

Q.89-R.6 黒部川のフラッシング排砂効果と環境対策

角 哲 也*¹
 中 村 伸 也*²
 林 久 一*³

1. はじめに

日本を代表する急流河川である黒部川流域の最下流に位置する国土交通省宇奈月ダム（2001年完成、堤高97.0 m、総貯水容量2,470万 m^3 ）と関西電力（株）出し平ダム（1985年完成、堤高76.7m、総貯水容量901万 m^3 ）は、貯水池容量に対して流れ込む土砂量が極めて多いことから、我が国初の本格的な排砂設備（排砂ゲート）を有するダムとして建設された。出し平ダムは1991年より単独での排砂を実施しており、宇奈月ダム完成後の2001年より、両ダムで連携排砂および通砂が実施されている。本論文では、これまでに実施された排砂実績に対する分析、河川の土砂収支や物理環境などに対する影響、排砂操作を高度化させるための技術的取り組み、下流河川環境との調和を図るための環境対策について報告する。

2. 連携排砂・通砂操作の分析

黒部川の排砂実績について、代表的な年である2006年の状況を図-1に示す。まとまった降雨に伴って出し平ダムの流入量が基準流量300 m^3/s に達し、7月1日12時ごろから宇奈月ダムとともに水位低下が開始されている。貯水容量の小さな出し平ダムが7月1日21時ごろに、その後やや遅れて宇奈月ダムが7月2日3時ごろにそれぞれ水位低下が完了し、排砂ゲートを用いて土砂を排出する「自然流下」に移行している。自然流下の継続時間はそれぞれ約12時間であり、その後、排砂ゲートを閉じて水位を回復し排砂操作を終了している。ダム下流で記録された浮遊土砂濃度（SS）は各ダムの水位低下操作に連動して上昇しており、概ね水位低下が完了して自然流下に移行する直前にピークとなっている、下黒部橋は

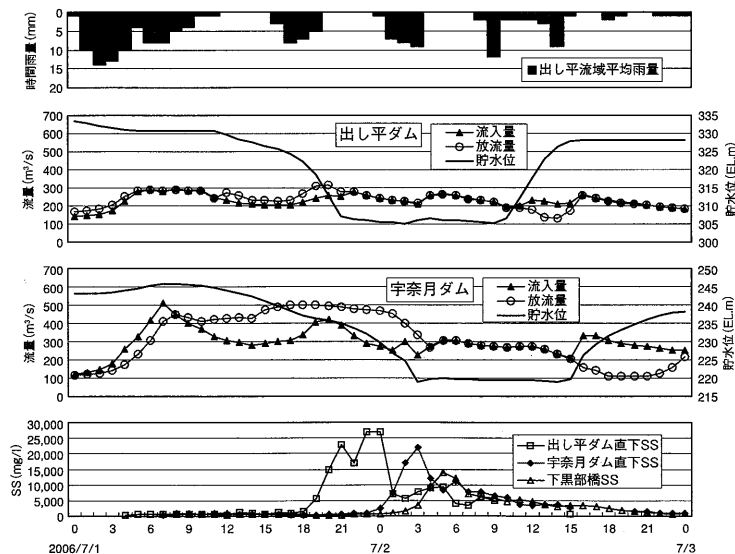


図-1 2006年7月1日～3日の黒部川連携排砂経過

*¹ 博士（工学）、京都大学防災研究所水資源環境研究センター 教授

*² 国土交通省 国土交通技官 大臣官房付（前 国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所 所長）

*³ (株)環境総合テクノス 富山支店 副支店長（前 関西電力株式会社 北陸支社土木グループチーフマネージャー）

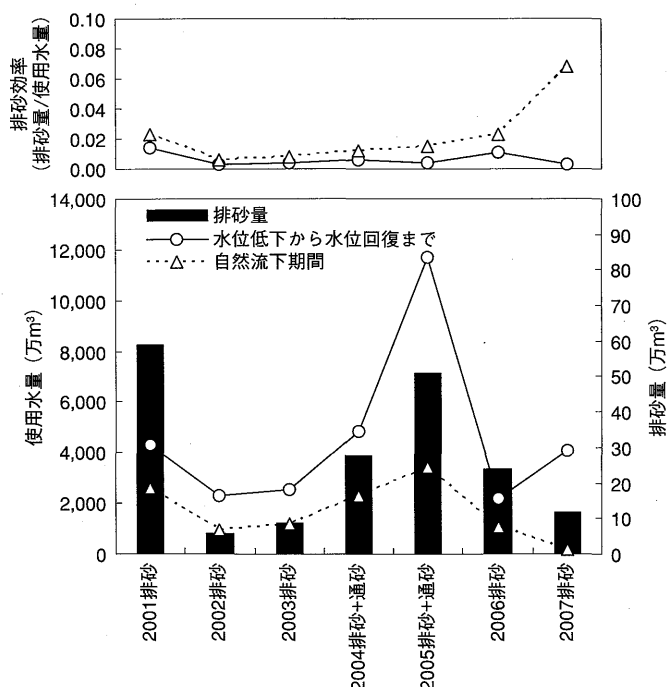
黒部川河口に近い下流部に位置し、宇奈月ダムから約3時間遅れて土砂濃度のピークが到達している。

次に、2001年以降の出し平ダムの排砂・通砂実績を表一に示す。実際に排砂を行った洪水イベントは、最大

流入量で、排砂で500m³/s、通砂で700m³/s程度の洪水が主に対象となっている。ここで、排砂量は前年の排砂期間終了後から排砂期間直前の5月末までにダム湖に堆積した土砂量を測量により求めたものであり、排砂期間

表一 出し平ダムの2001～2007年の排砂・通砂実績

	洪水時の最大流入量 (m ³ /s)	洪水時の平均流入量 (m ³ /s)	排砂量 (10 ³ m ³)	最大SS (mg/l)	平均SS (mg/l)
2001排砂	333	277	590	90,000	15,000
2001通砂	491	273		29,000	6,700
2002排砂	362	215	60	22,000	4,500
2003排砂	777	217	90	69,000	7,100
2004排砂	356	229	280	42,000	10,000
2004通砂	1,152	281		16,000	7,300
2005排砂	958	290	510	47,000	17,000
2005通砂 1	835	275		90,000	16,000
2005通砂 2	790	250		40,000	7,300
2006排砂	308	246	240	27,000	6,500
2006通砂 1	378	203		12,000	2,500
2006通砂 2	685	264		27,000	5,200
2006通砂 3	529	196		7,400	1,800
2007排砂	418	245	120	25,000	3,500
全データの平均	598	247	270	38,800	7,900
排砂の平均	502	246	270	46,000	9,100
通砂の平均	694	249		31,600	6,700



図一 出し平ダムの2001～2007年の排砂・通砂時の排砂量・使用水量・排砂効率

外の秋や春の洪水発生状況によりその量が変動している。これに対して、浮遊土砂濃度 (SS) は、排砂量が多い年ほど高く、また、その年の第1回目の水位低下である排砂時の方が通砂時よりも高くなっており、いずれも妥当な結果となっている。

排砂量と排砂中の使用水量の関係を図-2に示す。使用水量には、①水位低下開始～水位回復完了までと、②自然流下開始～自然流下完了の自然流下期間のみ、の2期間で算出した総放流量を用いている。黒部川では、排砂時間(自然流下時間)を目標排砂量に応じてあらかじめ設定しており、概ね排砂量が多いほど排砂中の総放流量も多くなる関係が認められる。図-1に示した2006年の排砂操作について、上記の①と②の方法で求めた使用水量と排砂量から排砂効率を求めるとそれぞれ0.023と0.011になる。

3. 排砂効果の評価

黒部川におけるフラッシング排砂による効果は、下流河川、河口部および沿岸域の各区間で評価を行うことが必要である。また、出し平ダムおよび宇奈月ダムの完成年が異なることから、a)出し平ダム完成(1985年)以前、b)出し平ダム排砂開始(1990年)以前、c)宇奈月ダム完成(2000年)以前、d)連携排砂開始以降の段階ごとに検討を行う必要がある。さらに、評価すべき事項としては、1)物理環境(河床構成材料、河床高(平均および最深)、河道内土砂移動量、汀線の変化など)、2)水環境(水質、底質など)、3)生物環境(付着藻類、底生動物、魚類、鳥類など)の各観点があげられ、黒部川ダム排砂評価委員会でも検討が進められており、ここでは主に物理環境について紹介する。

図-3に出し平ダム、宇奈月ダムを含む黒部川水系の

ダム群の堆砂量の経年変化を示す。出し平ダム上流に位置し、排砂ゲートを有する仙人谷ダム、小屋平ダムはほぼ堆砂平衡状態になっているが、黒部ダムは堆砂が進行している。一方、出し平ダムは、当初堆砂が進行したものの、1995年の大洪水を契機に本格的な排砂が開始され、現在は総貯水容量900万 m^3 の約45%の堆砂量でほぼ平衡状態に達している。

次に、宇奈月ダムは出し平ダムと連携して排砂操作を行っているものの、ダム完成後間もないために、出し平ダムからの排砂および残流支川の黒薙川からの流入土砂のうち、主に細粒土砂のみが排出され、粗粒土砂はほとんど堆積している状況である。一方、2006年以降は宇奈月ダムの堆砂進行がやや抑えられてきており、ダム堤体直上流部まで粗粒土砂の一部が到達し、細粒土砂に加えてこれら粗粒土砂も排砂ゲートを通じて下流に通過し始めていることが考えられる。

黒部川では、排砂量の予測および下流河道に対する影響評価を行うために貯水池の堆砂・排砂を考慮した1次元河床変動モデルが構築されている。図-4は、排砂中のSS濃度の観測値や貯水池堆砂量変化などの実測データを加味して補正を行った2006年7月の粒径別土砂収支を示している。

これによれば、出し平ダムは、新規流入量約42万 m^3 を加えた約91万 m^3 (②)の土砂を排砂し、宇奈月ダムは支川黒薙川からの約47万 m^3 を加えた約138万 m^3 (②+③)の流入土砂に対して、粒径2mm以下の細粒土砂を中心に約73%の101万 m^3 (④)の土砂を通過させている。粒径2mm以上の粗粒土砂の通過量は約2万 m^3 であり、現在は90%以上が宇奈月ダムに捕捉されている計算である。

宇奈月ダムから下流の河道においては、宇奈月ダムからの排砂量とほぼ同様な通過土砂量があるものと推定さ

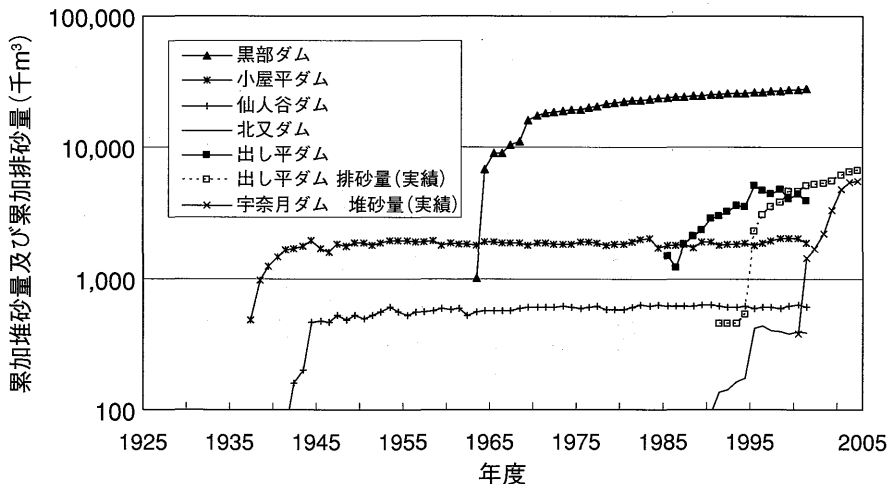


図-3 黒部川水系のダム群の堆砂量変化

れる。このうち、0.2mm以下のウォッシュロード成分はそのまま河口から海域に流出するのに対して、0.2～2mmの土砂の一部が河床にトラップされる一方、河床材料である2mm以上の土砂が下流に掃流されているものと考えられる。今後は、宇奈月ダムからの粗粒土砂の流出が増加し、さらに下流へ供給されるようになるものと考えら

れる。

黒部川下流域は、河口から6km区間が網状砂州、6～13km区間は単列砂州が形成されている。図-5に出し平ダム完成前の1980年を基準とした各区間の平均河床高の経年変化を示している。下流河道区間全体に河床低下が進行しているが、出し平ダムの排砂開始後に最下流区間

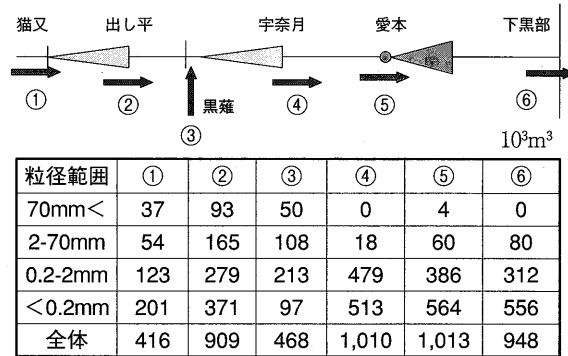


図-4 黒部川下流部における粒径別土砂収支 (2006年7月)

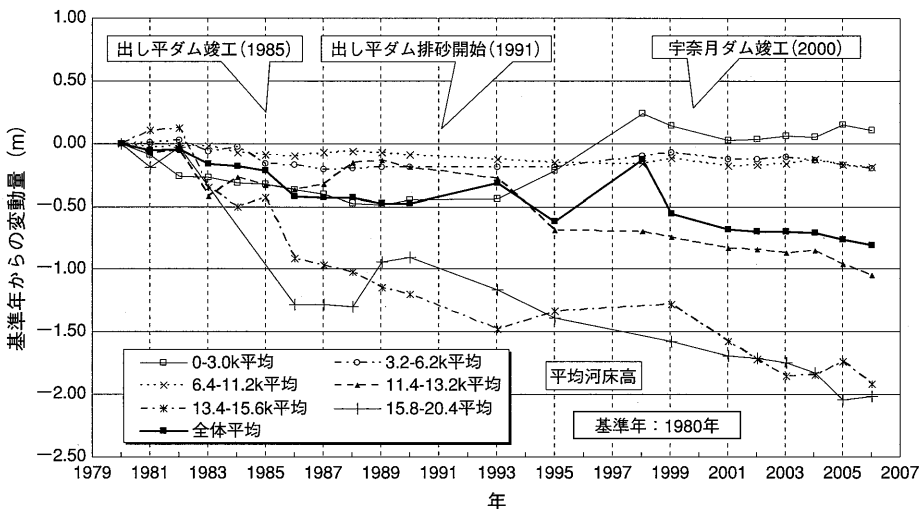


図-5 1980年(出し平ダム完成前)を基準とした各区間の平均河床高の経年変化

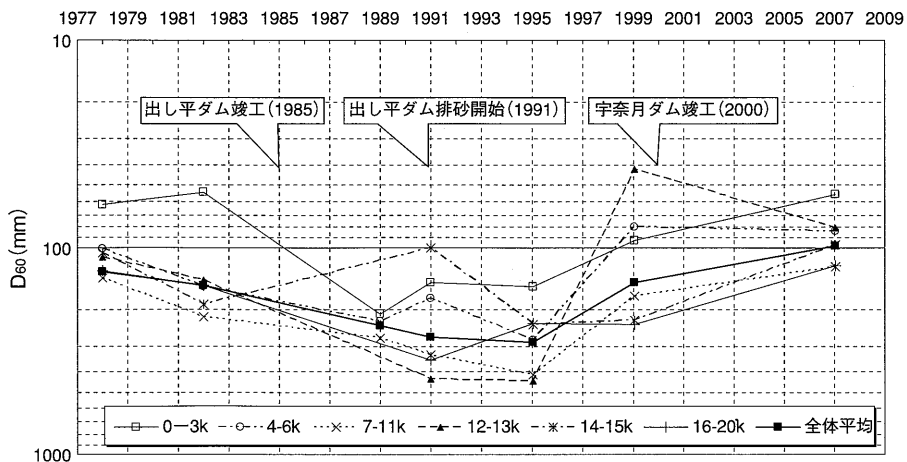


図-6 1980年(出し平ダム完成前)を基準とした各区間の代表粒径の経年変化

を中心に河床上昇に転じたことがわかる。その後、宇奈月ダムの完成による一時的な河床低下が認められるが、連携排砂の開始により最下流部を中心に再び河床上昇の傾向が出てきている。これを河床構成材料(代表粒径 D_{60} (mm))で見ると、図-6に示すように出し平ダムの完成後は粗粒化傾向にあったものが、出し平ダム排砂開始以降は全区間において細粒化に転じており、宇奈月ダムの完成によっても影響を受けず継続している。これは主に、連携排砂による砂成分の供給による効果と考えられる。

なお、黒部川では、排砂に伴って生じる河川環境影響の緩和技術の開発にも取り組んでいる。その代表的なものが「すすぎ放流」と「魚類退避場所(やすらぎ水路)」の設置である。「すすぎ放流」は、排砂直後に下流河道に局所的に堆積している細粒土砂を濁りの少ない水を用いて洗い流すもので、2007年は、自然流下終了～水位回復後に約 $300\text{m}^3/\text{s}$ (最大流量 $416\text{m}^3/\text{s}$)、3時間の放流が実施された。この結果、泥分が主体に堆積している面積割合が排砂直後よりも減少し、また表層の粒度分布も大きくなるなど、すすぎ放流に伴う洗浄効果が確認された。

一方、「やすらぎ水路」は排砂に伴う一時的な河川内の土砂濃度の増加に対する魚類の退避用施設として、旧来の霞堤などを利用して河道と並行するように作られた小水路である。ここには、排砂中も扇状地内の農業用水の排水や湧水が供給されて、本川よりも低濃度が維持される仕組みである。現在、下流河道に左右岸合計で9カ所が設置されており、2003～2007年に実施された調査では、やすらぎ水路内に排砂中に退避していたアユをはじめとする計6目11科21種644尾の魚類が採捕された。特に採捕尾数が多かった水路では、本川の平均SS濃度 $2,600\text{mg}/\ell$ (SSピーク値 $37,000\text{mg}/\ell$)に対して $63\text{mg}/\ell$ と低濃度が維持されたことと、本川の水温 11.2°C に対して 14.5°C と比較的暖かい水温であったことなどがその理由と考えられており、今後の参考になるデータとなっている。

4. おわりに

黒部川の連携排砂・通砂においてこれまでに得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- 黒部川では、排砂に適する季節(6～8月)を考慮した上で、一定規模以上の自然出水(排砂： $250\sim 300\text{m}^3/\text{s}$ 以上、通砂： $480\text{m}^3/\text{s}$ 以上)が生じた場合を排砂実施条件と設定し、大きな環境影響をもたらすことなくいずれも年1回程度有効に実施されている。
- 排砂量と自然流下中の使用水量から求められる出し平ダムの排砂効率は $0.01\sim 0.03$ 程度であり、排砂実施前の低水位運用による土砂の引き込み操作は排砂効率を高めるために有効である。
- 排砂時に発生する出し平ダムの放流SSは、全14回の平均で、SSピーク $40,000\text{mg}/\ell$ 、SS平均値 $8,000\text{mg}/\ell$ である。SSピークは貯水位低下速度と、SS平均値は排砂量と排砂中の平均流量と相関が高く、SSの管理上、貯水位低下速度の制御は重要である。
- 現在、出し平ダムはほぼ堆砂平衡状態にあり、年間約 100万m^3 の土砂通過を実現している。宇奈月ダムは堆砂進行状態にあり、粒径 2mm 以上の多くはダムで捕捉されているものの、粒径 2mm 以下の細粒土砂を中心に 70% 程度の土砂を通過させている。
- 下流河道では、洪水前後の砂州移動やみお筋変化も活発に行われており、排砂によりダムからの土砂供給が維持されていることが貢献しているものと考えられる。特に、排砂操作による主に砂成分の供給を受けて一部区間は河床低下から上昇に変化するとともに、全区間において、ダム建設後の河床構成材料の粗粒化傾向が緩和されてきている。
- 排砂操作は、貯水池の堆積土砂の表層部分を置換して有機物及び富栄養化指標を減少させ、常に新鮮な土砂のみが堆積する環境に維持する効果がある。
- 排砂後の河道砂州上への細粒土砂の堆積および長期残留を防止するための「すすぎ放流(排砂後の措置)」は、シルトなどの細粒土砂が多く排出される「排砂」操作後には効果が顕著であり、影響軽減措置として有効である。
- 本川の濁度が上昇する排砂時には、アユをはじめとする多くの魚種が魚類の退避用施設「やすらぎ水路」に退避していることが確認され、影響軽減措置として有効であり、良好な水量と水質を維持するための水源確保が重要である。