

二風谷ダムでの2003年台風10号 におけるSSの挙動

Observation on Longitudinal Transportation of Suspended Solids during Floods at a
River with a Reservoir

小川長宏¹・渡邊康玄²

Takehiro OGAWA and Yasuharu WATANABE

¹正会員 国土交通省 北海道開発局 石狩川開発建設部 (〒060-8541 札幌市中央区北2西19)

²正会員 工博 (独)北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

Recent river management problems include a decrease in water storage capacity of the dam reservoir due to sedimentation and a lack of continuity in sediment moment from upper to lower reaches. To clarify the characteristics of substance transport during flooding, we conducted observation and sampling at the Saru River in Hokkaido, with a reservoir at its middle reaches. In this area, a massive flood occurred between August 9 and 11, 2003. We also observed this particular flood. Since the scale of this flood was very large, we were unable to make observations throughout the duration of the flood. About this flood in the Saru river including a dam, we examined a flow rate and SS.

Key Words : Field observation, suspended solid, Saru river, Nibutani dam, sediment transport

1. はじめに

近年河道内における土砂の侵食・堆積作用に伴う洪水流下能力の変化, 上・下流における土砂収支等の課題が指摘され, 河川管理において流域一貫した土砂管理の重要性が指摘されている。河川において土粒子の移動は特に増水時に顕著に生じ下流域へと供給されることから, 各地において洪水時の物質輸送に関する現地調査が実施されてきている。

北海道開発土木研究所では, 図-1に示す中流域にダム湖の存在する北海道の一級河川である沙流川において洪水時の調査を実施し, 中下流域のSSや栄養塩類の挙動について把握を行ってきている^{1,2)}。その中で2003年8月9日深夜から10日未明にかけて, 台風10号の接近に伴う豪雨により洪水ピーク時の水位が計画高水位を上回る既往最大の洪水が発生した。この洪水についても, 観測途中において水位上昇等の理由により観測続行不可能な状況となり全洪水期間にわたっての観測はできなかったものの, 洪水の立上り部および洪水減衰期後半について, 流量観測, 採水, 採水された試料についての水質分析および洪水前後での河岸の侵食・堆積状況を把握する河岸堆積物調査を行った。本報告はこの2003年8月9日から8月11日

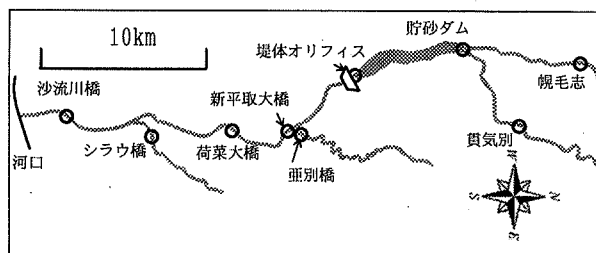


図-1 流域の模式図と観測箇所

の洪水期間中に観測された洪水について, すでに結果の整理されている流量・SS濃度の観測結果を用いて, 洪水時のSSの収支を推定した。

2. 出水と観測の概要

観測を行った8月9日から8月11日にかけて発生した洪水は, 沙流川流域における既往最大の出水であったが, 流域への降雨は昭和37年から平成15年までで最大のものであり, 最大時間雨量は37mm/hに達した。ダム下流の沙流川本川の河口付近にある富川水位観測所では, 計画高水位7.06mを上回る最高水位7.7mを記録している。

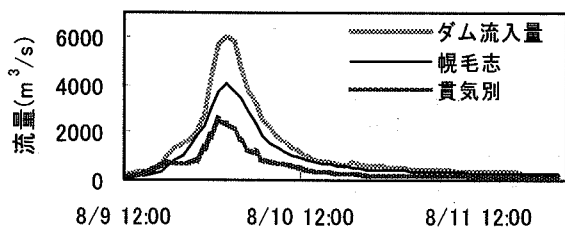


図-2 二風谷ダム上流域流量(速報値)

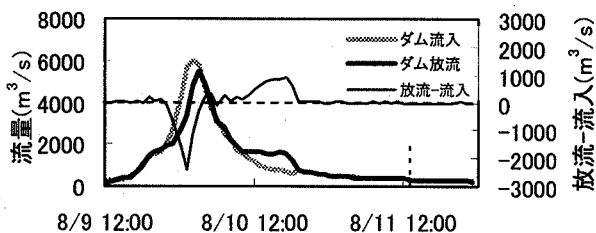


図-4 二風谷ダム流入, 放流SS負荷量

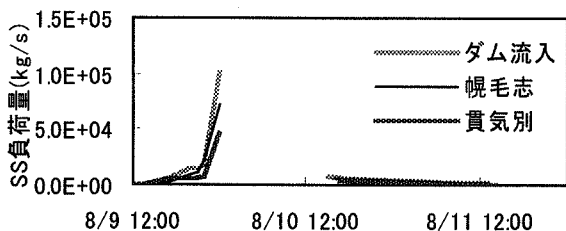


図-3 二風谷ダム上流域SS負荷量

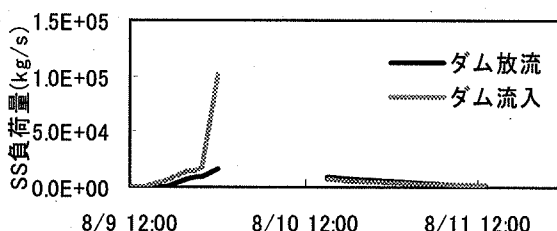


図-5 二風谷ダム流入, 放流SS負荷量

観測は図-1に示す9地点において行った。なお、支川からの土砂・物質流入の影響を把握するため、ダム下流において比較的大きな流域を持つ亜別川とシラウ川についても本川との合流点近傍で観測を行っている。流量観測は可搬式流速計による流量観測及び浮子による流量観測を併用した。採水はステンレス製バケツを用い、堤体オリフィスを除く箇所では河川横断方向に左岸・中央・右岸より表面採取し、オリフィス地点においては放流水の採水を実施した。シラウ川のシラウ橋および亜別川の亜別橋では他の観測地点より川幅が狭いことから河道中央のみの採水を行った。採水された試料についてSS濃度等の分析を行っている。観測は、降雨から流出までの時間が早い支川については8月9日2:00から、その他の観測地点では8月9日9:00より開始している。その後ほぼ2時間ピッチで観測を行い、洪水立上りから毎時間観測へと移行している。しかしながら、豪雨による河川の急激な水位上昇により、8月10日0:00から2:00以降各観測地点で観測続行不可能となり、観測を12時間以上中断している。その後各観測地点での水位低下にあわせ観測を再開した。よって得られた観測データは洪水立上り部と洪水減衰部後半のものとなっている。

3. 観測結果の概要

観測結果の詳細は、文献^{3,4)}に報告済であることから、ここでは観測で得られた流量、SS濃度を用いて算出したSS負荷量についてのみ、図-2～7に示すこととする。

幌毛志と貫気別を加算した流量⁵⁾はダム流入量にほぼ一致する。またSS負荷量については、流量と同様に幌毛志、貫気別の2地点を加算した負荷量と、ダム流入SS負荷量はほぼ一致している。

ダム流入およびダム放流地点の流量について、観測期

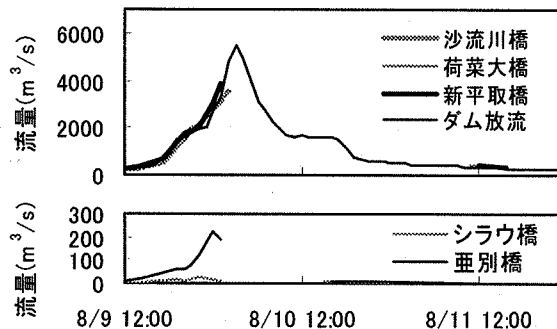


図-6 二風谷ダム下流域流量

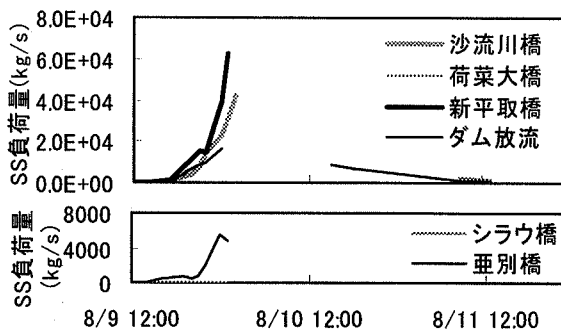


図-7 二風谷ダム下流域SS負荷量

間内での総放流量と総流入量はほぼ一致する。同地点でのSS負荷量の時間変化については、ピーク付近で欠測していることから不明である。

一方、二風谷ダム下流の沙流川本川各地点における観測流量はダム放流量とほぼ同値となっており、支川からの流入による本川への流量増加の影響は相対的に小さいものとなっている。これは、降雨が上流域中心であったためである。本洪水での沙流川本川における各観測地点SS濃度は、流量とは異なり上昇期および減衰期とも、同時刻のダム放流地点SS濃度よりも高いものとなっている。このためSS負荷量についても上昇期では本川各観測所の値がダムから放流された負荷量よりも大きな値を示して

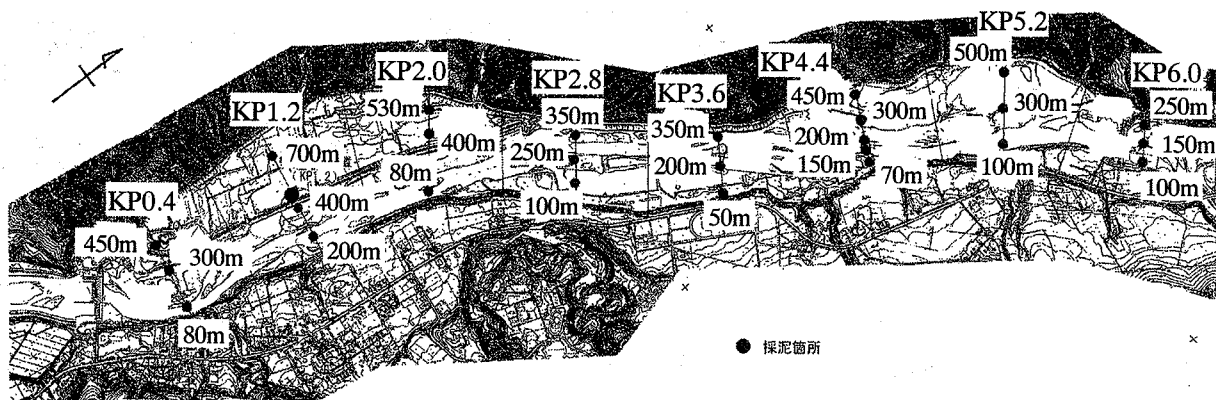


図-8 二風谷ダム湖底質サンプリング地点

いる。今回の洪水では支川および残流域からの土砂流入による影響は小さく、洪水立上り時のSS負荷量増加の原因としては考えられない。また、観測は途中欠測しておりダム地点および下流で、洪水ピーク時を含む欠測期間中の流量およびSS負荷量がどのような挙動を示すのか不明である。以上のことから、洪水中のSSの挙動の概要を把握するために、ダム流入地点、ダム放流地点および沙流川橋地点での欠測時のSS負荷量の推定を5節において行うこととする。

4. 洪水前後ダム湖内の粒度分布

洪水前の7月16～18日と洪水後の9月8日～10日にかけて、二風谷ダム湖の図-8に示す各地点でダム湖底底質のサンプリングと、サンプリングされた試料について粒度分布・土砂単位体積重量・含水比の分析を行った。表-1に各調査地点の土砂単位体積重量・含水比・平均粒径を、図-9に二風谷ダム湖内の平均粒径分布状況を示す。図-9より洪水前後の平均粒径分布状況を比較してみると、ダム湖上流域において全体的に粒径が粗くなり、ダム湖中流部において粒径がやや細くなっており下流域はほとんど変化のない状況となっている。このことから、洪水時に上流域からダム湖内に流送されてきた土砂のうち、粗粒径分については貯砂ダムとその近傍において堆積し、細粒径分についてはダム湖中・下流部へと浮遊状態で輸送され堆積したと考えられる。

5. SSの挙動と推定

SS負荷量の推定方法としては、一般的に流量とSS負荷量の関係が一価関数となるとして、流量からSS負荷量を推定する方法（L-Q式）がある。しかし観測結果からSS負荷量と流量の間には2価性が示されていることより、欠測期間のSS負荷量を推定する際に仮定を設ける必要が

表-1 洪水前後 二風谷ダム湖内底質調査結果

	土砂単位 体積重量		含水比		平均粒径	
	g/cm ³		%		mm	
	7月	9月	7月	9月	7月	9月
Kp.0.4-80m	2.545	2.660	60.6	72.5	0.017	0.021
Kp.0.4-300m	2.392	2.588	91.3	112.6	0.021	0.014
Kp.0.4-450m	2.472	2.581	69.8	103.5	0.015	0.023
Kp.1.2-200m	2.532	2.586	81.5	66.9	0.013	0.035
Kp.1.2-400m	2.583	2.611	62.5	82.1	0.010	0.024
Kp.1.2-700m	2.517	2.568	87.0	97.2	0.018	0.017
Kp.2.0-80m	2.561	2.618	73.2	100.6	0.019	0.015
Kp.2.0-400m	2.515	2.592	66.7	104.9	0.019	0.013
Kp.2.0-530m	2.512	2.544	90.8	110.4	0.013	0.014
Kp.2.8-100m	2.568	2.638	66.7	119.6	0.020	0.007
Kp.2.8-250m	2.558	2.594	64.1	119.9	0.014	0.046
Kp.2.8-350m	2.487	2.629	70.0	59.2	0.017	0.011
Kp.3.6-50m	2.587	2.604	65.7	82.4	0.012	0.024
Kp.3.6-200m	2.572	2.633	72.3	120.2	0.021	0.008
Kp.3.6-350m	2.565	2.611	59.5	105.1	0.014	0.010
Kp.4.4-70m	2.600	2.696	43.8	32.4	0.104	0.064
Kp.4.4-150m	2.613	2.610	45.0	48.2	0.108	0.339
Kp.4.4-200m	2.611	2.643	49.5	34.2	0.030	0.183
Kp.4.4-300m	2.651	2.731	46.8	28.2	0.126	0.803
Kp.4.4-450m	2.687	2.643	9.2	37.3	9.976	0.508
Kp.5.2-100m	2.586	2.658	46.7	30.0	0.023	0.151
Kp.5.2-300m	2.553	2.618	71.5	45.3	0.018	0.290
Kp.5.2-500m	2.496	2.551	55.3	71.9	0.027	0.028
Kp.6.0-100m	2.696	2.654	2.3	41.6	2.240	0.101
Kp.6.0-150m	2.656	2.665	20.9	39.9	2.074	0.341
Kp.6.0-250m	2.649	2.685	22.5	37.8	1.684	0.249
平均	2.556	2.618	62.0	78.2		

あるが、既往最大の洪水であることを考慮して、今回はできうる限り本洪水の実測値により算出されたSS負荷量を尊重した方法により、推定を行うこととした。

5-1. 流量に対するSS負荷量の挙動

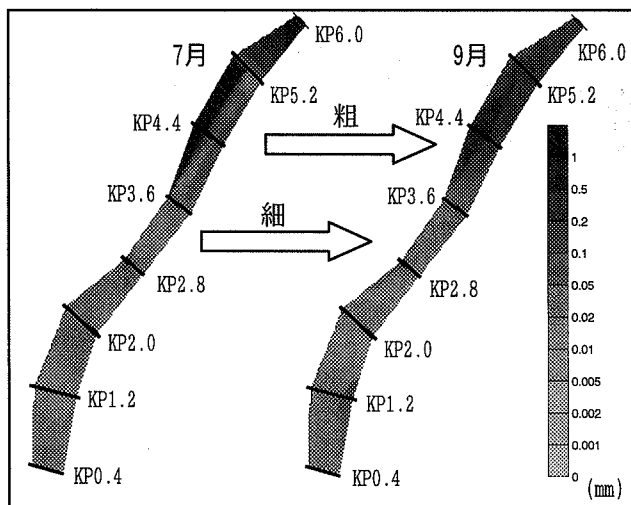


図-9 二風谷ダム湖内粒度分布

洪水期間中のダムを含めた沙流川でのSS輸送について考察を行うため、ピーク時の流量が記録されている北海道開発局テレメータ流量の存在する、二風谷ダム流入・放流地点および沙流川河口部近傍に位置する沙流川橋(富川)地点について、テレメータ流量に観測SS濃度を乗じて求めたSS負荷量のテレメータ流量に対する挙動について検討する。図-10・11・12は各地点における流量に対するSS負荷量の挙動を示した流量-SS負荷量相関図である。ここで観測SS濃度データが先に記述した理由により欠測しているため、SS負荷量についてもピーク時付近が脱落したものとなっている。データの得られた範囲でこの関係を見ると、ダム流入地点においては各流量に対するSS負荷量が、洪水立上りと減衰期においてほぼ同様の値となっているが、ダム放流および富川地点においては、同流量で洪水立上り時よりも減衰時のSS負荷量値が大きいループを描いており、ダム湖をはさんで傾向が異なっている。

5-2. 欠測期間のSS負荷量推定

次に観測SS濃度により算出されたSS負荷量を用いて、本洪水全体としてのSS輸送量を把握するため、SS濃度欠測期間におけるSS負荷量を推定することとする。

図-13は2001年に同流域で観測された出水について、ダム放流地点での流量とSS負荷量の関係を示している。図-13に示されるように2001年の出水において、流量ピークとSS負荷量ピークは同時であり、この点については他の観測地点においても同様の傾向となっている。このことから推定にあたり、本洪水においてもSS負荷量とテレメータ流量のピーク時は同時であると仮定している。SS濃度の観測値はダム流入地点ではテレメータ流量ピーク時の2時間前まで、沙流川橋地点については1時間前までそれぞれ観測されており、洪水立上り時のピーク時付近SS負荷量の挙動がピーク時まで続くものと仮定し、図-10、12の流量-SS負荷量相関図にテレメータ流量ピーク時

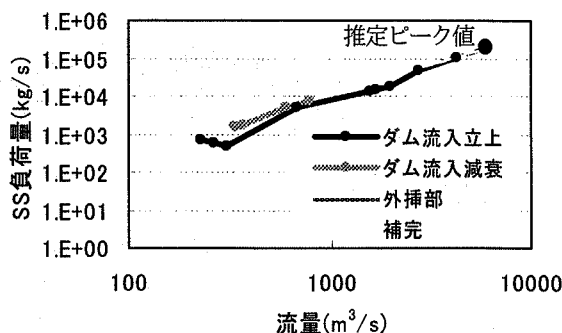


図-10 二風谷ダム流入地点 流量-SS負荷量相関図

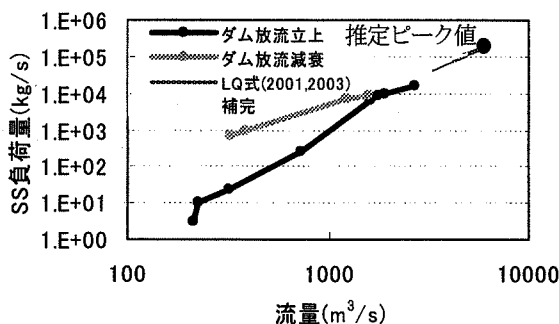


図-11 二風谷ダム放流地点 流量-SS負荷量相関図

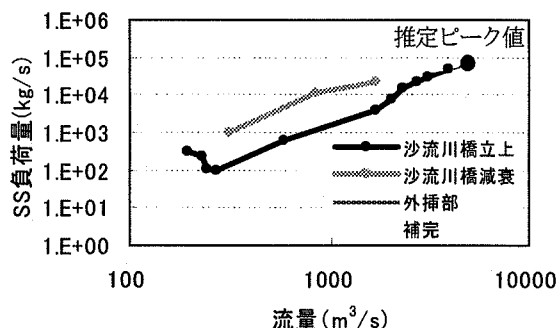


図-12 沙流川橋地点 流量-SS負荷量相関図

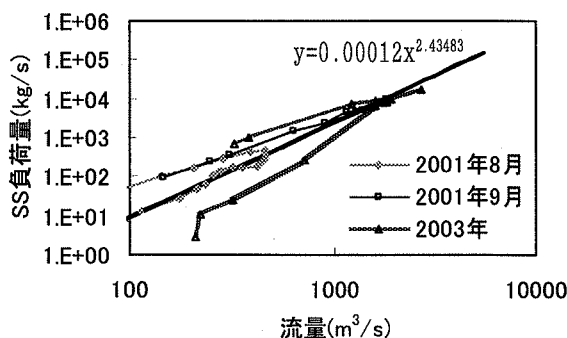


図-13 ダム放流 流量-SS負荷量相関図(2001年, 2003年)

で、SS負荷量立上り時の欠測前2点より延長した外挿線を引き、これをSS負荷量ピーク値と推定した。この推定されたSS負荷量ピーク値と洪水減衰時のSS負荷量の間を流量-SS負荷量相関図上で補完して、これを欠測期間におけるSS負荷量推定値とした。ダム放流地点については、

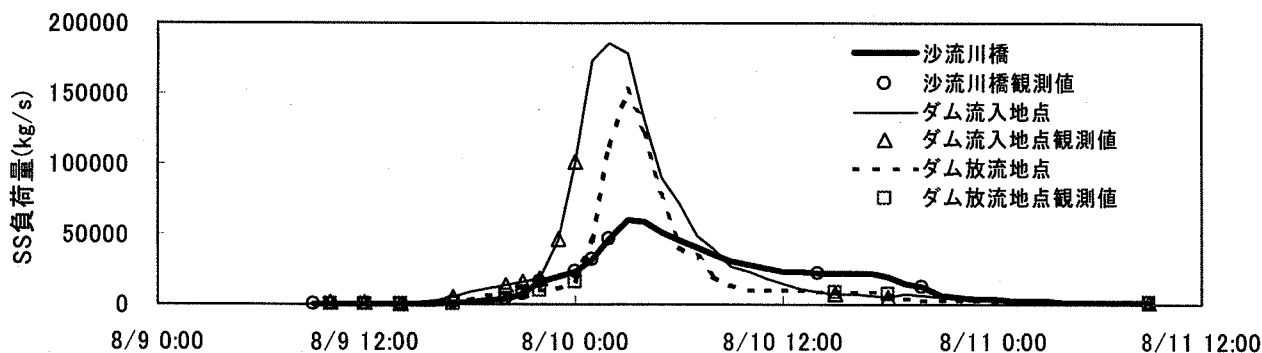


図-14 SS負荷量の時間変化

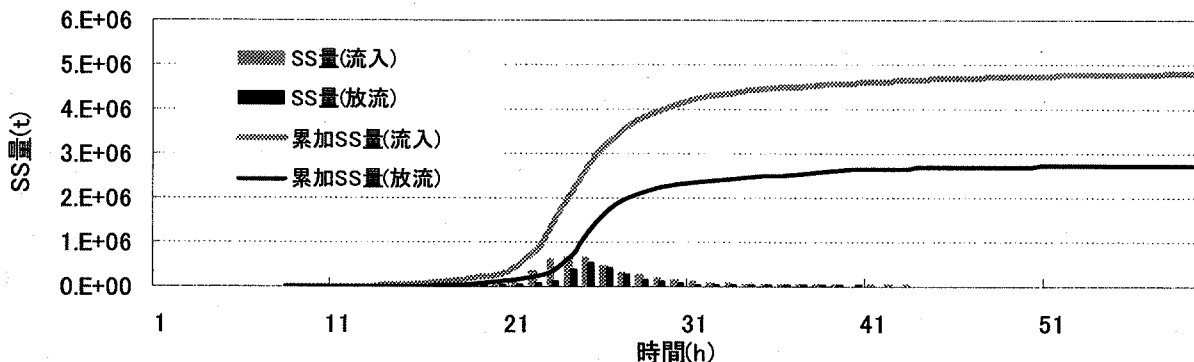


図-15 二風谷ダム流入・放流SS量

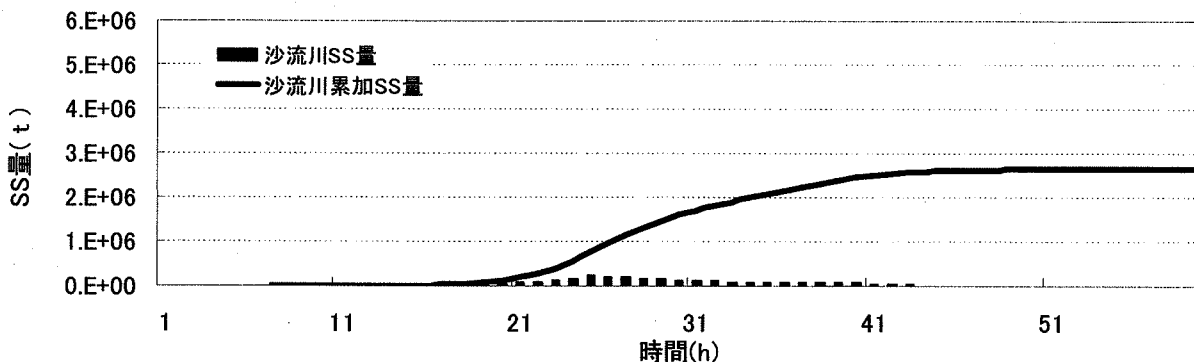


図-16 沙流川橋地点通過SS量

SS濃度はテレメータ流量ピーク時の3時間前まで観測されている。

図-5よりSS負荷量の挙動について、ダム放流地点とダム流入地点を比較すると洪水立上り時において両者の増加傾向が異なっている。また図-4よりダム放流地点においてテレメータ流量がSS濃度の欠測期間で洪水立上りからピーク時まで急激な増加傾向となっている。したがって欠測期間に流量と連動し、SS負荷量が急激に増加していることが想定される。このことから、ダム流入地点・沙流川橋地点と同様に外挿しSS負荷量ピーク値を推定することは不適切である。

ここで、図-13より同地点で2001年に観測された出水と本洪水の増水時及び減水時における傾向が一致することから、2001年の洪水観測データ¹⁾と本洪水のデータを

用いてL-Q式を作成し、本洪水のテレメータ流量ピーク時におけるSS負荷量を推定し、これをSS負荷量ピーク値とした。以上よりダム流入・沙流川橋地点と同様にして欠測期間におけるSS負荷量推定値を求めた。

図-10, 11, 12に上記の方法で推定を行った欠測期間の流量-SS負荷量の関係も併せて示した。図-14は実測のSS負荷量と欠測期間の推定したSS負荷量推定値を用いて、各地点におけるSS負荷量の時間変化を示したものである。

5-3. SS負荷量収支の推定

前節で求めた今回の洪水における流量-SS負荷量の関係を用いて、各地点を通過したSS量の総量を求める。期間は、各地点でSS濃度観測期間が重複している8月9日10時から8月11日9時までの間とした。各地点を通過した累

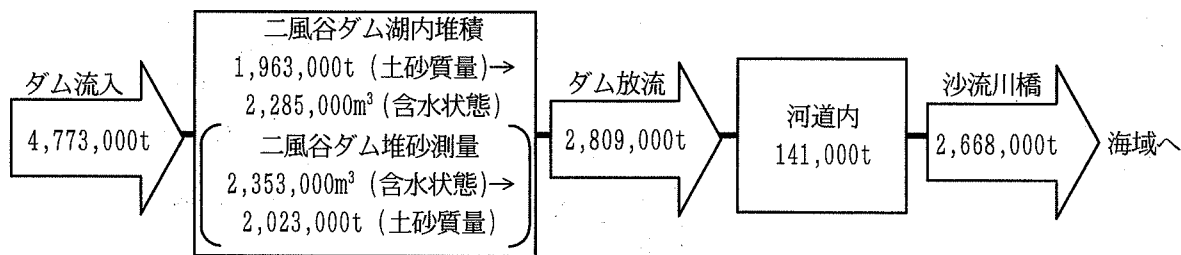


図-17 SS量収支模式図

加SS量の時間変化を図-15, 16に示した。

二風谷ダム地点でのSS量時間変化について、洪水立ち上がりからピーク時にかけて流入SS量は放流SS量を上回っているが、ピーク時より減衰部にかけては流入および放流SS量はほぼ一致している。これは出水初期のダムからの放流水が、出水以前にダムに貯留されていたSSをあまり含まない水であったためであることと、ダム操作によるピークカットにより、下流への放流を抑えたことでダム湖内に流入してきたSS成分が沈降・堆積したためであると推定される。

ダム放流地点と沙流川橋地点でのSS量時間変化を比較すると、沙流川橋地点でのSS量時間変化はなだらかなものとなっており、ダムからの放流SS成分が拡散し下流へと伝播していったことが考えられるが、ダム放流地点下流でのSS負荷量の増加については説明がつかず、この点については今後検討を要する。

以上より、各地点での累加SS量の差分より導かれる、各地点間の土砂収支の推定結果を模式的に図-17に示す。ダム湖内へ堆積したSS量を、表-1に示す9月調査時点の平均土砂単位体積重量 $\gamma_s = 2.618 \text{ g/cm}^3$ 、平均含水比 $w = 78.2\%$ として体積に換算すると $2,285,000 \text{ m}^3$ となる。ダム湖内へ堆積した土砂量について、洪水前の2003年6月と洪水後の8月における堆砂測量結果より算出された、この期間内の堆砂量は $2,355,000 \text{ m}^3$ であり、出水規模の大きさから堆砂量のほとんどは本洪水によるものと思われる。推定SS量は浮遊形態でダム湖に流入した土砂量のみを考慮しているにも関わらず、ダム湖内に堆積したと推定されるSS量の体積は堆砂量とほぼ同値となっているが、表-1に示している9月に調査したダム湖内各調査地点の平均粒径の粒径範囲は $0.007 \text{ mm} - 0.803 \text{ mm}$ と細かく、前述したようにダム湖内に堆砂した土砂のほとんどは浮遊形態でダム湖内へ流送され、粗粒径土砂についてはそのほとんどが、ダム湖上流端に位置する貯砂ダムにおいて堆積したと想定される。このことから推定したダム湖内堆積SS量の値は妥当であると考えられる。なお、推定をより一層裏付けるため、ダム湖内各地点における詳細な粒度別の堆砂量を算出し検討する必要がある。

6. おわりに

沙流川流域における過去最大規模の洪水についての観測結果報告を行った。出水規模が大きかったため、洪水期間全体にわたっての観測を行うことはできなかった。この欠測期間におけるSS成分の挙動を把握するため、洪水時におけるSS成分の挙動特性を考慮し、できる限り本洪水の実測値により算出されたSS負荷量を尊重した方法により、推定を行い洪水期間全体にわたるSSの時間変化を推定した。その結果、ダム湖内において推定堆砂SS量と洪水前後の堆砂測量結果がほぼ一致していたことから、二風谷ダム流域については洪水期間中のSSの収支について、ほぼ再現できたのではないかと考える。しかしながら、このことについては粒度分布・堆砂測量結果を踏まえた精査が必要である。また、河道内についても現在河川縦横断測量結果・粒度分布調査結果を用い、検討する必要がある。

謝辞：洪水観測における現地での作業は福田水文センター、北開水工コンサルタント、野外科学の方々によって行われた。危険を伴う大規模洪水中の作業に対し記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 渡邊康玄，小川長宏：沙流川2001年夏季出水時のSS輸送特性，土木学会北海道支部論文，2002。
- 2) 小川長宏，渡邊康玄：中流域にダム湖が存在する河川における土砂・物質輸送の観測，河川技術論文集，vol. 9，pp.347-352，2003。
- 3) 小川長宏，渡邊康玄：沙流川流域における2003年8月洪水の調査観測，水工学論文集，第48巻，pp955-960，2004。
- 4) 小川長宏，渡邊康玄：沙流川2003年洪水でのSSの挙動，土木学会北海道支部論文，2004
- 5) 国土交通省：川の防災情報，<http://www.river.go.jp/> (2004. 4. 7受付)