

II-43

ダム貯水池の流砂による堆砂について

北海道大学 学生員 坊野聡子
 北海道大学 正員 清水康行
 沙流川ダム建設事業所 正員 遠藤友志郎
 沙流川ダム建設事業所 正員 久保徳彦

1 はじめに

一般にダムなどの河川横断工作物が建設されると土砂の流下方向の輸送状態に大きな変化が生ずる。本論文は北海道の沙流川に1996年4月に竣功した二風谷ダムを例に、ダム完成後の貯水池およびこの上下流の河川の土砂動態を明らかにしようとするものである。土砂移動が特に活発となるのは大規模な出水期間中であり、本研究の目的からいうと出水期間中の土砂移動の実態把握が重要となる。

二風谷ダムではダム完成の翌年の1997年8月に大規模な出水が発生し、この出水期間中にダムの上下流および貯水池内において連続的な土砂輸送の観測が行われた^{1,2)}。この観測は流水中の濁質の量に主眼が置かれたものであり、濁質の粒径からいうと Wash Load 又は浮遊砂の内の細粒成分を捕らえたものである。本研究では、まずこの観測結果に基づき出水期間中の細粒成分の土砂収支を明らかにする。一方、出水期間中の移動土砂にはこの観測で捕らえられなかった Bed Material Load も大量に含まれていると考えられる。その輸送については浮遊砂、掃流砂を含む数値計算モデルを用いて検討を行う。

最後に、これらの観測結果および計算結果を用いて、二風谷ダムを含む、沙流川の出水期間中の土砂移動およびその収支について検討を行う。

2 出水時の土砂観測^{1,2)}

観測は、1997年8月10日～13日の台風11号による集中豪雨時に行われた。この時の流域平均降雨量、貯水池の総流入流量、放流量及びダム貯水池を図-1に示す。降雨量はピークで25mm/h、累加雨量も135mmであり降雨規模としてはそれほど大きいものではないが、8月の初めからの断続的な降雨により、流入流量は降雨規模の割に大きなものとなった。

¹ A Study on Sediment Accumulation in Dam Reservoir

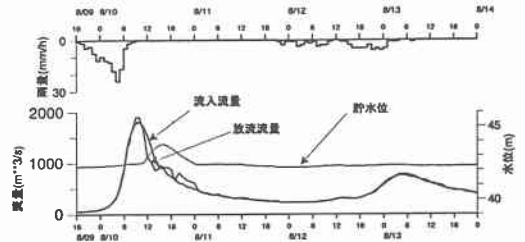


図1: 1997年8月出水時観測期間中の降雨量、ダム流入流量、放流量及びダム貯水位

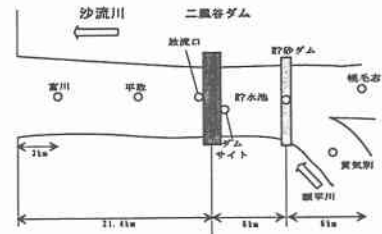


図2: 二風谷ダムおよびその上下流における定点濁度・SSの観測地点配置図

この時のダム地点でのピーク流入量は約1,800m³/s、下流の富川地点では2,200m³/s以上にも達した。図-1に示すように、この出水期間中を通して流入量とほぼ同量の放流が行われており、結果的には、貯水位の変化は少なかった。観測は貯水池内を船で移動しながらの流速および採水調査の他に、図-2に示す7地点で連続的な採水調査が行われ、採水資料に対する濁度およびSSの分析が行われた。

7地点における定点観測の結果を各地点の流量とともに図-3～図-8に示す。ここで、白丸(○)は濁度、黒丸(●)はSS(mg/l)であり貯砂ダム地点の流量はダム流入流量である。高濃度時には濁度の値がSSの値を下回る傾向が見られるが、全体的にはSSと濁度は良い相関関係が見られる。

各地点の流量およびSSの値から次式を用いて流砂

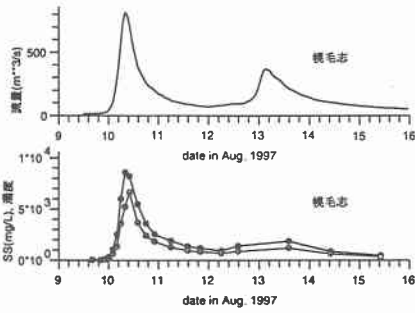


図 3: 梶毛志地点における濁度, SS と流量の観測結果

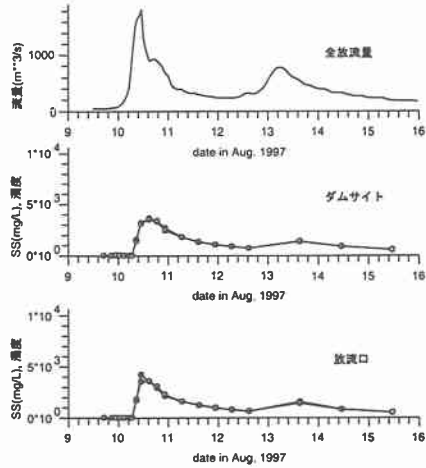


図 6: ダムサイト (堤体直上流) および放流口における濁度, SS と全放流流量の観測結果

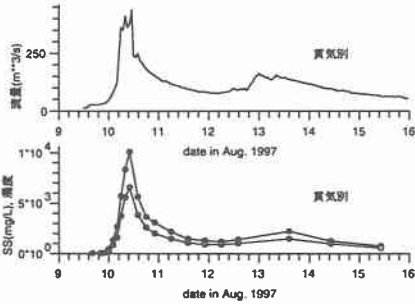


図 4: 貫気別地点における濁度, SS と流量の観測結果

量の推定を行なった。

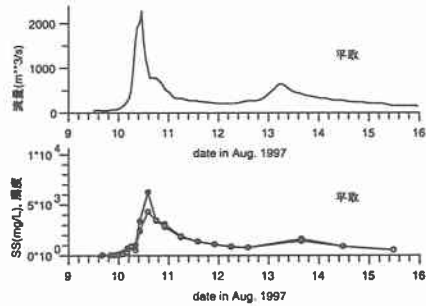


図 7: 平取地点における濁度, SS と流量の観測結果

$$Q_s = \frac{QS}{w_s 1000^2} \quad (1)$$

ただし、 Q_s は流砂量 (m^3/s)、 Q は流量 (m^3/s)、 S はSS(mg/l)、 w_s は浮遊粒子の単位体積重量 (g/cm^3)である。浮遊粒子の単位体積重量を $w_s = 2.65(g/cm^3)$ と仮定し、各地点の各観測時のSSおよび流量から(1)式で流砂量を推定し、流量との関係を地点別に異なった記号で示したのが図-9である。図-9によれば、ダムサイトおよび放流口のデータは明らかに他の地点と異なった傾向が見られ、これら2地点を除くデータに関しては、以下の相関式で近似可能である。

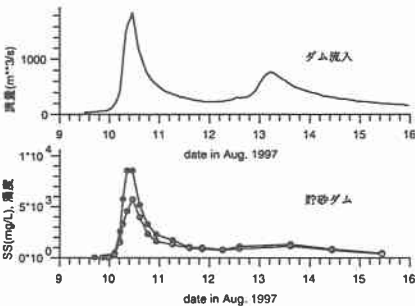


図 5: 貯砂ダム越流部における濁度, SS とダム流入流量の観測結果

$$Q_s = 9.9 * 10^{-7} Q^{2.02} \quad (2)$$

上記の式は、全国河川の Wash Load の推定式³⁾の範囲に入っていることや別途行われた観測資料に対する粒

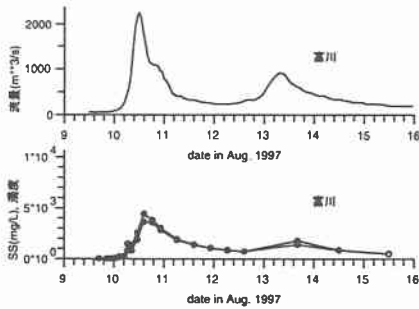


図 8: 富川地点における濁度, SS と流量の観測結果

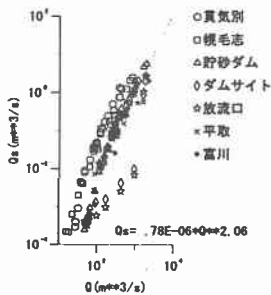


図 9: 各観測地点における流量と流砂量の関係

度試験結果からも大部分が粒径 0.074mm 以下の微細成分であった¹⁾ことなどから、これらの大部分は Wash Load と考えられる。

各地点の SS データから (1) 式で推定された流砂量を観測期間中で時間積分することにより今回の出水期間中の各地点の通過土砂量の推定を行なった。図-10 は 8 月 9 日の 12 時から 15 日の 12 時の間における各定点観測地点の通過土砂量の計算結果である。これから単純に収支を計算すると、貯砂ダムの上流で約 6 万 m³ の侵食、貯水池で約 9 万 m³ の堆積があったと推定される。今回の出水では貯砂ダムが全断面で激しく越流してい

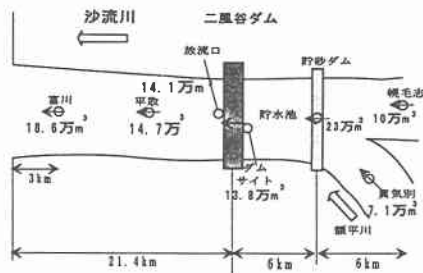


図 10: 1997 年 8 月 9 日 12:00~15 日 12:00 の各地点の通過土砂量

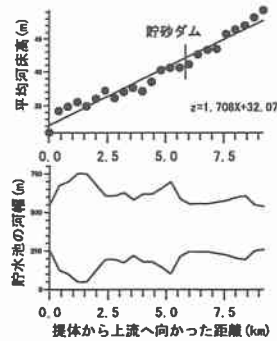


図 11: 再現計算に用いた貯水池の平均河床高と幅

たことから、それまでの中小出水で貯砂ダムに堆積していた土砂が出水期間中に貯水池へ流入し、貯水池へ流入した土砂のうちの半分近くが貯水池に堆積し、残りは洪水吐きから流出したものと推定される。

3 数値計算による土砂輸送の検討

前節で扱った土砂は、おもに Wash Load と考えられるが、実際には、掃流砂や浮遊砂からなる Bed Material Load の輸送も無視出来ない。そこで、これらの Bed Material Load を扱う数値計算モデル⁴⁾で今回の出水期間中の土砂輸送の実態を検討する。

3.1 貯水池内の土砂動態の再現とモデルの検証

はじめに、モデルの検証のために、ダム貯水池内およびその上流の土砂動態の再現を行う。図-11 に示す初期河床高および河幅を用いて出水期間中の流れおよび河床変動の計算を行う。計算区間はダムサイトから貯水池上流の幌毛志地点までとし、計算流量はダム流入流量を用いた。なお、実際は貯砂ダム上流において主要支川の額平川が合流しているが、計算の便宜上沙流川と額平川を合わせて見かけ上一本の河川として扱うこととした。初期河床材料は表-1 に示すように、Wash Load 成分も取り扱えるように、粒度径を 11 のクラスに分割し、最小粒径(代表粒径を 0.01mm とした)は初期の河床材料中には存在しない微細砂として上流端から Wash Load として (1) 式で与えることとした(沙流川の幌毛志と額平川の眞気別を合計した量を与える)。

計算結果から、最小粒径の浮遊砂成分の貯砂ダム地点および、ダムサイト地点の通過量を、それぞれの SS

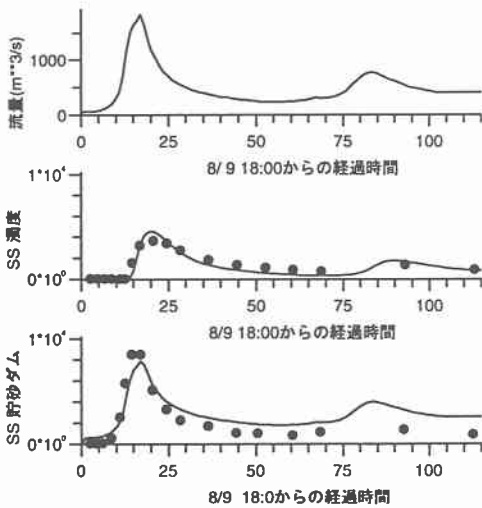


図 12: ダムサイトおよび貯砂ダム地点における流砂量の計算と実測の比較

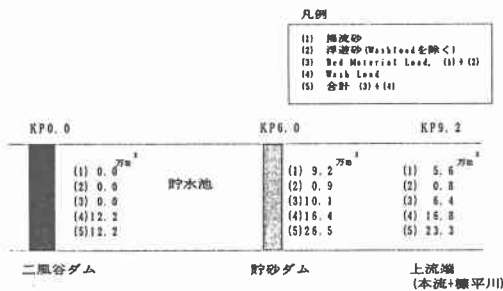


図 13: 各地点の通過流砂量の計算結果

表 1: 河床変動計算に用いる河床材料の粒径区分

d_i	粒径の範囲	代表粒径 (mm)
1	河床に存在しない微細成分	0.010
2	河床に存在する 0.074mm 以下の成分	0.074
3	0.074~0.2mm	0.137
4	0.2~0.4mm	0.3
5	0.4~1mm	0.7
6	1~2mm	1.5
7	2~4mm	3.0
8	4~10mm	7.0
9	10~20mm	15.0
10	20~40mm	30.0
11	40mm 以上	70.0

観測データから算出した流砂量と比較したのが、図-12である。初期状態では河床に存在しない微細成分を上流端から入力した結果、計算区間中の両地点で実測値と良好な一致が認められた。図-12 から明らかなように、貯砂ダム地点の Wash Load の通過量に比べ、ダムサイトの Wash Load が大幅に少なくなっており、通常の河川ではあまり堆積しない Wash Load 成分が貯水池内に堆積したと思われる。

計算結果を用いて各地点の出水期間中の通過土砂量を示したのが、図-13 である。ここで、Wash Load と表示してあるのは、計算浮遊砂量の内の最小粒径の成分(計算上の代表粒径 0.01mm)であり、計算初期河床には存在しない微細成分である。また浮遊砂として表示してある成分は、計算浮遊砂の内での上記の微細成分を除いた成分で、即ち初期から河床に存在する成分である。従って、図-13 に示した各成分の内、浮遊砂と掃流砂の合計が、Bed Material Load の総量となる。図-13 によれば、約 16 万 m^3 の Wash Load が貯水池に流入しているのに対して放流された量は約 12 万 m^3 である。これに対して Bed Material Load は、約 12 万 m^3 の流入のほぼ全量がダム貯水池内に止まったと推定される。図-13 に示した計算上の Wash Load の量は、図-10 に示した、Wash Load の実測値とそのオーダーは一致しており計算モデルの妥当性を示すものである。

3.2 ダム下流の河床変化と土砂輸送状況の解析

前記の数値計算モデルを用いてダム下流の出水期間中の河床変動計算を実施した。計算区間は、水位データの得られる最下流端である富川地点から、ダム地点までとし、前節と同様に、1997年8月9日12:00~15日12:00の6日間の期間の計算を行う。図-14~図-16に計算に用いた初期河床高、河幅および初期河床材料として与えた粒度分布の内の10%粒径、50%粒径、90%粒径を示したものである。なお、図-14~図-16には既往の観測データを年代別に異なる記号で示してあるが、河床変動計算にはそれぞれの図中に実線で示した平均的な値を用いることとした。境界条件は、下流端の水位として富川地点の実測水位、流量はダムの放流流量、上流端での Wash Load の供給量は、図-6の放流口の SS データより算定した濃度、また上流端の Bed Material Load の供給量は、前節の貯水池内の計算結果(図-13)に基づきゼロとした。流砂の計算を行う粒径区分は表-1と同

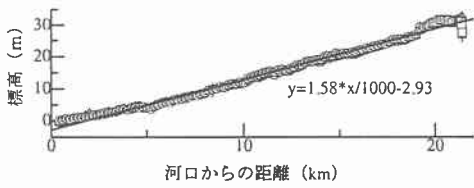


図 14: ダム下流の河床変動計算に用いた初期河床高 (実線)

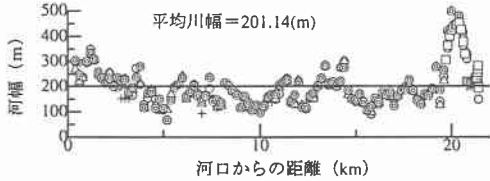


図 15: ダム下流の河床変動計算に用いた河幅 (実線は平均値, +=h04, o=s62, △=s57, ⊙=s53, □=h09)

じとした。

ダム下流における出水期間中の計算結果の内、ダム直下、平取地点および富川地点の通過流砂量を Wash Load、浮遊砂および掃流砂に分けて図-17～図-19に示す。ここで、各図中に示した浮遊砂量は Bed Material Load の浮遊砂であり、Wash Load 成分としてダム放流量中の成分として与えた細粒成分は除いてある。これらの図から、ダム下流では流砂の大部分が Wash Load であり、それもダムから放流された Wash Load がほとんどそのまま下流の富川地点へ達している。Bed Material Load のほうは、ダムからの供給が無いのでもともと河床にあった成分の内、移動可能な量のみが出水の前期で移動するのみであり、Wash Load の輸送量に比べると非常に少ないのが分かる。

図-20 および図-21 は河床高および河床材料の縦断変化を表したものであり、いずれも、約 6 日間の変化を初期から 3 日間隔で表している。図-20 は実際の縦断変化をより詳しく見るために、初期河床からの変化量として表したものである。ダム直下では、Bed Material Load の供給が無いため、河床低下が計算されており、下流端では河床の堆積が計算されている。これは、たまた下流端水位の条件が堰上げ背水の条件になっていたためである。ダム直下の低下および下流端の堆積に関しては、計算条件が現実の河道条件を極端に単純化して行われているために必ずしも現実に一致しているかどうかは不明であるが、与えた条件内ではこのような計算結果が得られたものである。

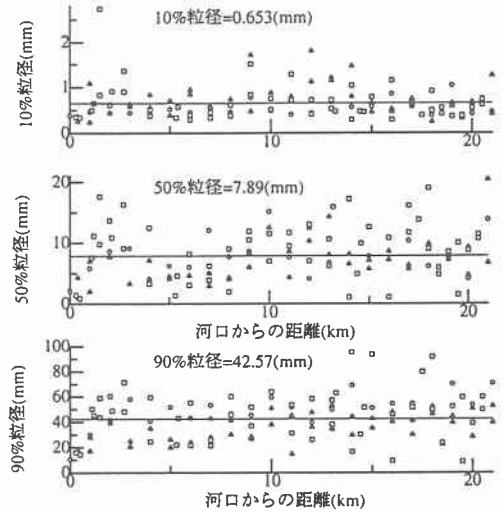


図 16: ダム下流の河床変動計算に用いた初期河床材料の粒度分布 (d_{10} , d_{50} および d_{90} , 実線は平均値, o=s54, △=h04, □=h08)

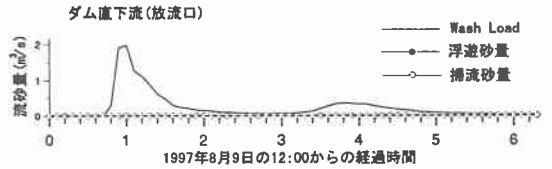


図 17: 流砂量の計算結果 (ダム直下)

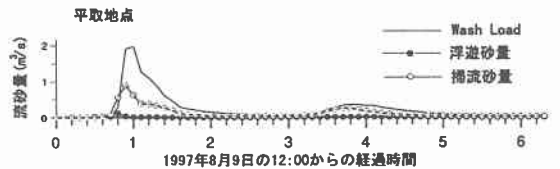


図 18: 流砂量の計算結果 (平取地点)

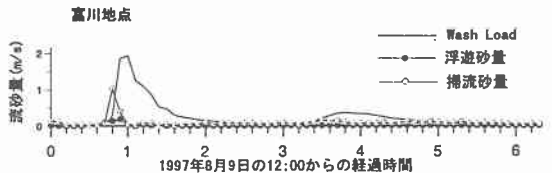


図 19: 流砂量の計算結果 (富川地点)

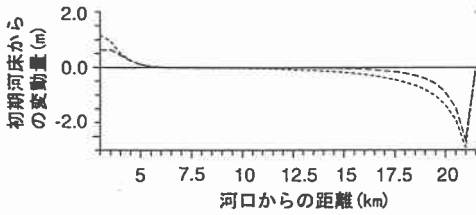


図 20: ダム下流の河床変動計算結果河床縦断形状の初期河床からの変化量

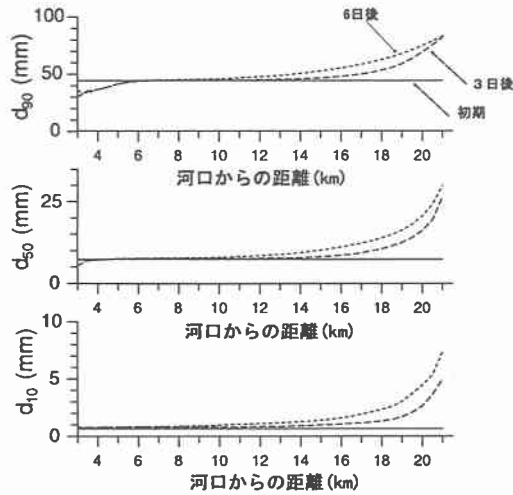


図 21: ダム下流の河床材料の粒度分布の変化 (d_{10} , d_{50} および d_{90})

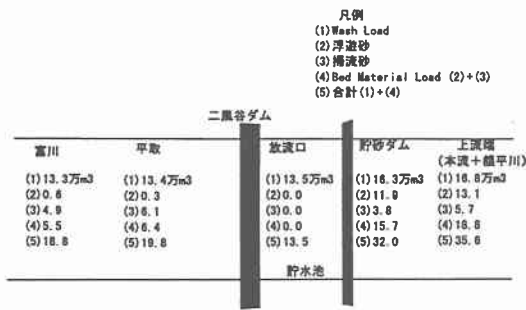


図 22: 各地点の通過流砂量の計算結果

図-21 の河床材料の粒径変化の計算結果も、河床変動に呼応して、ダム直下では、河床低下に伴う粗粒化と下流端では堆積に伴う細粒化が計算されている。

なお、ダム下流の現地の河床変動および粒度変化に関しては、本論文執筆時点では調査中の段階であり観測結果がまとまり次第、別途報告予定である。

最後に、ダムの上流と下流に分けて実施した出水期間中の土砂動態の計算結果を、その成分毎にまとめて図-22 に示す。計算結果によれば流砂の大部分を占める Wash Load はもともと河床とはコンタクトを持たずに海域まで流下していたものが、ダム貯水池内に大量に堆積したと推定される。また、Bed Material Load はほとんどがダムで止められており、この影響で、ダム下流の河床低下と粒径の変化が生じたと考えられる。

4 おわりに

本研究では沙流川の河口から約 20km の地点に 1996 年 4 月に建設された二風谷ダムにおいて完成後間もない 1997 年 8 月に発生した既往最大規模の出水時におこなわれた貯水池およびその上下流での濁質調査および、出水期間の土砂動態を把握すべく構築された数値計算モデルを用いて、ダム貯水池を含む河川の縦断的な土砂収支問題の検討を行ったものである。この結果ダムを含む河川全体の土砂収支が量的にも質的にも相当程度明らかにされた。本研究では数日規模の出水を対象とした検討のみが行われたが、ダムによる河川の土砂輸送への影響は、貯水池の堆砂によるダムそのものの寿命はもとより下流の河川環境とも密接に関係を有する問題でもあり、今後とも長期間のモニタリングが重要である。

謝辞: 本研究の内現地観測に関わる部分は、北海道開発局室蘭開発建設部沙流川ダム建設事務所、二風谷ダム管理所、開発土木研究所河川研究室、(株) 北海水工コンサルタント、(株) 福田水文センター、(株) 松木設計などの非常に多くの方々の協力により実施されたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 坊野聡子, 清水康行, 斎藤大作, 吉田義一, 黒木幹男: 出水時のダム貯水池における濁質観測, 水工学論文集第 42 巻, 1998 年 4 月
- 2) 斎藤大作, 清水康行, 坊野聡子, 伊藤丹: 洪水時のダム湖における濁水の観測と数値シミュレーション, 水工学論文集第 42 巻, 1998 年 4 月
- 3) 土木学会: 水理公式集
- 4) 清水康行: 沖積河川の縦断形と河床材料分布形の形成について: 土木学会論文集 No.521/II-32, 1995 年 8 月。