ダム)	×10 ⁴ m ³	0	5	-4	-4		(排砂) -36 (通砂) -7	(排砂) -36 (通砂) -6.9	2020年度：2019.8～2020.8 2021年度：2020.8～2021.7
堆積土砂量 (宇奈月ダム)	×10 ⁴ m ³	31	1	7	0		(排砂) 3.9 (通砂) -1.9	(排砂) -14 (通砂) -8.6	2023年度連携排砂：2023.5～自然流下終了時点 2023年度連携通砂：2023.7排砂後測量 ～2023.7通砂後測量
SSピーク濃度 (宇奈月ダム直下)	mg/l	(排砂) 49,893 (通砂) 12,843	(排砂) 37,000 (通砂) 12,000	17,697	15,000		(排砂) 38,619 (通砂) 20,481	(排砂) 27,983 (通砂) 22,074	
宇奈月ダムから下流への土砂通過量 (全粒径)	×10 ⁴ m ³	92	114	21	26		(排砂) 24 (通砂) 35	(排砂) 41 (通砂) 41	2020年度：2020.6～2020.8 2021年度：2021.6～2021.7
宇奈月ダムから下流への土砂通過量 (粗い粒径) (70～500mm)	×10 ⁴ m ³	0.6	1.9	0.1	0.2		(排砂) 0.1 (通砂) 0.2	(排砂) 0.2 (通砂) 0.2	2023年度連携排砂：2023.5～自然流下終了時点 2023年度連携通砂：2023.7排砂後測量 ～2023.7通砂後測量

直前の流量を一定時間継続した流量を与え、洪水外力の影響を分離した条件で計算が行われた。

宇奈月ダムの自然流下時間は、連携排砂で8時間20分（従来操作推定値2時間）、連携通砂で3時間50分（同2時間）となり、従来操作と比較して長く確保された。

堆積土砂量や通過土砂量は、連携排砂・通砂ごとに算出・評価された。連携排砂時（2023年5月から自然流下終了時点）における宇奈月ダムの堆積土砂量は従来操作で推定3.9万 m^3 増加、先行操作で推定14万 m^3 減少であった。連携通砂時（2023年7月排砂後測量から2023年7月通砂後測量）における宇奈月ダムの堆積土砂量は従来操作で推定1.9万 m^3 減少、先行操作で8.6万 m^3 減少であった。また、連携排砂時の宇奈月ダム直下SSピーク濃度は、従来操作推定値38,619 mg/L に対し、先行操作推定値27,983 mg/L であった。排砂・通砂を通じた宇奈月ダム下流への土砂の通過量は、従来操作と先行操作で同程度であった。

(4) 先行操作の効果と課題

これらの結果から、先行操作に期待された堆積土砂量の軽減、SSピーク濃度の低減、下流河道への従来操作同様の土砂供給といった効果が確認された。さらに、粗い粒径の推定土砂供給量が従来操作と比較して多いことから、河床低下の防止や礫河床の再生に寄与する効果も期待された。

一方、先行操作では出し平ダムの自然流下時間が従来操作より短くなり、出し平ダムの堆積土砂量が増加することが確認された。2020年度の検証では、2019年8月から2020年8月までの1年間における出し平ダムの堆積土砂

量は従来操作推定値0万 m^3 であったのに対し、先行操作では5万 m^3 であった。先行操作では宇奈月ダムの堆積土砂量の軽減効果が確認されたが、出し平ダムの軽減効果とのバランスの確保が課題となった。

また、先行操作では従来操作と比較して運用時間が長くなることも確認された。2023年度の検証では、両ダムのうちいずれかが水位低下を開始してから、両ダムとも自然流下を終了するまでの運用時間は連携排砂時で先行操作推定値22時間20分（従来操作推定値18時間）、連携通砂時では先行操作推定値21時間10分（従来操作推定値17時間）であり、連携排砂時・通砂時のいずれも先行操作の運用時間が長くなった。図-2に示すように、近年、ピークを通過してから中止基準流量を下回るまでの時間が短くなる傾向にあることが確認されている⁹⁾。2022年度の連携排砂では、流入量の低減が早く、両ダムが自然流下状態となる前に排砂中止基準流量を下回り、排砂が中止となった。このような状況の中で、長時間の運用では排砂中止のリスクが高まることから、運用時間の短縮と先行操作に期待される効果の両立が課題となった。

4. 2024年度の運用検証と本運用への移行

(1) 2024年度の連携排砂の状況

2024年度の連携排砂では、出水規模が大きく、宇奈月ダムの洪水調節終了までに長時間を要することが予想された⁹⁾。また、流入量はピーク確認後に低減傾向であった。近年、ピークを通過してから中止基準流量を下回る

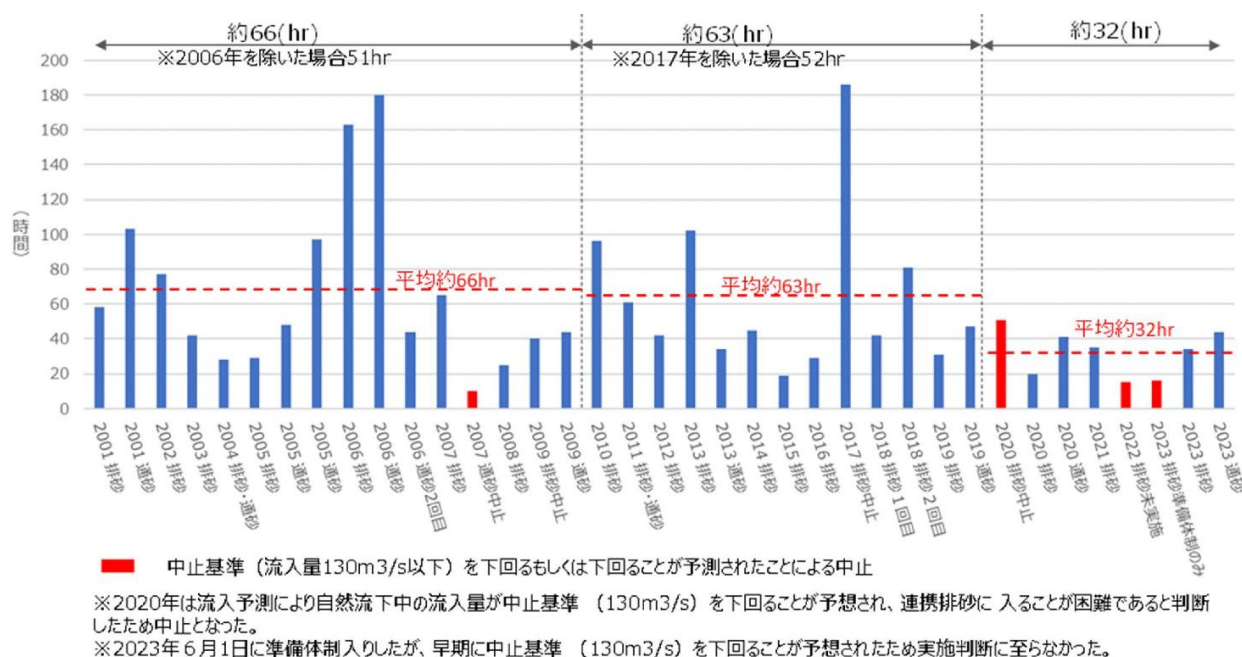


図-2 近年のピーク流入量から排砂中止基準流入量を下回るまでの時間（出し平ダム）

までの時間が短くなる傾向にあることも踏まえると、宇奈月ダム先行操作を適用した場合には、出し平ダムは宇奈月ダムの洪水調節終了まで水位低下を待機する必要がある、自然流下時間を十分に確保できず、排砂中止となる可能性があった。排砂中止となった場合、翌年の排砂までの間、土砂を貯水池内にため込むこととなり、堆積土砂の変質や翌年の排砂量の増加が懸念される。このため、確実に排砂を実施すべく、従来操作と同様に出し平ダムの水位低下を先行する運用の実施が判断された。

この運用（以下、実績操作と呼ぶ）では、確実な排砂のためにコンパクトな運用を基本としながら、先行操作に期待される効果との両立および両ダムの堆積土砂量をバランスよく軽減することが目指された。先行操作の効果検証結果から、堆積土砂量軽減効果の発現には自然流下時間を十分に確保することが重要であると考えられた。このため、実績操作では両ダムの自然流下開始タイミングおよび自然流下時間を可能な限り一致させる運用が実施された。2024年度の連携排砂実施時の雨量・ダム水位・流量を図-3に示す。

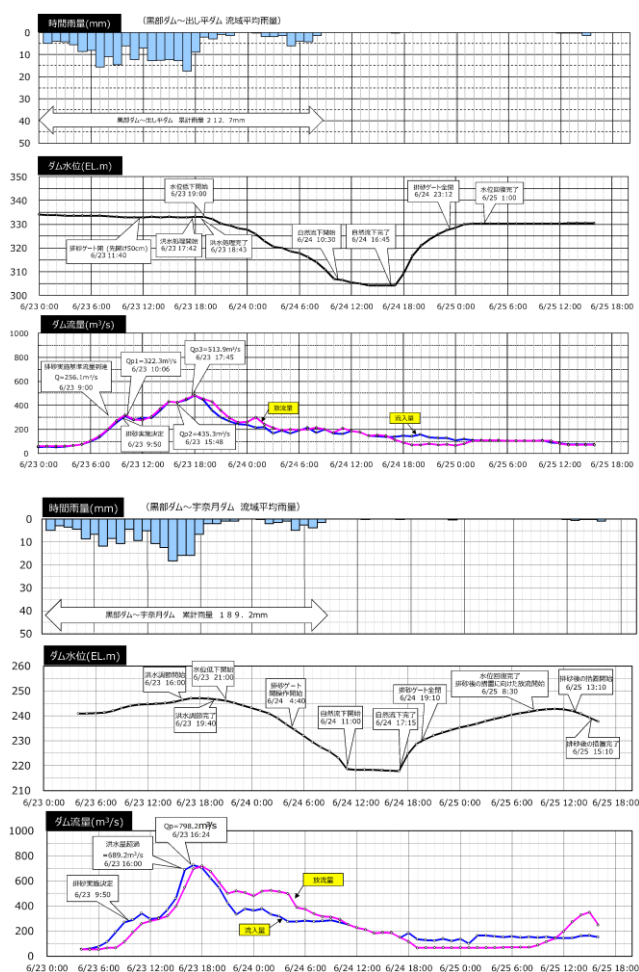


図-3 2024年度連携排砂 雨量・ダム水位・流量

(出典：国土交通省・関西電力：第61回黒部川ダム排砂評価委員会 資料-1-①)

(2) 実績操作の妥当性検証結果

3.(1)～(3)と同様の方法で、実績操作、従来操作および2020年から2023年に試行された先行操作の3パターンの操作について数値計算が実施され、実績操作の妥当性が検証された⁹⁾。3操作の貯水位運用の比較を図-4に示す。なお、評価対象期間は自然流下終了時点までとされた。

a) ダム運用時間

各操作のダム運用時間を図-5に示す。実績操作の運用時間は22時間15分、従来操作推定値は18時間、先行操作推定値は25時間であり、実績操作は先行操作に対し運用時間を短縮した。宇奈月ダムの自然流下時間は、実績操作では6時間15分であり、出し平ダムの自然流下時間（5時間45分）と概ね等しかった。また、従来操作推定値は1時間、先行操作推定値は14時間であった。

b) 両ダム貯水池の堆積土砂量

2024年5月から自然流下終了時点における宇奈月ダムの堆積土砂量は、実績操作で9.8万m³減少、従来操作で推定0.5万m³減少、先行操作で推定22万m³減少であった。出し平ダムの堆積土砂量は、実績操作で10万m³減少、従来操作で推定11万m³減少、先行操作で推定8.4万m³減少であった。実績操作では宇奈月ダムの堆積土砂量は従来操作・先行操作の中間的な値となり、出し平ダムの堆積土砂量の軽減効果と同程度となった。

c) 宇奈月ダム直下SSピーク濃度

各操作のSSピーク濃度を図-6に示す。宇奈月ダム直下のSSピーク濃度は、実績操作29,833mg/L、従来操作39,294mg/L、先行操作22,999mg/Lであり、実績操作は従

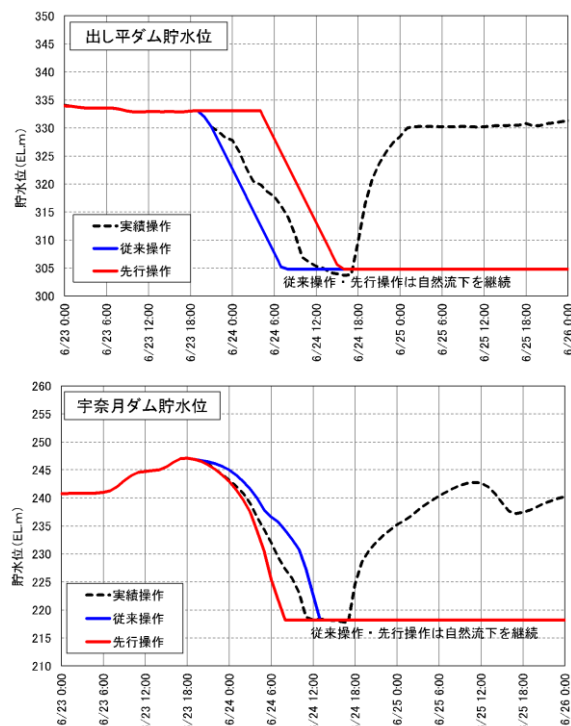


図-4 実績操作・従来操作・先行操作のダム貯水位運用

来操作と先行操作の中間的な値を示した。

これらの結果から、実績操作では、先行操作に対し運用時間を短縮しながら、先行操作に期待される効果である宇奈月ダムの堆積土砂量の軽減およびSSピーク濃度の低減を一定程度発揮できることが確認された。また、両ダムの堆積土砂量をバランスよく軽減できることも確認された。両ダムの運用時間、堆積土砂量の軽減効果、SSピークの観点から総合的に比較した結果、実績操作

が最もバランスの良い運用（バランス運用）であると評価された。

(3) 本運用への移行方針

2024年度の検証により、先行操作で規定していた水位低下操作の順序や自然流下状態を形成する順序にかかわらず、両ダムの自然流下時間を重複させ、同程度確保することで、先行操作に期待される効果を一定程度発揮できることが明らかとなった。さらに、同運用が従来操作・先行操作と比較して総合的に最もバランスの良い運用（バランス運用）であると評価された。

この結果を踏まえ、今後は、先行操作を基本としつつ、ピーク流入量から中止基準流量を下回るまでの時間が短くなる近年の流況特性等を考慮し、流況に応じて柔軟に判断するものとしたうえで、両ダムの自然流下開始タイミングを可能な限り合わせ、重複時間を確保することを基本とする運用を本運用とし、さらなる改良を図るものとされた。

(4) 2025年度の連携排砂における本運用の検証結果

2025年度の連携排砂においても、2024年度の検証により有効性が確認された本運用の方針に基づき、両ダムの自然流下時間を重複させ、同程度確保する運用が実施された。(2)と同様の数値計算により、本運用の再現性が検証された。2024年度・2025年度の検証結果を表-2に示す。

a) ダム運用時間

実績操作の運用時間は35時間、従来操作推定値は28時間、先行操作推定値は38時間であった。宇奈月ダムの自然流下時間は、実績操作では13時間であり、出し平ダムの自然流下時間（12時間）と概ね等しかった。また、従

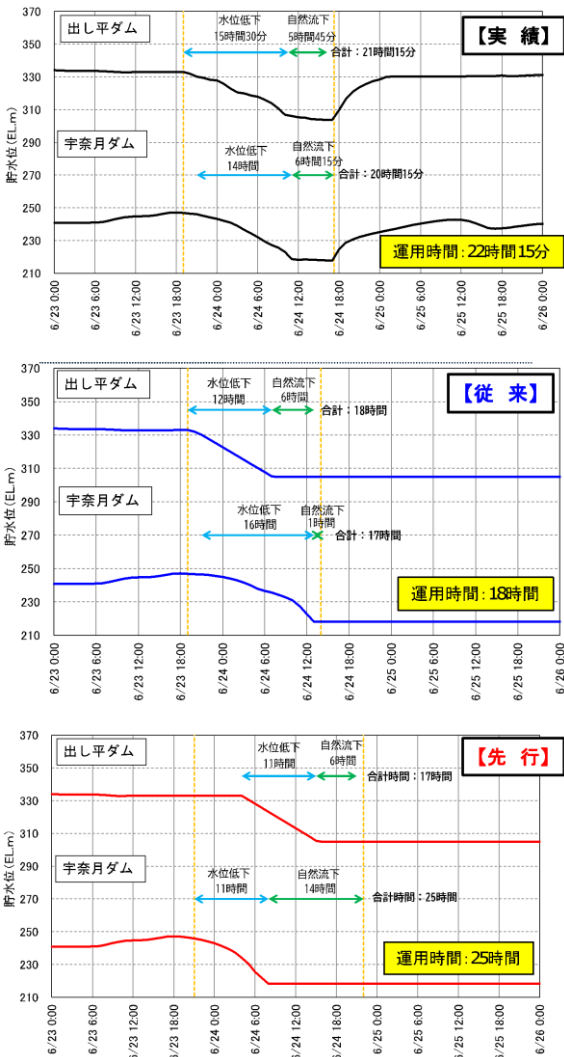


図-5 2024年度連携排砂 ダム運用時間の比較

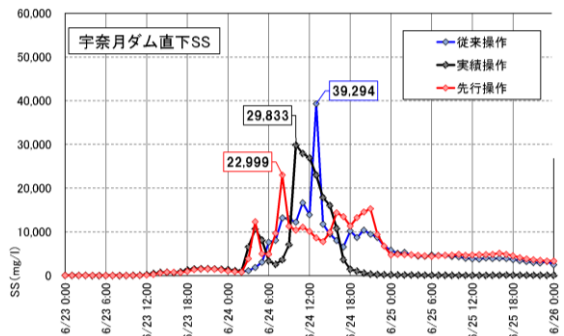


図-6 2024年度連携排砂 SSピーク濃度の比較

表-2 2024年度・2025年度連携排砂
3操作比較結果一覧表

	単位	2024年度			2025年度		
		実績操作	従来操作	先行操作	実績操作	従来操作	先行操作
自然流下時間 (出し平ダム)	—	5h45min	6h	6h	12h	12h	12h
自然流下時間 (宇奈月ダム)	—	6h15min	1h	14h	13h	2h	18h
運用時間	—	22h15min	18h	25h	35h	28h	38h
堆積土砂量 (出し平ダム)	$\times 10^4 \text{ m}^3$	-10	-11	-8.4	-37	-30	-21
堆積土砂量 (宇奈月ダム)	$\times 10^4 \text{ m}^3$	-9.8	-0.5	-22	-25	-11	-31
SSピーク濃度 (宇奈月ダム直下)	mg/l	29,833	39,294	22,999	42,077	47,876	36,251
宇奈月ダムから下流への土砂通過量 (全粒径)	$\times 10^4 \text{ m}^3$	31	23	42	73	56	73
宇奈月ダムから下流への土砂通過量 (粗い粒径) (70～500mm)	$\times 10^4 \text{ m}^3$	0.2	0	0.7	0.5	0	0.7

来操作推定値は2時間、先行操作推定値は18時間であった。

b) 両ダム貯水池の堆積土砂量

2025年5月から自然流下終了時点における宇奈月ダムの堆積土砂量は、実績操作で25万 m^3 減少、従来操作で推定11万 m^3 減少、先行操作で推定31万 m^3 減少であった。出し平ダムの堆積土砂量は、実績操作で37万 m^3 減少、従来操作で推定30万 m^3 減少、先行操作で推定21万 m^3 減少であった。

c) 宇奈月ダム直下SSピーク濃度

宇奈月ダム直下のSSピーク濃度は、実績操作42,077 mg/L 、従来操作47,876 mg/L 、先行操作36,251 mg/L であった。

これらの結果から、2025年度の実績操作においても、本運用の利点である運用時間の短縮と先行操作に期待される効果の両立が確認された。また、両ダムの堆積土砂量をバランスよく軽減できることも確認された。2024年度の実績操作同様に、総合的に最もバランスの良い運用（バランス運用）であると評価され、本運用の再現性が確認された。

5. 結論

本稿の結論を以下に示す。

- 1) 2020年度から2023年度にかけての検証により、先行操作は宇奈月ダムの自然流下時間を長く確保し、堆積土砂量の軽減およびSSピーク濃度の低減、下流河道への従来操作同様の土砂供給、粗い粒径（70～500 mm ）の土砂供給に有効であることが確認された。一方で、両ダムの堆積土砂量の軽減効果のバランス確保や、運用時間の短縮と先行操作に期待される効果の両立が課題であった。
- 2) 2024年度の連携排砂では、流況に応じた柔軟な判断により、従来操作と同じ水位低下順序を採用しつつ、両

ダムの自然流下タイミングと自然流下時間を合わせる運用により、先行操作に期待される効果が一定程度発揮されたほか、同運用が総合的に最もバランスの良い運用（バランス運用）であると評価された。この結果、水位低下の操作順序にかかわらず、両ダムの自然流下時間を重複させることが重要であることが示された。

3) 以上の知見を踏まえ、先行操作を基本としながら流況に応じて柔軟に判断し、両ダムの自然流下時間を重複させ、同程度確保する運用を本運用とした。2025年度の検証でも、本運用により、運用時間、堆積土砂量軽減、SSピーク低減のバランスに優れた運用が可能であることが確認された。

以上のことを踏まえ、今後の連携排砂においても、本運用を基本としながら、より自然に近い排砂の実現を目指し、連携排砂方法の改良を図っていく予定である。

謝辞：本稿執筆にあたり先行操作の試行について検証いただいた（株）ニュージェックの皆様から貴重なご意見を承りました。この場を借りて心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 竹下哲也・井田聡・野口和義・角哲也：黒部川における宇奈月ダム先行操作による連携排砂の改良方策に関する検討、土木学会論文集 B1（水工学），Vol.78, No.2, 2022.
- 2) 国土交通省・関西電力：第53回黒部川ダム排砂評価委員会資料-I-⑤ 2020年度連携排砂 宇奈月ダム先行操作の効果検証, 2021.
- 3) 国土交通省・関西電力：第55回黒部川ダム排砂評価委員会資料-I-⑤ 2021年度連携排砂 宇奈月ダム先行操作の効果検証, 2022.
- 4) 国土交通省・関西電力：第59回黒部川ダム排砂評価委員会資料-I-⑤ 2023年度宇奈月ダム先行操作の効果検証について, 2024.
- 5) 国土交通省・関西電力：第61回黒部川ダム排砂評価委員会資料-I-④ 2024年度連携排砂運用の検証について, 2025.