

出水時のダム貯水池における濁質観測

OBSERVATION OF TURBIDITY IN A RESERVOIR DURING FLOOD

坊野聡子¹・清水康行²・斎藤大作³・吉田義一⁴・黒木幹男²

Satoko BOUNO, Yasuyuki SHIMIZU, Daisaku SAITOU,
Yoshikazu YOSHIDA and Mikio KUROKI

¹ 学生会員 北海道大学大学院工学研究科 (〒060 札幌市北区北13条西8丁目)

² 正会員 工博 北海道大学大学院工学研究科助教授 (〒001 札幌市北区北13条西8丁目)

³ 正会員 工修 北海道開発局開発土木研究所 (〒062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

⁴ 正会員 北海道開発局河川計画課長 (〒064 札幌市中央区北8条西2丁目)

It is an important subject to understand the flow and sediment transport field in reservoir management works. Continuous measurements of suspended sediment, turbidity, and velocity profiles are conducted at Nibutani Dam during a large scale flood caused by a typhoon in August of 1997. Using the flow and sediment transport data of upstream, downstream and inside of the reservoir, sediment transport budget of the reservoir is investigated. From the sediment quantity and velocity profile data, it is suggested that a turbidity current in the bottom layer of the reservoir was taking place.

Key words: reservoir, turbidity, field measurements, sediment budget, turbidity current.

1 はじめに

一般に大規模なダムが建設された場合、河川の土砂移動が遮断されるため、ダム下流の河川環境が大きく変化することが懸念される。また、貯水池の堆砂問題は貯水池そのものの機能低下はもとより、排砂を行なった場合の下流河川に対する影響が大きいことなどから、できるだけ河川環境への影響が少ない排砂方法の確立も急務となっている。ダム建設による影響を把握するためには、ダム建設後の貯水池およびその上下流の土砂輸送に与える影響を継続的に調査することが重要である。特に、流送土砂の大部分は出水時に発生するため、出水時の観測は極めて重要と考えられる。

北海道の日高山系に源を発し太平洋に注ぐ一級河川の沙流川はその名が示すとおり土砂流出の多い河川として知られている。特に、土砂生産源からの供給成分が細粒分が多いため、出水時には大量の浮遊砂が輸送される河川である。

本研究は沙流川の河口から約21km地点に1996年4月に完成した二風谷ダム(コンクリート重力式の多目的ダム、集水面積1,215km²)を対象とし、貯水池およびその上下流で行なわれた洪水時の流砂量、流速調査、濁

度等の調査結果を報告するものである。対象となる出水は、1997年8月10日～13日に亘る、台風11号くずれの熱帯低気圧とこれに刺激された北海道南部の停滞前線による集中豪雨によるもので、二風谷ダム地点でピーク流入量が約1,800m³/sに達する、極めて大規模な出水である。これは、通常の年の二風谷ダム地点の最大出水が融雪期でせいぜい500m³/s程度であるのに比べて極めて大きな出水と言える。二風谷ダムは通常のダムと異なり、洪水ゲートが土砂を排出可能なように河床付近の低い位置に設置されており、いわば洪水ゲートが土砂吐きを兼ねた構造となっている。1997年8月の出水時には7門の洪水ゲートがすべて開けられ、流量に関しては、出水期間中ほぼ流入量に等しい放流量を保った操作が行われた。本研究の一つの着目点は、流量(水)は流入=放流であったのに対して、はたして土砂はどうであったかという点を明らかにすることである。

なお、観測は、貯水池上流の本川、支川、貯水池上流端の貯砂ダム地点、ダム堤体直上(貯水池下流端)、洪水吐きゲート(ダム直下流)および下流河川における連続採水調査による濁度・SSの連続観測、および出水時貯水池内における浮遊砂濃度および流速分布観測など多岐にわたる。本論文の執筆時点においては観測時点から

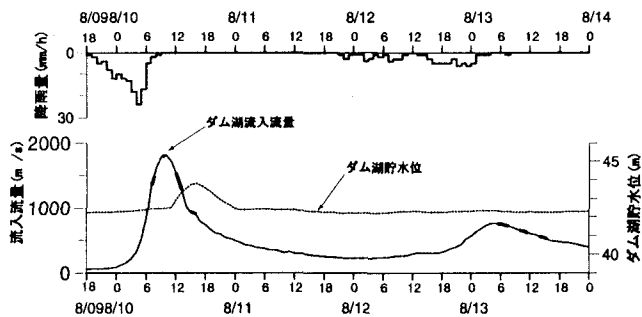


図 1 観測期間中の降雨量, ダム流入流量および貯水位

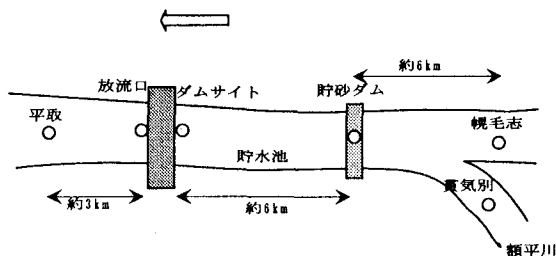


図 2 採水による濁度・SS の観測地点配置図

僅かな時間しか経過していないためデータの吟味や解析が必ずしも十分でない部分もあるが、観測結果の速報性ということも考慮し、敢えて発表を行なうものである。

2 濁度と SS の定点観測結果

二風谷ダムは 1996 年 4 月に完成し、完成の翌年の 1997 年 8 月に既往最大クラスの出水に見舞われた。この時の降雨、流量およびダム貯水位を図-1 に示す。ここで、降雨量はダム流域の流域平均降雨量、流量は貯水

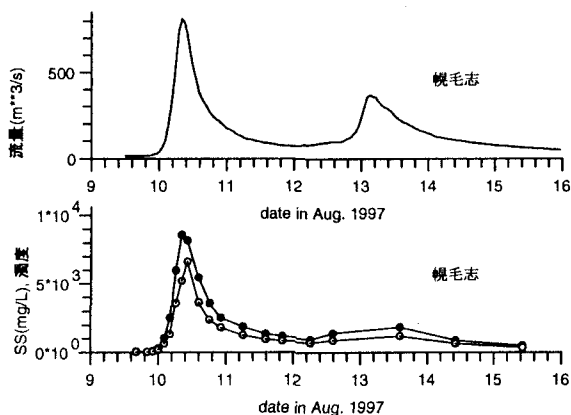


図 3 幌毛志地点における濁度, SS と流量の観測結果

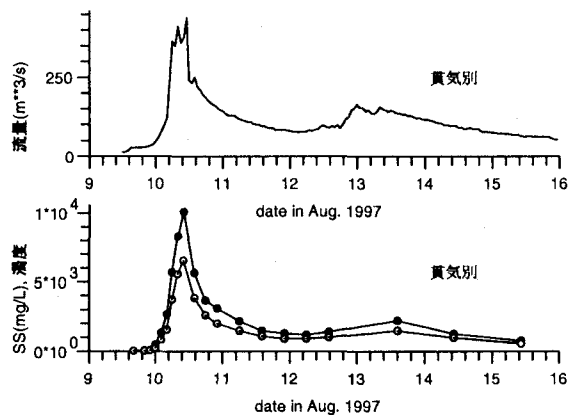


図 4 貫気別地点における濁度, SS と流量の観測結果

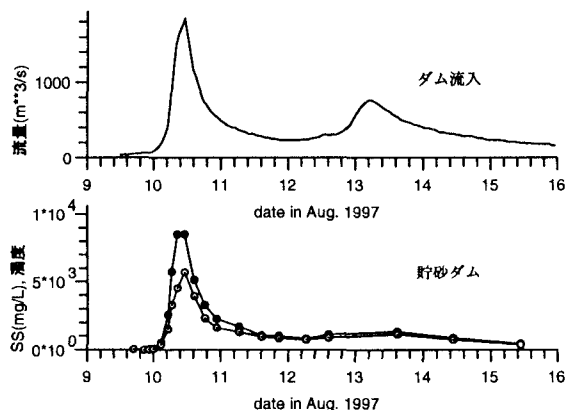


図 5 貯砂ダム越流部における濁度, SS とダム流入流量の観測結果

池の総流入流量である。降雨量はピークで 25mm/h、降り始めからの累加でも 135mm であり降雨規模としてはそれほど大きくはないが、この地方は 8 月の初めから停滞前線の影響で断続的な降雨が続いていたため、流入流量はダム流入量としては既往最大となり、ピーク時で $1,800\text{m}^3/\text{s}$ にも達している。

この出水期間中に図-2 に示す 6 地点において、連続採水が行われた。また、図-1 で流入量ハイドログラフの線が太く表示されている時間帯においては、貯水池内で流速分布および採水による濃度分布の観測が行なわれた。

上記の 6 地点において行われた濁度・SS の観測結果を、各地点の流量とともに図-3~図-7 に示す。ここで、白丸 (○) は濁度、黒丸 (●) は SS (mg/L) であり流量データで貯砂ダム地点の濁度・SS に併記されているものはダム流入流量であり、ダムサイトおよび放流口地点に併記されているのは全放流量である。SS・濁度データで、ダムサイト地点のものは堤体直上流の貯水池で上層・中層・下層の 3 点で採水された試料の平均値、貯砂ダム地点の

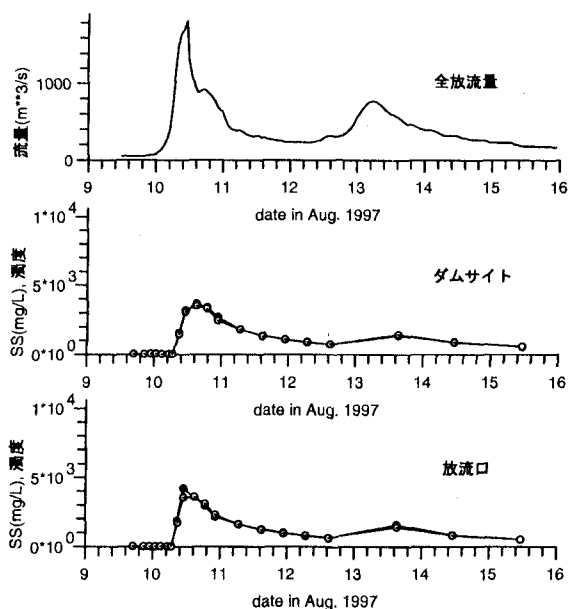


図6 ダムサイト(堤体直上流)および放流口における濁度, SS と全放流流量の観測結果

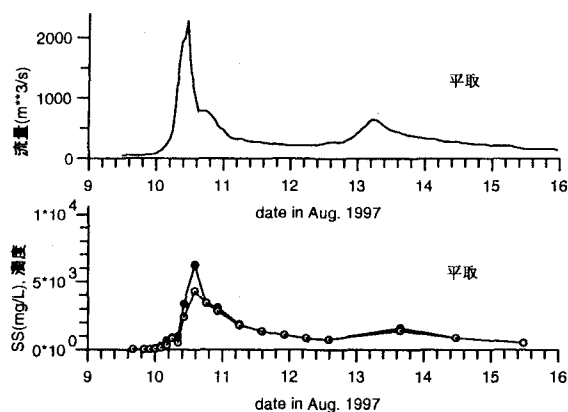


図7 平取地点における濁度, SS と流量の観測結果

ものは貯砂ダム越流部の表面付近のデータであり他の地点のものは表面から2割水深のものである。濁度データは全て濁度計の表示値である。いずれの地点においてもSSと濁度はほぼ一致しているが、SSが5000mg/ℓを超えるような高濃度時には濁度の値がSSの値を若干下回る傾向が見られる。採水→分析によるSSの値と濁度計による濁度の関係を今回の全データに関して相関を示したのが図-8である。図中の実線は濁度=SSの線であり、全体的にSSの値が濁度の値を上回る傾向が見られるが、相関は非常に良い。

各地点の流量およびSSの値から、次式を用いて流砂量の推定を行なう。

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

ただし、 Q_s は流砂量 (m^3/s)、 Q は流量 (m^3/s)、 S は

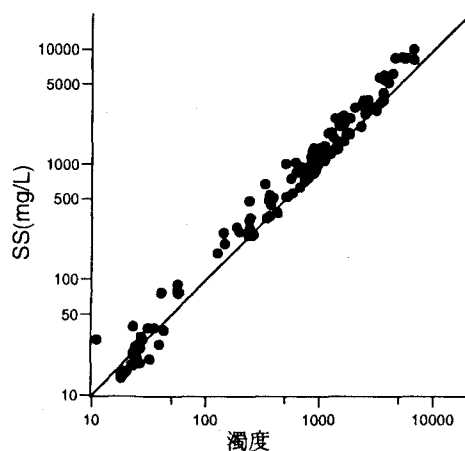


図8 定点観測全データによる濁度とSSの相関

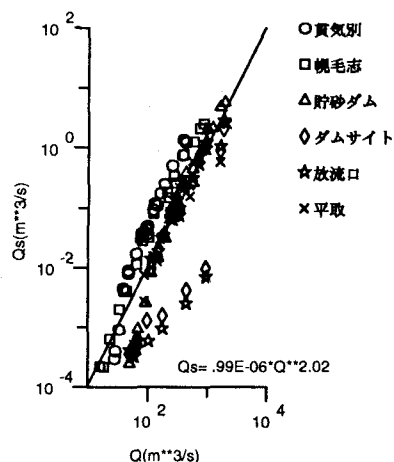


図9 定点観測全データによる流量と流砂量の関係

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、流量との関係を示したのが図-9である。図-9は地点毎に異なった記号で示してあるが、ダムサイトと放流口のグループとこれ以外のグループで異なった傾向が見られる。ちなみに、ダムサイトと放流口のデータを除いたデータに関して指数式で最小自乗式をあてはめると

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

となり、全国河川のWash Loadの推定式¹⁾の範囲に入っていることが分かる。これからも、今回の観測データは大部分がWash Loadであると思われる。

図-9の流量と流砂量の関係を時間的な変化も含め

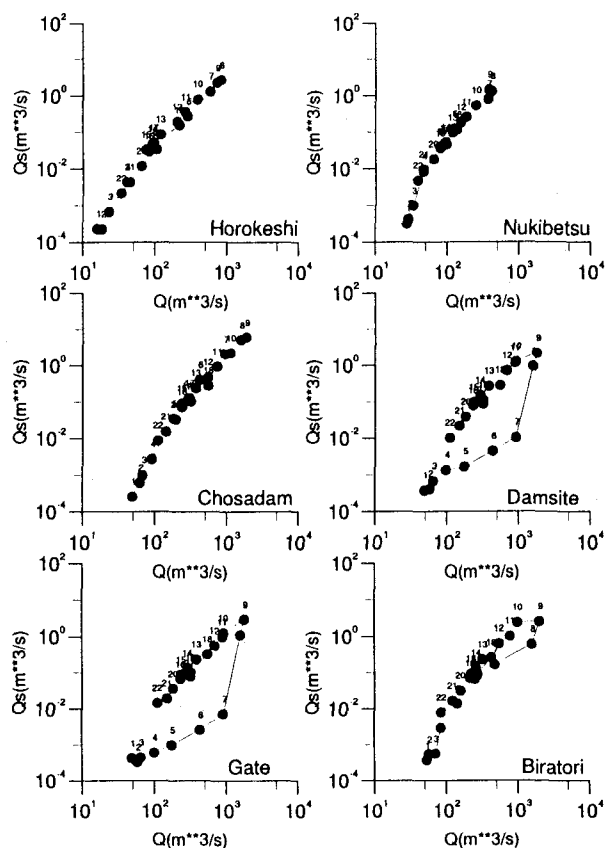


図 10 各定点観測地点における流量と流砂量の関係

て詳しくみるために、各観測地点別に流量と流砂量の間係を示したのが図-10である。ここで各図の図中の数字は図-3~7で白丸および黒丸で示した採水時間に対応し、番号の若い順に採水が行われた時点であることを示し、いずれも9番のデータが8月10日の流量ピーク時のものである。貯水池より上流の幌毛志、貫気別および貯砂ダム地点では、流量と流砂量はほぼ一価関係にあり、一般に言われているような濁質のピークが流量のピークに先行して現れるような現象は見られない。貯水池下流端のダムサイト地点では、上昇期(1~7)には流量の上昇に対して流砂量の上昇は遅れているが、下降期には他の地点とほぼ同じ流量-流砂量の関係に一致

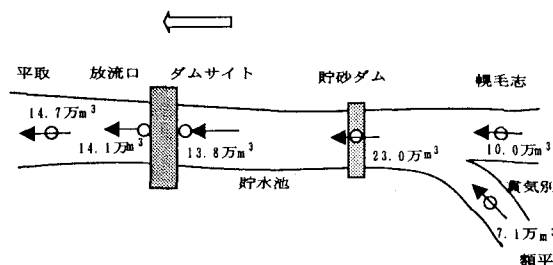


図 11 1997年8月9日12:00~15日12:00の各地点の通過土砂量

する傾向となっている。これは、出水期間中、ほぼ流入=放流のダム操作が行なわれたにも関わらず、貯水池に流入する濁質が貯水池末端に届くのにある程度時間を要したためと考えられる。放流口における流砂量もダムサイトとほぼ同じ変化を示しており、排砂ゲートを兼ねた放流水門が貯水池下流端の濁質をほぼ完全に放流していたと思われる。また、ダムサイトから約3km下流の平取地点まで来ると、この流砂量が遅れる傾向は殆ど消えており、貯水池上流のような一価関係に近い形となっている。

各地点で推定された流砂量を図-3~7に示した期間で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-11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今回の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 貯水池内の濁度・SS および流速分布の観測結果

出水中の貯水池内において、流心付近を縦断方向に船で移動しながらSS、濁度および流速分布の観測を行なった。SSの観測はMTS式²⁾の採水装置で深さ方向に3~5点、各点約1ℓの採水を行うことにより行われ、濁度は採取した濁水に対して濁度計でおこなった。また、採取した資料に対して、光透過式粒度分析器で粒度分析をおこなった。流速の観測は、8月10日の観測ではADCP(RD Instrument社製、1200Hz)を用いて行なったが信頼性のあるデータは得られなかった。これは、流水の濁度があまりにも高かったためか、もしくは貯水池底面が流動状態であったために安定した反射波が得られなかったことによると考えられる。8月13日の観測では、3次元の電磁流速計(アレック社)により行なったが、電磁流速計は高濁度にもかかわらず安定した計測が可能であった。なお、船による観測においては、両日ともに出水の上昇期は夜間であったことと、大量の流木等の流下物に阻まれ非常に危険であったため、時間・空間

ダムサイトから上流へ向った距離

X=4.4km X=4.0km X=3.6km X=3.2km X=2.4km X=1.6km X=0.8km

SS(mg/l), 濁度 SS(mg/l), 濁度 SS(mg/l), 濁度 SS(mg/l), 濁度 SS(mg/l), 濁度 SS(mg/l), 濁度 SS(mg/l), 濁度

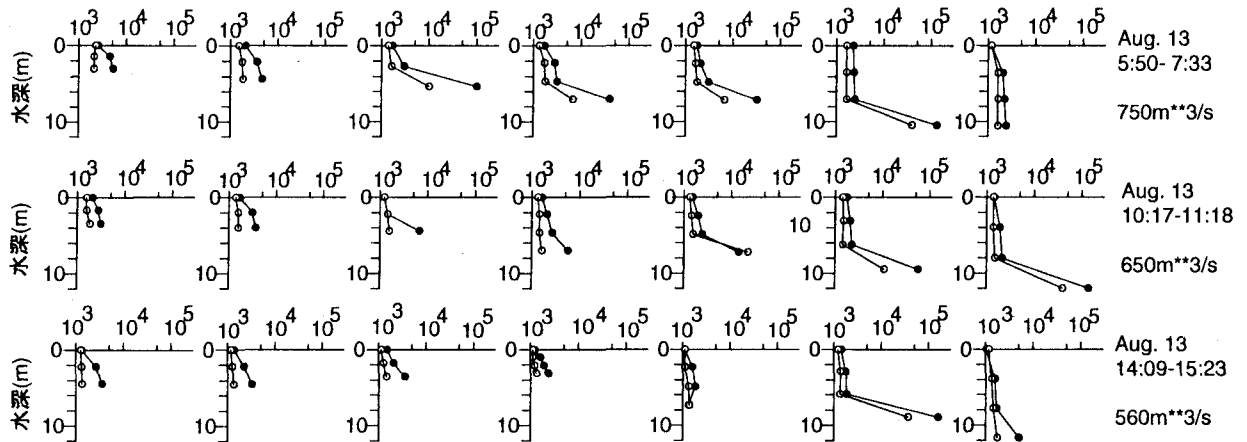


図-12 貯水池内のSSと濁度の観測結果(1997年8月13日) [○=濁度, ●=SS]

ダムサイトから上流へ向かった距離

X=4.4km X=4.0km X=3.6km X=3.2km X=2.4km X=1.6km X=0.8km

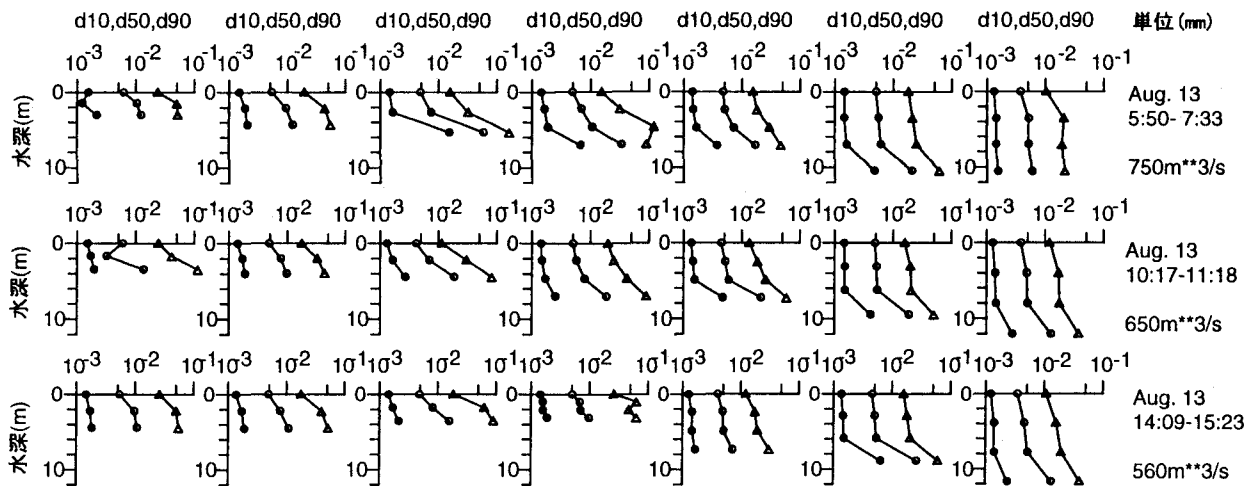


図-13 貯水池濁質の粒度分析結果(1997年8月13日) [●=d₁₀, ○=d₅₀, △=d₉₀]

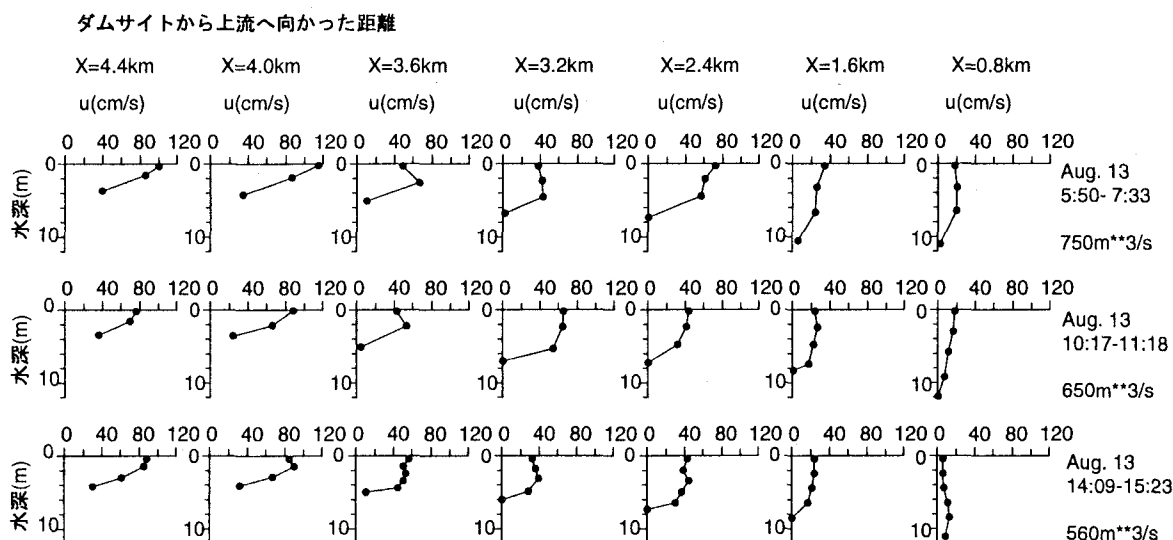


図-14 貯水池内の流速分布の観測結果 (1997年8月13日)

的に連続的な観測は出水の下降期のみとなった。

観測データのうち8月13日の貯水池内のSS・濁度分布、採取資料の粒度分布および流速分布の観測結果をそれぞれ図-12、図-13および図-14に示す。各図の横の列は一連の観測結果であり、観測時間および観測時間中の平均貯水池流入流量と共に示してある。また縦の列は観測地点を示し、各図の上部に示すXの値はダムサイトから上流へ向かった距離である。即ち、左から右へ向って上流から下流の順に並べられている。各図の縦軸は観測時点の水深であり、図-12の横軸はSSまたは濁度を表わし、黒丸(●)はSS(mg/l)、白丸(○)は濁度である。濁度とSSの関係は前記の定点観測の場合と同様、高い値ではSSの値が濁度の値を上回る傾向が見られるが、全体的にはほぼ一致した傾向となっている。

図-13の横軸は採取資料の粒径であり、白丸(○)は d_{10} (10%粒径)、黒丸(●)は d_{50} (50%粒径)、三角(△)は d_{90} (90%粒径)である。

図-12は濁度・SSの分布であるが、上流では濃度分布が深さ方向に比較的一様に近い形となっているのに対して、下流に行くに従って河床付近が極端に高濃度となっている。粒径は水面付近に比べ河床付近が1オーダー程度大きな値となっており、河床に近づくほど、高密度の流れが発生していると思われる。

図-14の流速分布は図-12、13の採水と同時に観測されたものであるが、流速分布は貯水池の上流部では表面が速く、下流に行くに従って深さ方向に一様化する傾向が見られる。

4 おわりに

本研究では北海道の沙流川に1996年4月に建設された二風谷ダムにおいて1997年8月に発生した既往最大クラス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結果の報告を行なった。洪水期間を通じて時間・空間的に連続的な採水調査を行なうことにより、出水中の貯水池の土砂収支を明らかにすることが出来た。また、船による貯水池内の移動観測により、出水中の貯水池内のSS、濁度、浮遊物質の粒度分布および流速などの極めて貴重なデータを採取することが出来た。以上のデータは今後のダム貯水池内の流れや土砂の流動・堆積などの研究に対して非常に貴重なデータとなることを確信する。

謝辞: 本研究は、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) 建設省河川局: 改訂河川砂防技術基準(案), 調査編, 第12章, pp.303-324, 1978.
- 2) 長谷川和義, 道口敏幸, 柿崎恒美, 大串弘哉: 石狩川における乱流と浮遊砂の同時計測, 土木学会北海道支部論文報告集第47号, pp.347-352, 1991.

(1997.9.30受付)