

出し平ダムと宇奈月ダム連携排砂時の土砂動態に関する研究 Study on sediment movement during the coordinated sediment flushing of the Dashidaira dam and the Unazuki dam

18N3100017D 鈴木 航平 (河川工学研究室)
Kohei SUZUKI/ River Engineering Lab.

Key Words : coordinated sediment flushing, Kurobe River, bed variation, sediment movement

1. 序論

黒部川は富山県に位置する日本屈指の急流河川である。また、黒部川流域は多雨多雪地帯であるのに加え、上流域の多数の崩壊地によって土砂が多く生産されることにより、扇状地や海岸線を形成してきた(図-1)。現在黒部川には黒部ダムを初めとする6つのダムが整備されており、それによる土砂供給量、質の変化に起因して下流河川の河床低下や海岸侵食などが見られている。そこで、ダムの機能維持や土砂の連続性を図る先駆的な方法の一つとして、黒部川流域の下流に位置する宇奈月ダムとその7km上流の出し平ダムでは、2001年より連携排砂が実施されている。連携排砂とは、図-2に示すように洪水発生時に宇奈月ダム(国土交通省)と出し平ダム(関西電力)が連携したダム操作を行い、ダムに堆積した土砂や流入土砂を宇奈月ダム下流河道へ排砂するものである。連携排砂は有効な手段であるが、流域全体の総合的な土砂管理のためには、宇奈月ダム貯水池-河道における、土砂動態を適切に理解する必要がある。

本文では、連携排砂前後の宇奈月ダム、出し平ダム貯水池の横断面データを用い、複雑な土砂移動現象を適切に再現できる洪水流河床変動モデルを構築する。

そして、ダム操作時の各時間帯における流砂量や河床変動量等から宇奈月ダムにおける土砂動態を明らかにする。

2. 解析条件と出し平ダムからの排砂量検討方法

(1) 解析条件

本洪水での宇奈月ダムにおけるピーク流入量は約300m³/sであり、連携排砂実施基準流量(300m³/s)程度の連携排砂である。図-3は、H26年洪水連携排砂時の両ダムのダム操作の時間帯と水位、放流量ハイドログラフを示す。解析区間は、図-4に示す出し平ダム直下流(27.4km)から宇奈月ダム堤体直上流(20.6km)までとした。宇奈月ダム洪水期制限水位時には、貯水池湛水上流端は22.8km付近にある。解析に用いた粒度分布(図-4)は、宇奈月ダム下流河道(14.0km-20.0km)で縦断的に採取されたものの平均値である。洪水流は、山地河川に適した竹村・福岡の準三次元解析法¹⁾を適用し、河床変動解析は、長田・福岡の二次元河床変動解析法²⁾を用いて検討を行った。宇奈月ダム貯水池内の土砂動態の検討には、出し平ダムからの流量ハイドログラフ、排出土砂量グラフを考慮する必要がある。図-5に出し平ダムと宇奈月



図-1 黒部川航空写真

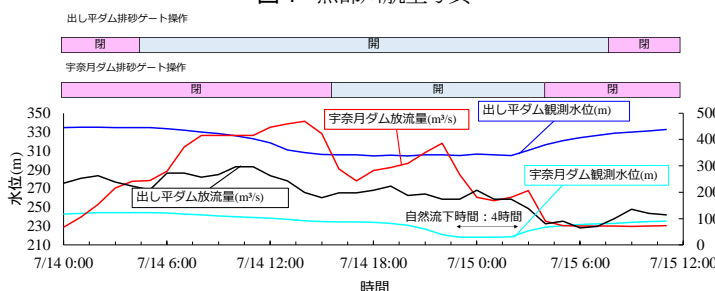


図-3 宇奈月ダム、出し平ダム水位ハイドログラフ、流量ハイドログラフ

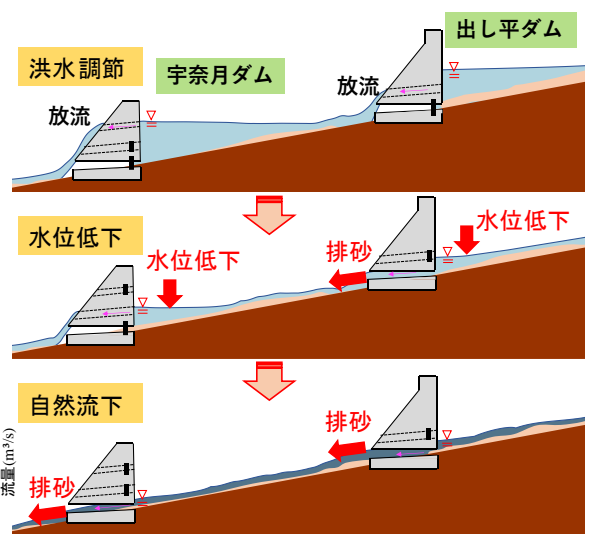


図-2 連携排砂の概要図

ダムの土砂動態解析方法の手順を示し、以下にその詳細を示す。

(2) 出し平ダムからの排砂量グラフの求め方

図-6は、出し平ダム堤体から約1.3km(No.7)の排砂前後(観測)と解析の際に仮定した自然流下開始時の湖床面を示す。出し平ダムの排砂によって貯水池内の堆積土砂が最大8mも侵食された。このような大きな侵食を解析で再現するには、堆積土砂の粒度分布や排砂過程の情報が必要である。しかし、出し平ダム貯水池内では排砂前後の貯水池内湖床データしか存在しない。そのため、本研究では、以下に示す4つの仮定を用い、解析によって出し平ダム排砂ゲートからの排砂量グラフを推定した。

①排砂前の出し平ダムに堆積している多くの土砂は細粒土砂であり、その中に粗粒土砂も含んでいる。②水位低下時に、これらの細粒土砂が流出する。一方、粗粒土砂は沈降、貯水池底に堆積する。出し平ダム排砂ゲートからの浮遊砂量は、排砂前河床と自然流下開始時の縦断的な河床の差から算出する。そして、出し平ダム直下で観測された粒径別浮遊砂濃度グラフ[シルト(0.005mm～0.075mm)、細砂(0.075mm～0.25mm)、中砂(0.25mm～0.85mm)]の波形を基に、細砂総量に合うよう粒径別浮遊砂量グラフを設定する。③自然流下時には、粗粒土砂が洗掘・輸送され、排砂後に測量された湖床を形成する。排砂後の湖床面の解析値と実測値を比較し、実測値に合うまで、初期湖床面を修正し掃流砂グラフを計算する。④解析で求められた出し平ダム排砂ゲート地点からの掃流砂・浮遊砂グラフを宇奈月ダム土砂動態解析の際の上流端境界条件に用いる。

排砂量グラフの解析結果を図-7(a),(b)に示す。粗礫は最大で300mmが排砂されており、自然流下時には、粗粒土砂のピーク排砂量状態が続くことが分かる。出し平ダムの水位が高い時は、細粒土砂の排砂量は少ない。排砂ゲートが開水路流になる直前でピークになり、その後徐々に低下していく。

(3) 宇奈月ダムの土砂移動特性の検討方法

図-9は、H26年洪水における7/15 4:40分に22.2km付近で撮影された自然流下状態のCCTV映像を示している。この場所は宇奈月ダム貯水池内で川幅が広く、大きな砂州の形成が見られる場所である。自然流下状態から水位回復状態の時間帯は、砂州による滞筋の固定化と比較的小規模の流量であることから、中規模河床構造の変化は小さい。そのため、自然流下時の滞筋位置は

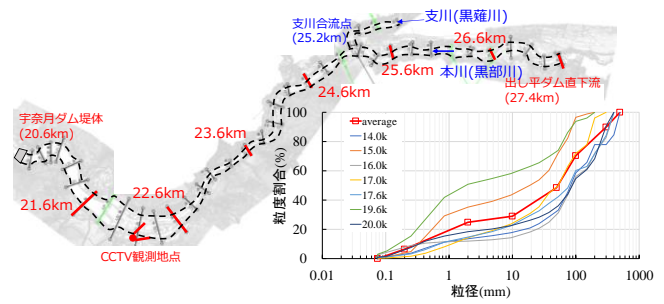


図-4 解析区間と解析に用いた粒度分布

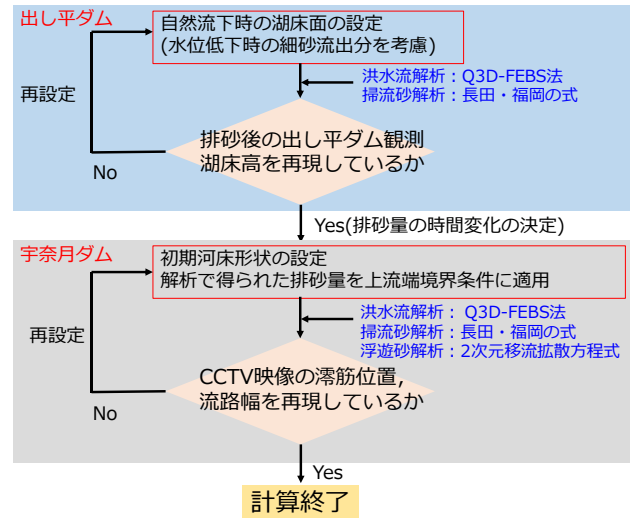


図-5 出し平ダム、宇奈月ダム土砂動態解析手順

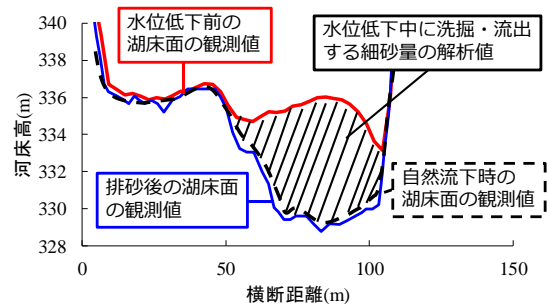


図-6 解析に用いた出し平ダム貯水池内の排砂前後の湖床面と土砂流出の考え方(No.7断面)

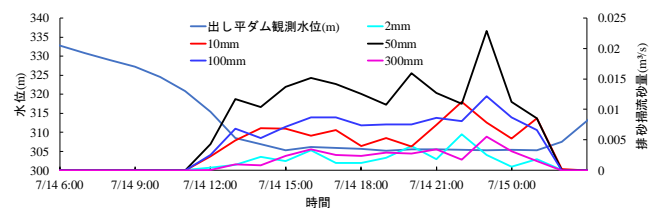


図-7(a) 出し平ダムから排出される粗粒土砂グラフの解析値

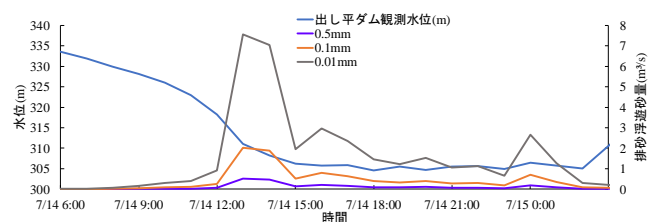


図-7(b) 出し平ダムから排出される細砂グラフの解析値

連携排砂後に測量した横断面形状によく現れていると考える。本研究では、CCTV映像から見られる滞筋の平面的な位置と連携排砂後に測量された横断面形を用いて初期河床形状を設定した。その他の河道区間は、連携排砂前に200m間隔で測られた横断面を用いた。

出し平ダム下流で、浮遊砂の最大粒径は0.25mmから0.85mmの間で観測されている³⁾。そのため本研究では、0.85mm以下の粒径は浮遊砂運動をすくと考え、平面二次元移流拡散方程式を用いて浮遊砂の移動を解析した。

3. 解析結果と考察

図-9は、宇奈月ダム貯水池における水面形時系列、河床高縦断面図の解析値を示す。時間経過によって貯水池が湛水状態から河道状態になっていることが分かる。

土砂移動特性は、二つのダムのゲート操作による貯水位で異なる。そのため、以下では図-2に示す、①出し平ダム水位低下時、宇奈月ダム水位低下時、③出し平ダム自然流下時、宇奈月ダム水位低下時、④宇奈月ダム自然流下時、出し平ダム自然流下時の3つの時間帯に分けて考察を行う。

(1) 出し平ダム:水位低下時, 宇奈月ダム:水位低下時

図-10は、宇奈月ダムの粗砂流砂量の縦断的な解析値を示す。①の時間帯は、出し平ダムからの土砂の排出がほとんど無いのに加え、水位低下中の出し平ダムからの放流量が多い。そのため、出し平ダム直下流では、河床が洗掘され土砂が下流に輸送される。また、宇奈月ダム貯水池以外の区間では、最大で300mm粒径が移動し、それが宇奈月ダム貯水池の背水の影響で22.6km付近に堆積している。このことから、①の時間帯では、連携排砂前に出し平ダム直下流に堆積していた土砂が下流に輸送されていると考えられる。

(2) 出し平ダム:自然流下時, 宇奈月ダム:水位低下時

図-11は、粗砂流砂量の縦断的な解析値を示す。出し平ダムから排出される土砂量と同程度の量が河道域でも見られている。そのため、出し平ダムからの排砂土砂は連携排砂によって安定的に宇奈月ダム貯水池まで供給されていると考えられる。図-12は、出し平ダムからの排砂浮遊砂量ピーク時における粒径別浮遊砂縦断分布を示す。細かい粒径(0.01mm)の多くは、河道域に堆積しながら、宇奈月ダムを通過する。しかし、浮遊砂の中でも大きい粒径は河道域で堆積し、貯水池まで到達出来ていない。これは、宇奈月ダム初期河床を構成する河床材料粒度分布に、細砂分が含まれていないからである。



図-8 7/15 4:40分に22.2km付近で撮影されたCCTV映像

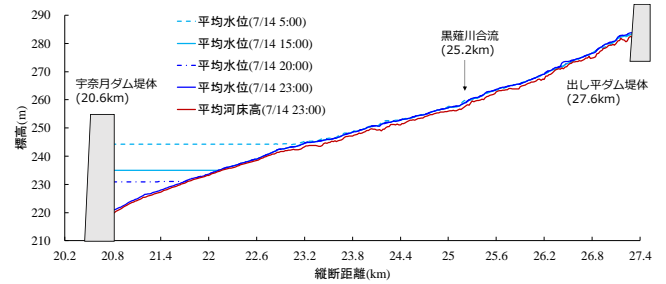


図-9 宇奈月ダム水面形, 河床高縦断面図(解析値)

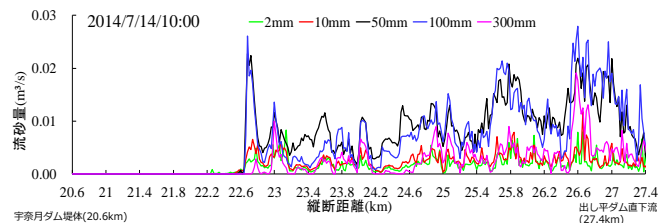


図-10 出し平ダム水位低下時(7/14 10:00時点)の宇奈月ダムにおける粗砂流砂量の縦断的な解析値

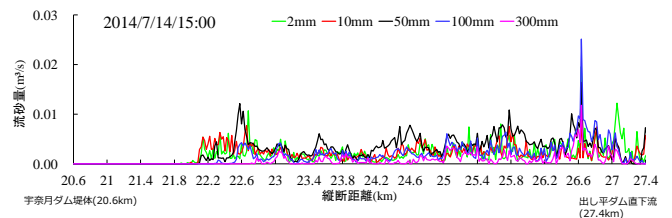


図-11 出し平ダム自然流下時(7/14 15:00時点)の宇奈月ダムにおける粗砂流砂量の縦断的な解析値

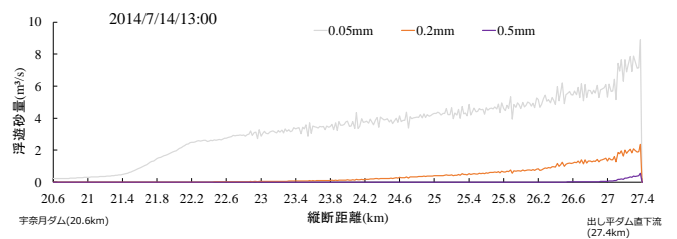


図-12 出し平ダム排砂浮遊砂量のピーク時(7/14 13:00時点)の縦断的な細粒土砂量の解析値

(3) 出し平ダム:自然流下時, 宇奈月ダム:自然流下時-水位回復時

図-13は、宇奈月ダム自然流下時の流砂量の縦断分布を示す。貯水池内の川幅が広い区間(22.6km-21.8km)では、

50mm 以上の粗い粒径集団の流砂量は減少しているが、細かい粒径集団(2mm,10mm)は減少が見られない。図-14 は、7/14 23:00 分時点の宇奈月ダム貯水池内水深平均流速コンターと河床高の等高線図を示す。宇奈月ダム貯水池内の 22.6km-22.2km では、砂州が水面上に現れ滞筋が形成されている。この滞筋に流れが集中することにより 2-10mm の粒径が多く移動し、50mm 粒径も河道区間に比べ流砂量が少ないが、移動は見られる。一方、100mm, 300mm は、それらが移動するほどの大きな掃流力は働いていないため、この区間では移動が生じにくくなっている。図-15 は、宇奈月ダムを 10 分間に通過した各粒径ごとの流砂量グラフの解析値を示す。自然流下中の宇奈月ダムを、10 分間で最大 300mm の粒径が 12 個程度通過している。50mm 粒径は 10,000 個、100mm 粒径は 1,000 個程度通過していることが分かる。流砂ボリュームとしては 100mm,50mm が多く通過している。また、300mm,100mm,50mm のピーク通過量に時間差が生じている。宇奈月ダム直下流で、黒部河川事務所が河床状況調査⁴⁾を行った結果、平均的に 100mm 粒径が多く存在し、最大で 200mm 粒径が存在していることが分かっている。これは解析で得られた通過最大粒径とほぼ対応している。

4. 結論

本研究では、各時間帯での土砂移動の特徴を数値解析と現地観測結果に基づいて考察した。以下に主要な結論を示す。

- ① 出し平ダム直下流の土砂移動特性は、出し平ダム各時間帯のゲート操作で異なることを示した。出し平ダム水位低下時は、ダムからの土砂供給が少ないためダム直下流に堆積していた土砂が洗掘され、下流に輸送される。自然流下時は、浮遊砂は河道部分に堆積しながら、一部は宇奈月ダムを通過する。一方、自然流下時の出し平ダムからの粗粒土砂は河道の流れの掃流力に見合った移動特性を示す。
- ② 出し平ダムからの洪水ハイドログラフと排砂土砂量グラフを境界条件として、宇奈月ダム貯水池内の土砂移動特性を明らかにした。今回の小規模な洪水流量時の連携排砂時には、最大 300mm 粒径の粗礫が宇奈月ダム排砂ゲートを通過している。また流砂ボリュームとしては黒部川下流河道の安定に寄与している 100mm や 50mm などの粒径集団が多く通過していることが分かった。

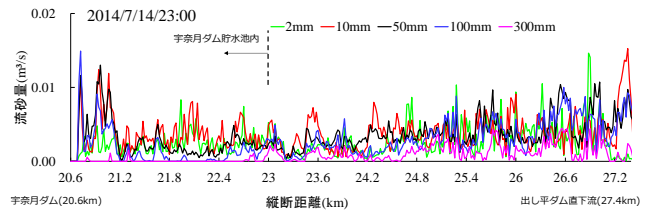


図-13 宇奈月ダム自然流下時(7/14 23:00 時点)の宇奈月ダムにおける粗砂流砂量の縦断的な解析値

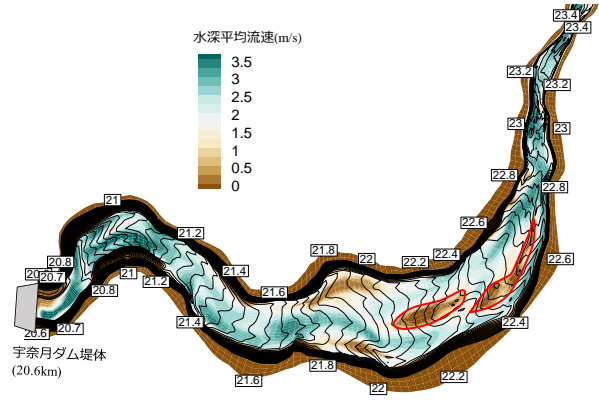


図-14 7/14 23:00 分時点の宇奈月ダム貯水池内水深平均流速コンターと河床高の等高線図(解析値)

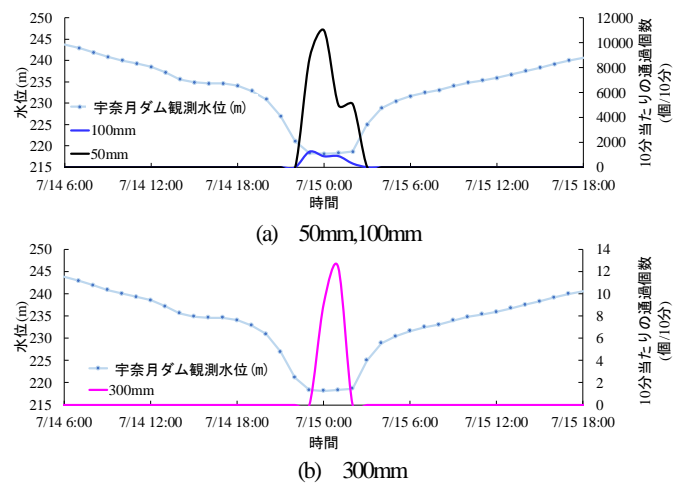


図-15 宇奈月ダムを通過する粗粒土砂グラフの解析値

参考文献

- 1) 竹村吉晴, 福岡捷二: 波状跳水・完全跳水及びその減勢区間における境界面(水面・底面)上の流れの方程式を用いた非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS), 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.75, No.1, 61-80, 2019.
- 2) 長田健吾, 福岡捷二: 石礫河川の河床変動機構と表層石礫の凹凸分布に着目した二次元河床変動解析法, 土木学会論文集 B1, Vol.68, No.1, pp.1-20, 2012.
- 3) 黒部河川事務所, 第 42 回黒部川ダム排砂評価委員会資料, 平成 26 年 7 月連携排砂に伴う環境調査結果について, 2015 年 1 月.
- 4) 国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所: H28 年度減勢池河床状況調査結果.