

# 黒部川宇奈月ダムの排砂に伴う貯水池内の流路形成に関する研究

## A study on channel formation due to sediment flushing in Unazuki dam reservoir at Kurobe river

14D3101022C 鈴木 航平 (河川工学研究室)  
Kohei SUZUKI / River Engineering Lab.

**Key Words :** Unazuki dam reservoir, sediment flushing, flood flow and bed variation analysis

### 1. 序論

黒部川は土砂生産量の多い日本有数の急流河川である。このため上流域に位置する宇奈月ダム・出し平ダムでは、ダム機能の維持、海岸浸食の進行抑制等を目的に、連携排砂・通砂が実施されている。連携排砂とは、図-1に示すように宇奈月ダム(国土交通省)と約7km上流の出し平ダム(株.関西電力)が連携して排砂・通砂を行うもので、上流の出し平ダムに堆積した土砂や洪水によって流入してきた土砂を、出し平ダムの排砂ゲート、宇奈月ダムの排砂ゲートを通じて、宇奈月ダム下流河道へと排砂する。連携排砂時の宇奈月ダムは、洪水減衰期に水位低下操作を行うことによって貯水池内を河道のような自然流下状態にし、流れによる掃流力を利用することで、上流からの流入土砂や、貯水池内に溜まった土砂を下流に排出している。それにより、宇奈月ダム下流河川の河床低下防止や、海岸の砂浜の回復を図るものである。

図-2は、宇奈月ダム貯水池内の経年的な平均河床高縦断面図を示す。宇奈月ダム完成後(平成16年5月測量)の平均河床高はH26年に比べ低くなっている。これは、排砂ゲート敷高がH26年の河床高よりも高い位置にあるため、土砂堆積による河床上昇が生じたものである。また、平成17年の大きな河床上昇を境に河床上昇量は小さくなり、安定した河床勾配に近づいている。河床勾配が安定した近年では、洪水制限水位時の貯水池上流端である23.2km付近の河床勾配は上流に比べ緩くなっており、土砂堆積による肩が生じている。連携排砂・通砂時の宇奈月ダム・出し平ダムそれぞれのダム操作に伴う宇奈月ダム貯水池内の洪水流による土砂移動や排砂機構を明らかにすることが重要であるが、未だ未解明である。

岩谷ら<sup>2)</sup>は、宇奈月ダムを対象に連携排砂時の排砂量の評価を目的とした非定常準二次元河床変動解析を行い、連携排砂時の排砂量の見積もりを行った。しかし、自然流下前に形成される滞筋の土砂移動が解析に考慮されていなかったため、通過土砂量が過少に評価されることになった。

本研究では、まず連携排砂前後に200mの縦断間隔で測られた横断測量データを用いて、連携排砂中の宇奈月ダム貯水池内の流路や河床の変動、形成機構を考察

する。そして、それに基づいて平面二次元洪水流-河床変動解析を行うことで、自然流下時の宇奈月ダム貯水

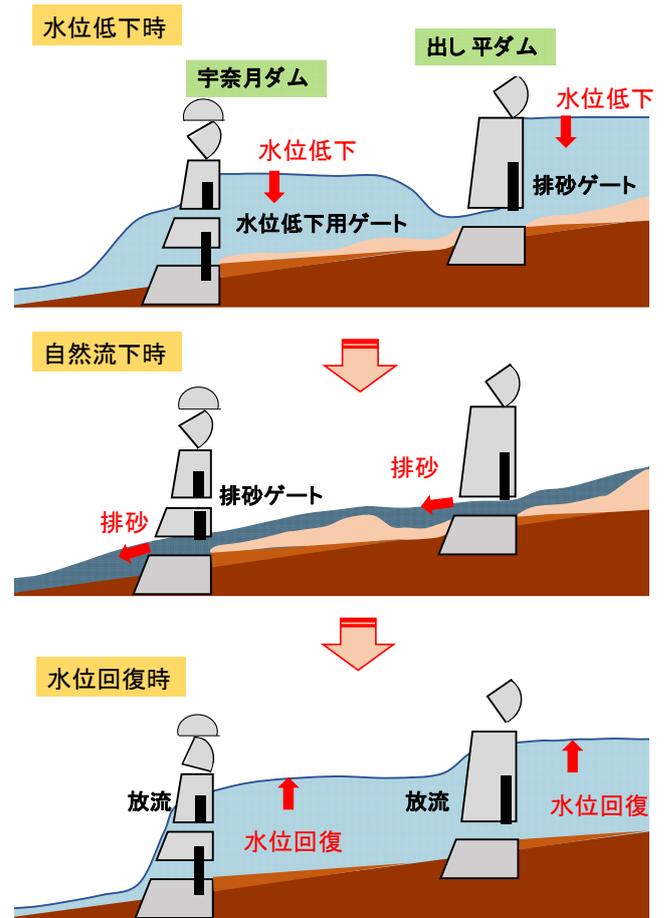


図-1 連携排砂の概要

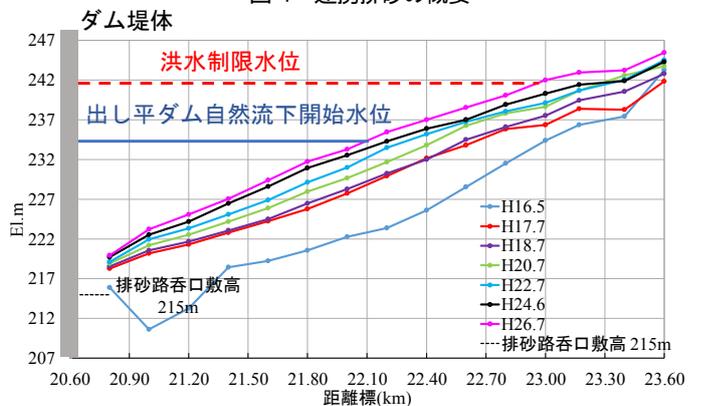


図-2 経年的な宇奈月ダム貯水池内の平均河床高縦断面図

池内の流況，土砂移動特性を把握する。

## 2. 連携排砂時の宇奈月ダム貯水池内の土砂動態

図-3は，平成26年7月に実施された宇奈月ダムと出し平ダムの連携排砂時の宇奈月ダム貯水池内の貯水池水位ハイドログラフと両ダムのゲート操作の時間帯を示す。宇奈月ダムにおけるゲート操作は，水位低下時間が17時間50分，自然流下時間は4時間32分行われた。図-4に，連携排砂前後の宇奈月ダム貯水池内における河床高のコンター図を示す。河床高コンター図は，図-4(a)(b)ともに連携排砂前の平均河床高を差し引いて作成している。図-4(b)の滞筋と副流路の位置は22.2km地点左岸の尾の沼地点で撮影されたCCTV映像から判断し作成した。これより，ダム堤体付近(20.7km)から21.8km付近や，ダム上流端(22.8km)付近は連携排砂前後で滞筋位置にほとんど変化が見られない。一方，川幅の広い区間(22.0km-22.6km)では，連携排砂前後で，滞筋位置が大きく変化している事が確認できる。この要因について以下に考察する。

図-2に示すように，宇奈月ダムと出し平ダムでは排砂ゲートを開ける時間帯が異なる。そのため，出し平ダムの自然流下開始時には，宇奈月ダム貯水池内の水位は高い状態(約235m付近)にあり，宇奈月ダム貯水池上流端が22.2km付近に達していた(図-3)。このため，宇奈月ダム貯水池が水位を下げ，自然流下になるまでの時間帯では，自然流下状態の出し平ダムからの大量の流入土砂が，宇奈月ダム貯水池の川幅の広い区間(21.8km-22.6km)に堆積し，図-4に示すような滞筋位置の変化が生じたものと考えられる。一方，宇奈月ダムの自然流下時には，出し平ダムからの大量の土砂流入によって形成された大きな砂州が水表面上に表れ，川幅の広い区間(22.0km-22.6km)で滞筋位置が固定されていることがCCTV映像から確認できる。

## 3. 解析条件および解析法

2章で示した通り，連携排砂前後では，宇奈月ダム貯水池内の川幅が広い区間では滞筋が大きく変化しているが，自然流下時は滞筋位置が固定される。そのため以下では自然流下時を対象とし，滞筋位置が固定された宇奈月ダム貯水池内において洪水流河床変動モデルを構築し，自然流下時のダム貯水池内の流況や，土砂移動を把握する。

解析区間は，図-5に示す宇奈月ダム上流河道(24.8km)から宇奈月ダム堤体直上流(20.6km)とし，図-2に示す宇奈月ダムの自然流下状態から自然流下完了までを解析時間とした。図-6は，解析の境界条件に用いた下流端水位ハイドログラフと上流端流量ハイドログラフを示す。上流端流量は支川である黒羅川の流量と出し平ダムの放流量の和を用い，下流端境界条件は宇奈月ダム堤体付近で測られた貯水位を用いた。また，排砂ゲートに

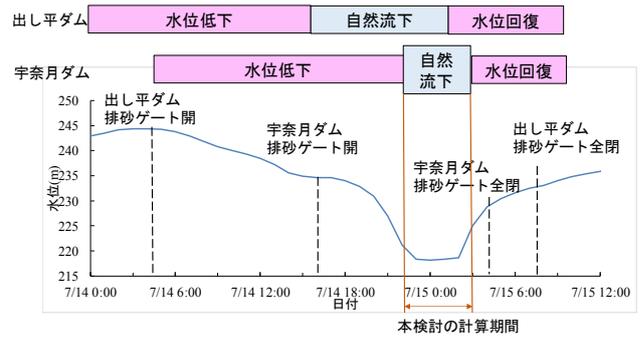
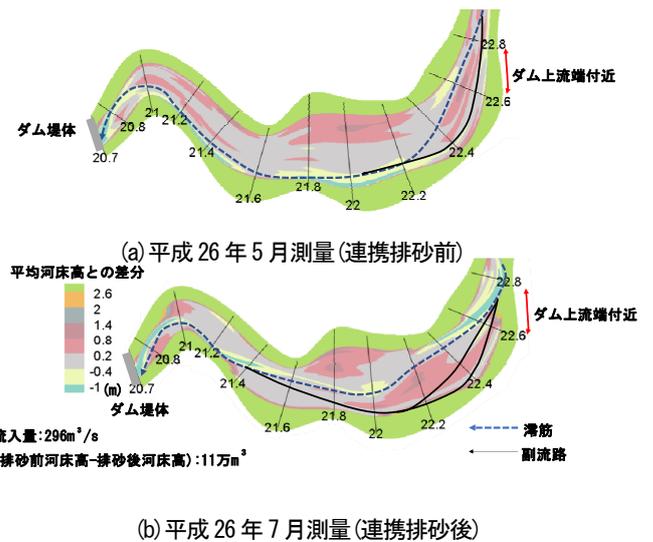


図-3 宇奈月ダム貯水池水位ハイドログラフとゲート操作の時間帯



(b) 平成 26 年 7 月測量 (連携排砂後)

図-4 河床高コンター図



図-5 解析に用いた河道断面条件と境界条件

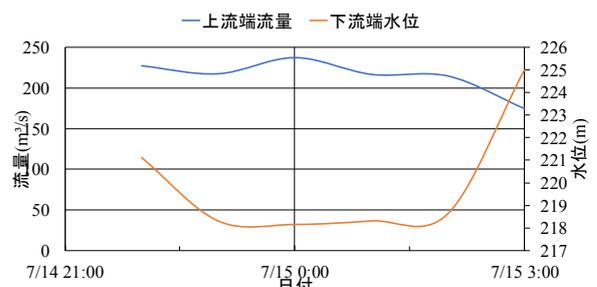


図-6 下流端水位ハイドログラフ  
上流端流量ハイドログラフ

引き込まれる流れを考慮するため、下流端の排砂ゲート以外の流量フラックスは0にし、排砂ゲートが位置しているメッシュに直接水位を与えた。また、土砂の境界条件は解析上流端で平衡給砂条件としている。解析法は非定常平面二次元洪水流・河床変動解析を適用した。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial U_j h}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i h}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j h}{\partial x_j} = -gh \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \frac{\tau_{bi}}{\rho} \quad (2)$$

$$(1-\lambda) \frac{\partial z_B}{\partial t} = \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \quad (3)$$

ここに、 $i, j=1, 2$ 、 $t$ : 時間、 $U, V$ :  $x, y$ 方向の水深平均流速、 $g$ : 重力加速度、 $h$ : 水深、 $\rho$ : 水の密度、 $z_s$ : 基準面からの水位、 $\tau_{bi}$ : 底面せん断応力、 $\tau_{ij}$ : 水深平均されたレイノルズ応力、 $z_b$ : 基準面からの河床高、 $\lambda$ : 空隙率、 $q_{Bx}, q_{By}$ :  $x, y$ 方向の単位幅流砂量である。以下に解析に用いた初期条件について示す。

自然流下開始前の宇奈月ダム貯水池水位は高い位置にあるため、連携排砂前からの20.6km-21.8km区間の河床高に変化はなく、連携排砂前の横断測量データを用いた。出し平ダムから流入した土砂が堆積し、大きな滞筋変化が生じた川幅の広い区間(21.8km-22.6km)付近では、CCTV映像から確認した自然流下時の滞筋、副流路(図-4(b))の位置を表現できるように初期河床を作成した。宇奈月ダム上流河道(22.6km-24.8km)は、自然流下開始から自然流下終了までの時間帯は、洪水減衰期であることから、連携排砂後の河床形状に近いと考え、連携排砂後の横断測量データを用いた。

粒度分布は、宇奈月ダム直下流河道で測量された図-7に示す河床材料調査結果を縦断的に与えた。粗度係数は図-7の平均粒径から推定した $n=0.025$ を縦断的に一様に与え、宇奈月ダム排砂ゲートの導流堤部は、ステンレス材で構成されていることから $n=0.01$ を与えている。

#### 4. 解析結果とその考察

図-8は、本解析によって得られた自然流下時の最深河床高と水位の縦断図を、図-9は流速コンター図をそれぞれ示す。宇奈月ダムの水位低下開始時は図-8の青の破線の高さにある一方で、自然流下時はダム貯水池内が通常の河道状態の水面形である。CCTV映像(写真-2)と流速コンター(図-9)を比較すると、自然流下時にCCTV映像で確認した22.4kmの流路幅と解析での流路幅はそれぞれ98m, 107mと同程度となっており、本解析モデルは自然流下時の尾の沼地点付近の流況を概ね再現できていることを確認した。流速コンターから、ダム堤体付近では、流路幅が狭くなる影響で、約4m/sもの流速が出ている。また、川幅の広い区間でも滞筋部分では、約3m/sの

高い流速が出ていることが分かった。

図-10は、粒径別の通過土砂量縦断分布を示す。通過

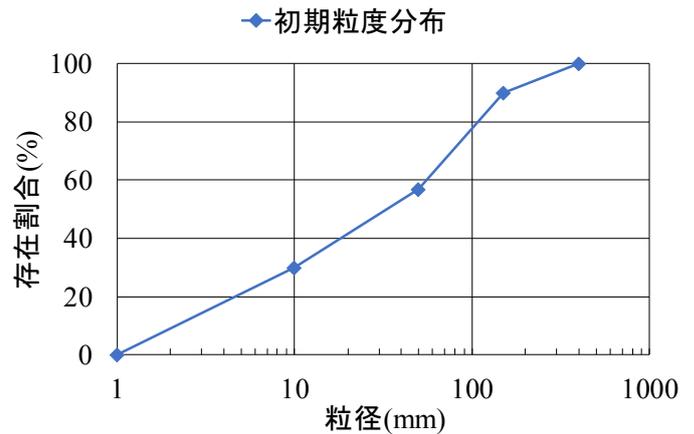


図-7 解析に用いた粒度分布

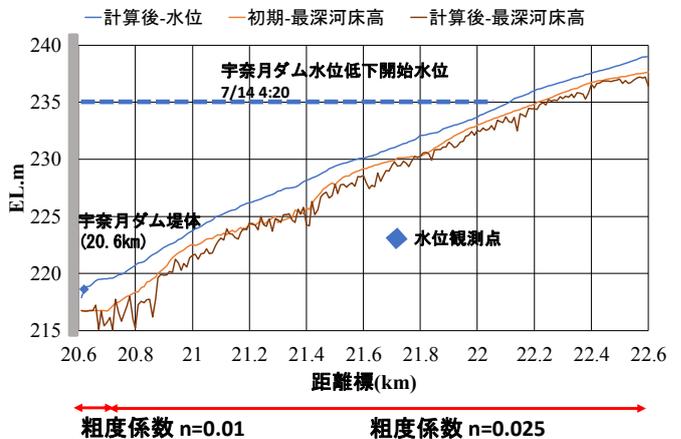


図-8 最深河床高、水位縦断図

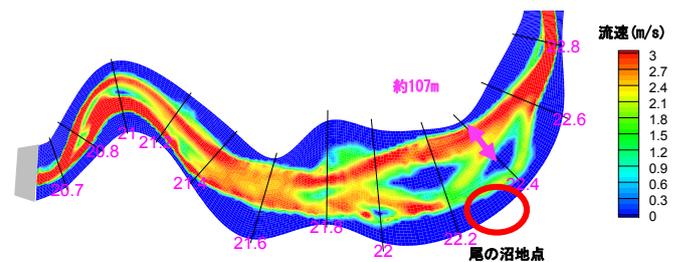


図-9 流速コンター図



写真-1 22.4km地点で撮影されたCCTV映像

土砂量は、断面を通過した単位時間当たりの流砂量に刻み時間 $\Delta t$ を掛け、その値を計算時間で積分することで算出した。図-10の青線で示すような川幅の広い区間(21.8km-22.6km)でも、0.1mm-150mmの粒径の土砂が多く移動していることが分かる。ダム下流河道の平均粒径は約100mmであることから、川幅の広い区間でも滞筋が形成されることにより、下流河道を構成する平均的な河床材料を排出できることが確認できた。また計算では、粒径400mmの土砂がダム堤体付近で流下している。現地調査<sup>2)</sup>によって、ダム堤体付近で粒径400mmの土砂が移動していることが明らかになっている。しかし、計算では川幅の広い区間で粒径400mmの土砂は殆ど動いていない。これについて、今後現地調査や精度の良い解析をすることにより粒径の大きな土砂の移動状況を検討する必要がある。

図-10の赤線で囲まれた2つの区間(21.8km-21.6km, 21.2km-21.0km)で、通過土砂量が急激に落ちている。この区間の平面形状(図-4)は急縮(21.8km-21.6km)、湾曲(21.4km-21.2km)しており水理量の変化が大きい区間である。また図-9より、これらの区間は川幅全体で流れており、平面形状の影響を受けやすい。図-11は、水位コンターを示す。これより、平面形状の変化が比較的緩やかな区間に比べ、水面勾配が小さくなっており、そのため通過土砂量が低下すると推察される。

図-12に、ダム堤体付近(20.7km)における連携排砂前後の横断面と解析での自然流下終了後の横断面の比較を示す。ダム堤体付近の河床形状は排砂ゲート敷高(El.215m)との関係によって連携排砂前後で大きな変化がない。一方で、解析結果では排砂後に比べ1mほど大きく堆積していることが分かる。これは、計算では排砂ゲートに向かう早い流れが再現できておらず、土砂を流す掃流力が過少に評価されているのが堆積の原因と考えられる。本検討では、図-6で示した下流端水位境界条件を用いており、境界条件の与え方について再度検討する必要がある。

## 5. 結論と今後の課題

連携排砂前後に測られた横断測量データと自然流下時に撮影されたCCTV映像から連携排砂前後での滞筋の形成機構などについて考察した。そこから、大きな滞筋変化は、宇奈月ダムの貯水位と上流の出し平ダムからの大量の流入土砂が大きく影響していることが分かった。また、そのような考察を基に初期河床形状をCCTV映像から作成した自然流下時の滞筋や副流路の平面的な位置を表現するように設定し、平面二次元洪水流河床変動解析を行うことで、自然流下時の宇奈月ダム貯水池内の流況や土砂移動特性を検討した。その結果、川幅の広い区間でも、滞筋が形成されることにより150mm粒径の土砂が移動することが分かった。

今後は、宇奈月ダムの水位低下操作などの一連の操作と出し平ダムからの流入土砂量を考慮した連携排砂時の宇奈月ダム貯水池内の流況や排砂機構を検討していく予定である。

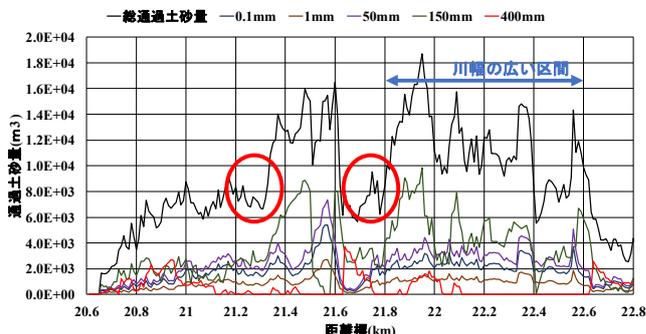


図-10 粒径別通過土砂量縦断面図(解析)

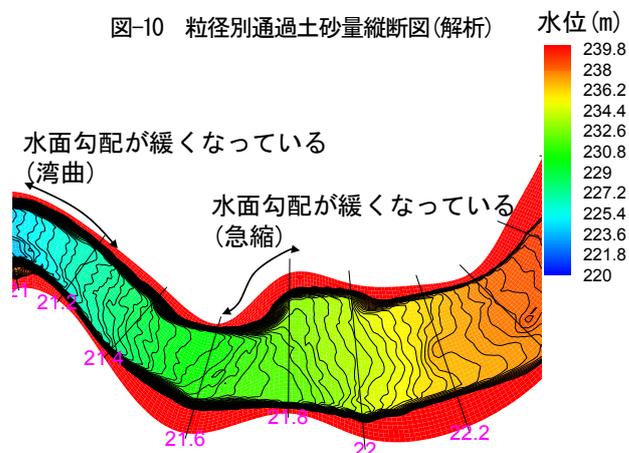


図-11 水位コンター図

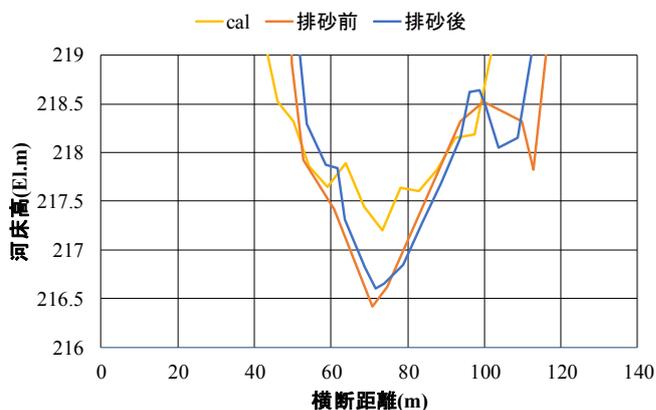


図-12 連携排砂前後の横断面と解析終了後の横断面の比較(20.7km地点)

## 参考文献

- 1) 岩谷直貴, 福岡捷二, 藤田士郎, 谷口繁一: 準二次元河床変動解析を用いた排砂時における宇奈月ダム貯水池内の河床変動の検討, 土木学会年次学術講演会, II-105, 2017.
- 2) 国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所: 第41回黒部川土砂管理協議会資料-3, 2016.