

ダム貯水池での濁水濁水現象と貯砂ダムによる 対策効果について

TURBIDITY PHENOMENA AT LOW WATER LEVEL PERIOD AND EFFECTIVITY OF COUNTERMEASURE BY SEDIMENT STORAGE DAMS

堀田哲夫¹・金内剛²・東海林光³

Tetsuo HOTTA, Tsuyoshi KANAUCHI, Hikaru SHOJI

¹正会員 工学 (株)建設技術研究所 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町 4-9-11)

²正会員 工学 国土交通省東北地方整備局 津軽ダム工事事務所 (〒036-1411 青森県中津軽郡西目屋村大字田代字神田 57)

³正会員 工修 (株)建設技術研究所 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町 4-9-11)

Deposition of fine sediments is usually found at the upstream end of reservoirs. These fine sediments easily resuspend, when water level of reservoir is low and the inflow velocity is high, causing turbidity phenomena. This is called "turbidity phenomena at low water level period".

Using data of Meya reservoir in Aomori prefecture, where turbidity phenomena at low water level period is concerned, we present a numerical model reproducing this phenomena. Then using this model and 2 dimensional reservoir model, we estimated the reduction of this phenomenon by sediment storage dams, built at the upstream end of reservoirs.

Key Words: turbidity phenomena at low water level period, sediment storage dams, resuspension

1. はじめに

貯水位の低下が頻繁に起こり易いダム貯水池の一部では、洪水による長期濁水化現象に加え小出水等による濁水濁水現象の発生が認識されている。

従来、回転率の大きいダムでは、湖水が速やかに入れ替わるため、濁水濁水現象の影響は小さいと考えられていた。しかし、本論文の対象フィールドである目屋ダムのように、比較的回転率の大きなダム（常満容量：約 15 回/年、制限容量：約 34 回/年）でも、濁水濁水現象が報告されており、その対応策が課題となっている。

近年は、水系一貫土砂管理の重要性から、堆砂・排砂対策として貯水池末端への貯砂ダムの設置が図られてきており、景観面や湖面利用等の副次的な効果も期待されている¹⁾。また、この貯砂ダムの水面確保機能は、貯水位低下に伴う堆積濁質の露出を防ぎ、濁水濁水現象発生の軽減に寄与するものと考えられる。

小暮ら²⁾は四十四田ダムにおいてこの現象に着目し、室内実験と現地データから堆積物の洗掘過程のモデル化を試みている。また、瀧本ら³⁾は有効貯水容量内の堆

砂を貯水位低下時の掃流力を用いて、堆砂容量内へ運搬するシミュレーションモデルを作成し、河床形状の変化を再現している。一方、楠田ら⁴⁾は、沿岸域におけるシルテーションに着目し、底泥の巻き上げ実験を行っている。しかし、これらの研究はダム放流水の長期濁水化現象の再現あるいは、予測を目的としたものではない。そこで、本論文では、図-1 に示す青森県岩木川上流の濁水濁水現象が懸案となっている目屋ダムをフィールドとして、濁水濁水現象の発生モデルを構築した。また、貯水池 1 次元多層モデルと組み合わせて貯水池内及び放流水の濁水現象再現モデルを構築し、貯砂ダムによる濁水濁水現象の軽減効果について検討した。



図-1 目屋ダム平面図

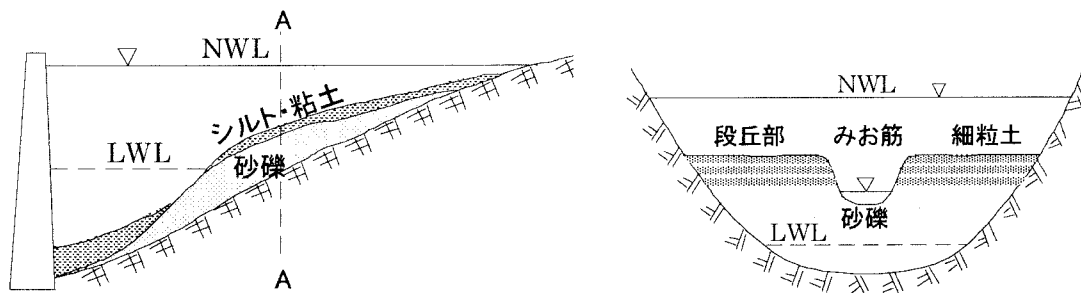


図-2 貯水池流入端の濁質堆積状況（模式図）

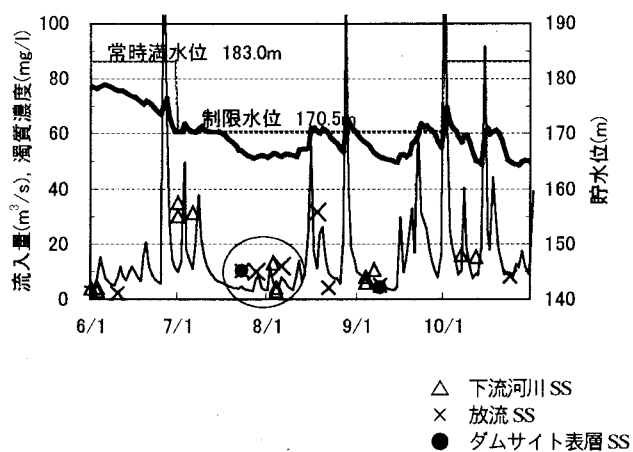


図-3 貯水位，流入量，SS時系列変化（平成10年）

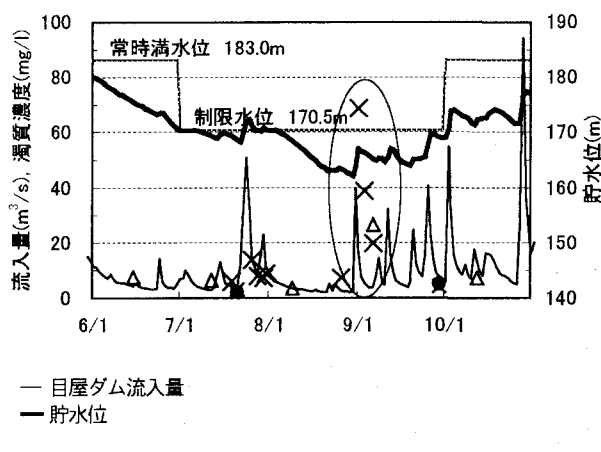


図-4 貯水位，流入量，SS時系列変化（平成11年）

2. 濁水濁水現象の発生機構及び、発生状況

(1) 濁水濁水現象の発生機構

濁水濁水現象の発生は、他ダムでも報告されており、その発生機構は次のように説明される。

流域の地質が脆弱で荒廃し、出水時の流入河川の流送濁質が細かく、濁水化が激しいダム貯水池では、流入したシルト・粘土等の微細濁質成分が、湖内広範囲に沈降堆積する。

一般に出水後は、貯水位がかなり高い状態となるため、その範囲は図-2 に示すように貯水池流入端まで及び、上流部分では、微細濁質成分が主に段丘部に堆積する。

目屋ダムのように、貯水池流入端の河床勾配が比較的緩やかな貯水池では、貯水位低下時に露出する段丘部の面積が大きくなる。濁水濁水とは、この露出した堆積濁質が貯水位低下時に浸食等の外力を受け湖内に流入し、貯水池の長期濁水化を引き起こす現象であり、発生原因として次の3つのような機構が考えられる。

a) 流入水による浸食・崩壊

貯水位の低下により露出段丘部が長くなり、小出水等による流入水の増加に伴い段丘側岸が長い区間にわたって浸食される。これが段丘の崩壊を招き、流入水の濁水化が生じる。

b) 段丘部からの濁質流出

小出水時には、上記 a) の浸食・崩壊が増大するのみならず、段丘上部からの雨水流出にともなうガリ浸食等も加わり、濁水化する。

c) のり面の崩壊

貯水位が急激に低下するとおり面が不安定となり、自然滑落が生じ、濁水化する。

(2) 濁水濁水現象の発生状況

図-3, 4 は平成10年，平成11年の貯水位，流入量，SSの各時系列変化図である。観測回数が少ないものの、貯水位が低下していた期間に貯水池及び下流各地点が濁っている様子が分かる（図中の丸）。また、現場でのヒアリングでは、これらの状況が常時起っているとのことである。

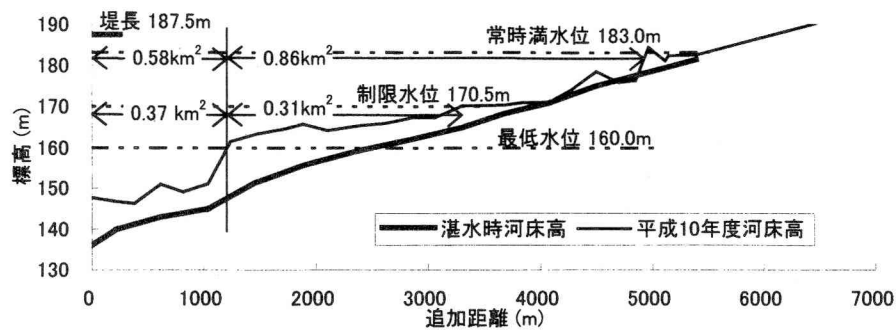


図-5 河床縦断面図

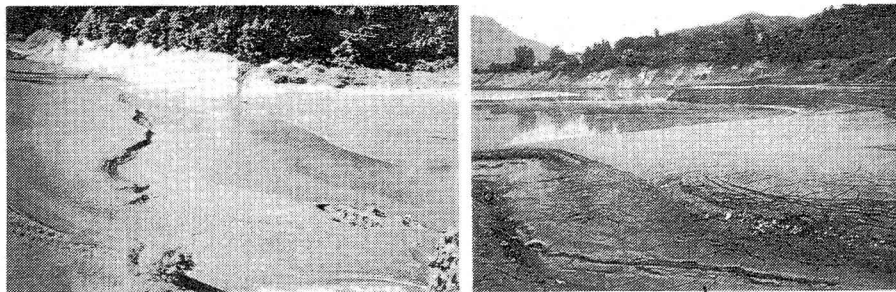


写真-1 貯水池流入端の堆積物の状況

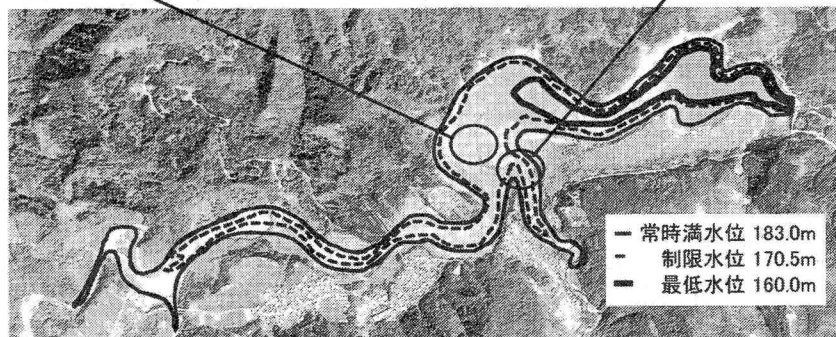


写真-2 目屋ダム航空写真

図-5 は目屋ダム貯水池の河床縦断面図であるが、制限水位から最低水位にかけて河床が特に緩やかになっており、顕著な土砂の堆積が見られる。また、最低水位時に露出する地点より上流側の水面積は、制限水位時、常時満水位時でそれぞれ全体の約5割及び6割とかなり大きい。

写真-1 は目屋ダム貯水池流入端の堆積物の状況である。また、写真-2 は目屋ダムの航空写真である。これらの写真から、貯水池流入端に微細堆積物が多く存在している様子がわかる。

3. 濁水現象のモデル化

(1) モデルの概要

濁水モデルでは、貯水池への流入濁質を発生源別に2つに分けてモデル化した。

濁水濁水現象の要因は、前述の a)～c) が考えられるが、目屋ダムでは急激な水位低下はなく、平常時ののり

面崩壊は認知されていないことから要因 a), b) が支配的であると考ええる。また、濁水濁水現象では、雨水による流量増にともなって濁質の発生量が増加することから、その発生量は、小暮ら²⁾、海田ら⁵⁾と同様に次式に示す巻き上げの式を用いて表現することとした。

$$q_s = q_c \left(\frac{\tau}{\tau_y} - 1 \right)^m \quad (1)$$

ここに、 q_s は単位面積・単位時間当たりの巻き上がり量 ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)、 q_c は q_s と同じ次元を持つ定数 ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)、 m は無次元定数、 τ_y は限界掃流力 (N/m^2) である。 $\tau (\text{N/m}^2)$ は掃流力であり、1次元不等流計算よりもとめる。

堆積域はフラットであることから、各断面の巻き上げ有効面積は水位によらず一定とし、これと q_s の積を合計して総巻き上がり量を算出した。その際、各断面の粒径別濁質収支（巻き上げ、沈降）を考慮する。すなわち、堆積量が0の粒径は、巻き上がらない。

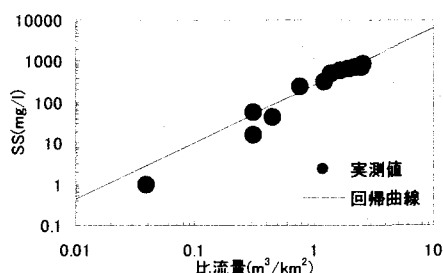


図-6 流入量と流入SS濃度の関係

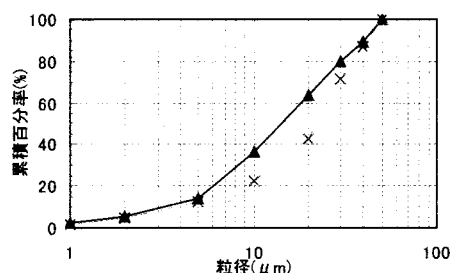


図-7 濁質の粒度分布

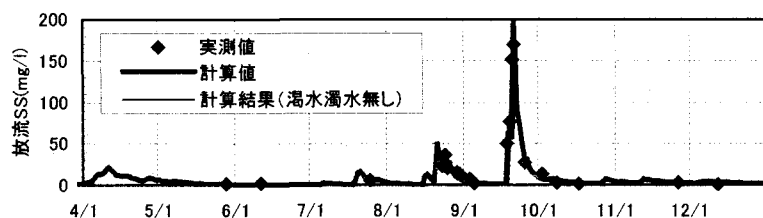


図-8 平成2年再現結果

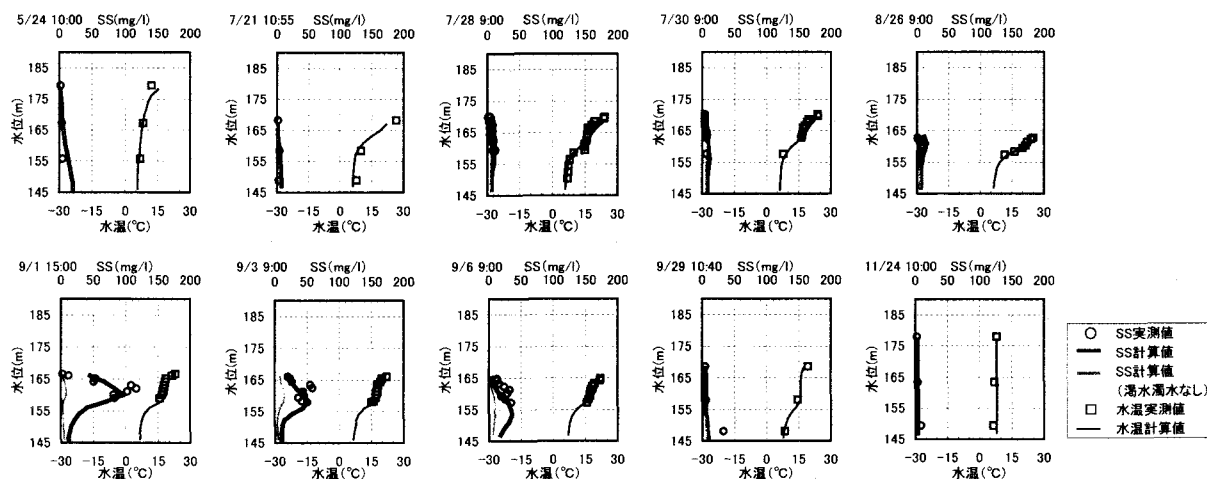


図-9 平成11年貯水池内再現結果

一方、流域からの濁質流入量は図-6 の関係から流量より推定し、これに濁水濁水による寄与分を加えて湖内への流入条件を作成した。湖内の計算には、通常の1次元多層モデルを用いた⁶⁾。

(2) 計算条件

式(1)には、堆積物の巻き上げに関する定数が3つ(q_c , τ_y , m)ある。これらのうち、 q_c 及び τ_y は堆積物に固有の定数と考えられ、実験等から求めることは困難である。そこで、不攪乱資料を用いた一方向流下の実験結果⁴⁾を参考に q_c , τ_y のオーダーを 10^{-4} , 10^0 と仮定し、試行計算によりそれぞれを決定した。一方、 m は既往の研究からおおよそ2程度の値であることが知られており⁷⁾、本計算でも2を用いた。巻き上げの発生範囲は、顕著な堆積が見られる夏季制限水位 (E.L.170.5m) 以下とした。

濁質の粒度分布は図-7 に示す出水時調査結果をもとに、0~2 μ m; 4% (代表粒径 1 μ m), 2~5 μ m (代表粒径 2.5 μ m); 10%, 5~10 μ m (代表粒径 5 μ m); 16%,

10 μ m 以上 (代表粒径 20 μ m); 70%なる粒度分布を与え、洪水の規模等によらないものとしている。ただし、巻き上げに関しては、前述の通り粒径別の濁質収支を考慮しているため、ある粒径が不足した場合、この粒度分布は変化する。

沈降速度は、ストークス式により与えることとし、初期堆積量は0とした。

(3) 再現結果

再現計算では、まず洪水濁水現象が支配的であった平成2年について計算を行い、洪水濁水が再現できることを確認した。再現結果 (ここでは、スペースの関係上放流水のみ示す) は、図-8 のとおりである。なお、図には濁水濁水現象が生起しないとした場合の計算結果も示してある。次に、濁水濁水現象がとらえられている平成11年を対象とした再現計算を図-9、図-10に示す。

これらより、計算値は実測値を概ね再現できていることがわかる。特に、濁水濁水が生起しないとして計算した場合、9月2日の放流SS濃度の計算値が12mg/lで

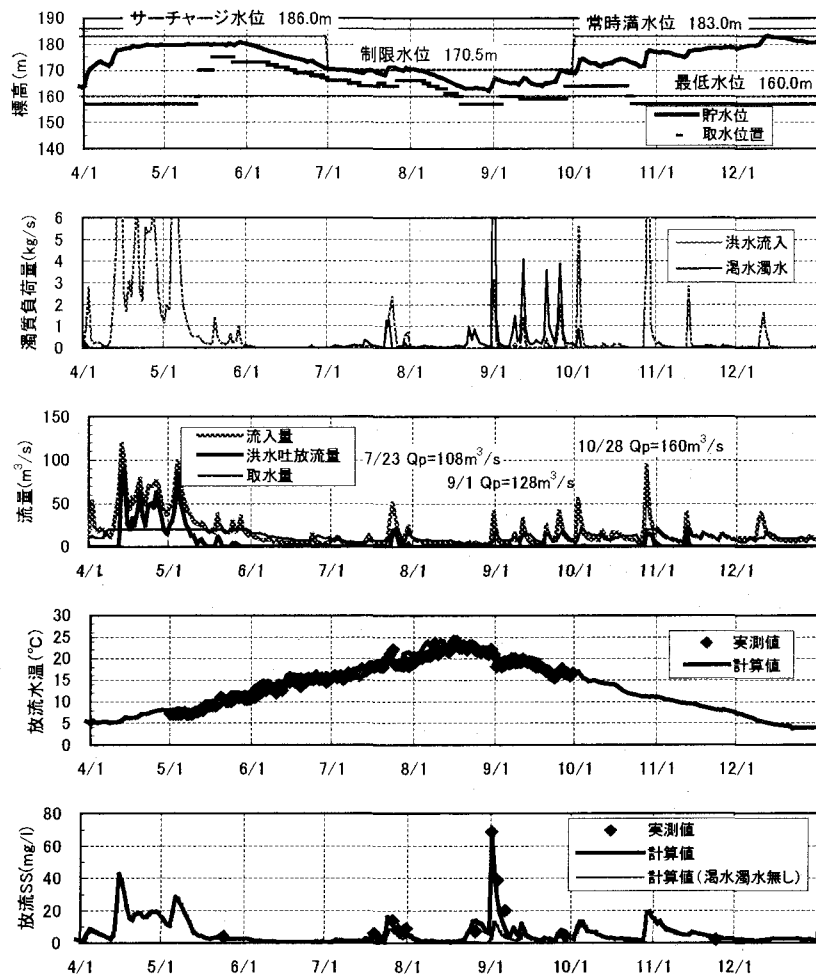


図-10 平成 11 年放流水再現結果

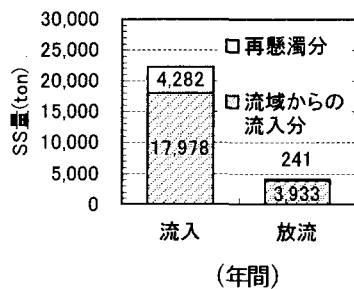
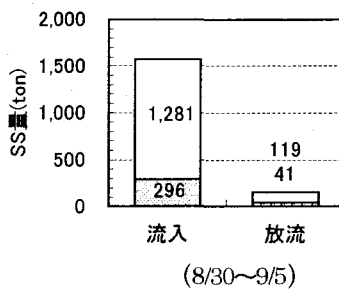


図-11 平成 11 年濁質収支



(8/30~9/5)

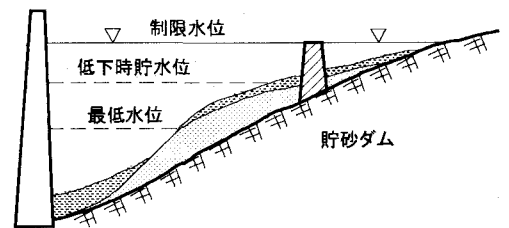


図-12 貯砂ダムの概念図

あるのに対し、濁水濁水が生起するとして行った計算では、 68mg/l となっており、現象を良く再現している。

このように、目屋ダムでは、濁水濁水現象による堆積物の再懸濁が、放流水の濁水化に大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。

図-11 は、平成 11 年の流域からの流入濁質、濁水濁水現象によって再懸濁した濁質、貯水池外へ放流された濁質それぞれの総量を示したものである。これより、平成 11 年の再懸濁量は貯水池内に捕捉された濁質量のほぼ 3 分の 1 であったと推測される。また、濁水濁水現象が顕著であった 8/30~9/5 では、再懸濁量が流域から流入した濁質の約 4 倍に達している。

4. 貯砂ダムによる濁水濁水現象軽減効果

貯砂ダムは、一般に流入土砂対策として設置される。しかし、図-12 に示すような貯砂ダムを設置すれば、貯水位低下時でも流入端の水位を常時満水位付近に維持することができ、河床の露出が防止される。

ここでは、平成 11 年を対象に、目屋ダムに貯砂ダムを設置した場合の効果を試算し、その効果を示す。

貯砂ダムの設置標高は地形を考慮して E.L.165m とし、ダム高は 5.5m とした。貯砂ダムの位置は、図-1 に示すとおりである。

貯砂ダムより上流は、常に水位 170.5m が維持される

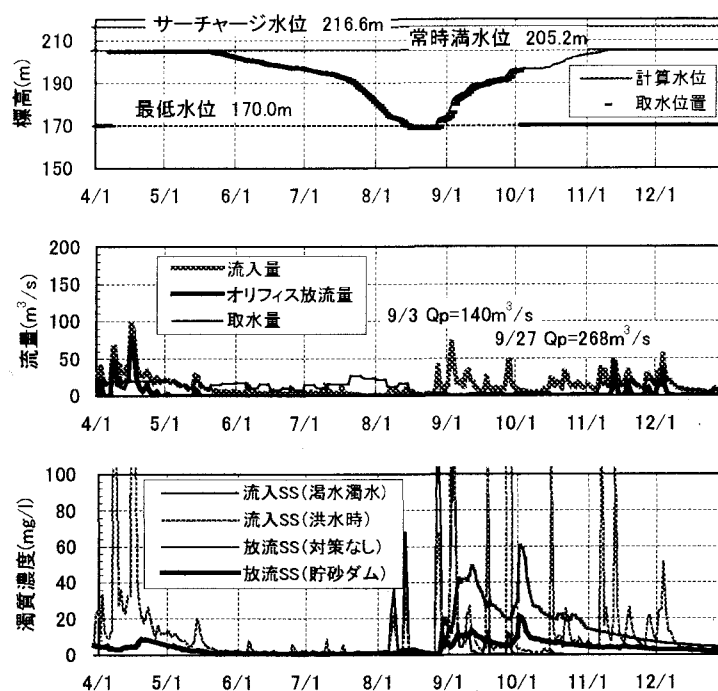


図-13 津軽ダム予測結果（平成元年）

ため、濁水濁水現象は貯砂ダムより下流でのみ発生するとして計算を行った。

このようにして得られた計算結果から、放流水の濁水長期化日数（流入水の濁質濃度が基準値を下回り、放流水の濁質濃度が基準値を上回る日数）を求めると、放流SSの基準値を 10mg/l とした場合15日が12日に短縮された。

次に、目屋ダムを嵩上げして計画されている津軽ダムを対象に、濁水年である平成元年の流況を用いて、貯砂ダム（常満維持、ダム高14.5m）の効果を予測した。ただし、津軽ダムはオールサーチャージ方式であるため、濁水年を除いて水位はあまり低下しない。そこで、濁質は十分堆積しているものとした。結果は図-13 のようであり、貯砂ダムの効果はかなり大きい結果となった。

5. おわりに

本論文では、1次元モデルを構築し、濁水濁水現象の再現を試みた。その結果、貯水位低下時の濁水濁水現象を概ね再現することができた。また、平成11年の濁質収支を求め、捕捉された濁質量の約3分の1が再懸濁していたことを推測した。次に、貯砂ダムを設置した場合の予測を行い、貯砂ダムが濁水濁水現象の軽減に効果的であることを示した。予測計算では、河床からの濁質供給量が十分あるものとしたが、津軽ダムのように、水位低下頻度が低く、濁質の蓄積が数年のスパンをもって生じるダム貯水池では、ある程度長期間の計算を行い、濁質の蓄積量を求める必要があると考えられる。

また、微細堆積物の蓄積には、堆砂形状の影響が大

きいものと考えられ、今後はこれらを一体として扱うことが課題である。

最後に、本論文の作成にあたり、貴重な資料をご提供いただいた国土交通省東北地方整備局津軽ダム工事事務所の関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 建設省河川局開発課，建設省土木研究所ダム部水工水資源研究室，建設省各地方建設局河川部河川管理課，北海道開発庁北海道開発局建設部河川管理課，沖縄開発庁沖縄総合事務局開発建設部河川課，水資源開発公団管理部管理企画課：ダム貯水池の土砂管理に関する研究，土木技術資料，42-4，pp.34-39，2000。
- 2) 小暮和史，首藤伸夫：貯水池における濁度物質の堆積と洗掘，第24回水理講演会論文集，pp.265-270，1980。
- 3) 瀧本純也，大西真弘，池口幸宏：佐久間貯水池における湖内掃砂シミュレーション，電力土木，No.245，pp.20-29，1993。
- 4) 楠田哲也，山西博幸，吉見博之，二渡了：攪乱・不攪乱底泥の巻き上げ特性に関する実験的研究，海岸工学論文集，第36巻，pp.314-323，1989。
- 5) 海田輝之，楠田哲也，二渡了，栗谷陽一：柔らかい底泥の巻き上げ過程に関する研究，土木学会論文集，第393号/II-9，pp.33-42，1988。
- 6) 松尾直樹，山田正人，宗宮功：貯水池上流端における流動特性と淡水赤潮現象との関係，水工論文集，第40巻，pp.575-581，1996。
- 7) 佐藤敦久：水環境工学，技報堂出版，1987。

（2001.4.16 受付）