

天川ダム設置に起因する濁水長期化に関する調査及び検討について

上村 一真

滋賀県 高島土木事務所 河川砂防課（〒520-1621滋賀県高島市今津町今津1758）

滋賀県高島市今津町に位置する1級河川天川では、ダム設置により、下流部において濁水長期化という問題が生じている。そこでまず、水質（濁度）調査や流域土壌調査を実施し、現状を整理・分析した。次に、流域全体を、ダム上流域・ダム貯水池・下流河川部に分け、それぞれについて水質（濁度）予測モデルを構築した。そして、3つのモデルを統合することで、流域全体における予測モデルとして一元化し、濁水の流出解析をおこなった。

本モデルにより、発生源対策を含めた、各種対策による効果を予測でき、流域全体における効果的な濁水対策の検討が可能となる。

キーワード 濁水長期化，流出解析，分布型モデル，ボックスモデル，負荷収支型モデル

1. はじめに

対象流域である天川は、流域面積が7.27km²，そのうち、天川ダム上流域が5.18km²，下流域が2.09km²であり、流域の約90%を陸上自衛隊饗庭野演習場が占めている。流域図を図1に示す。

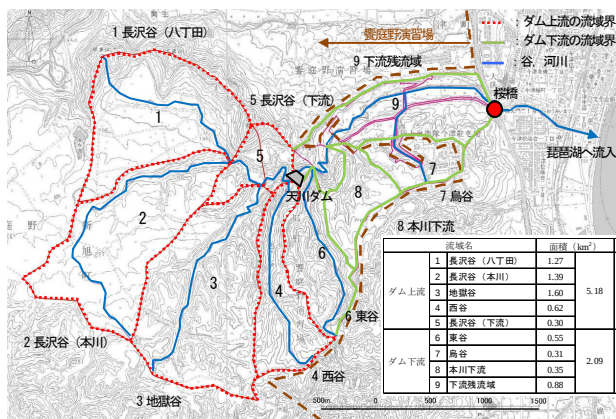


図1 天川流域図

天川ダムは、演習場内に設置されている重力式コンクリートダムで、洪水流出および土砂流出の防止など、治水対策を目的に、演習場周辺における障害防止対策事業の一環として整備され、2006年（平成18年）4月より供用を開始しているところである。

ダムにより、治水上一定の効果を発揮している一方で、下流部においては、降雨等による濁水発生期間が、従前と比較して長期化するという問題が生じており、地元区

及び漁業関係者より、対策の早期実施を要望されている。

今回、流域内における濁水の発生源や土砂の流出特性を把握・分析し、演習場内での発生源対策を含めた流域全体における濁水対策を立案するため、水質（濁度）調査や流域土壌調査を実施し、流域全体を対象とした水質（濁度）予測モデルを構築した。

2. 濁水長期化とは¹⁾

通常、降雨等によって生じた自然河川の濁りは、長くても数日程度で回復する。しかし、ダム貯水池では、流入した濁水を貯留することから、出水後も長期間濁水が放流されることがある。これを、濁水長期化という。濁水長期化のイメージを図2に示す。

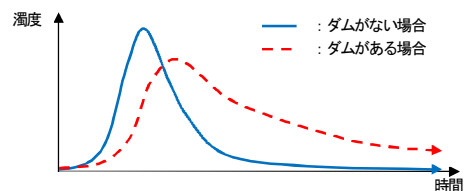


図2 濁水長期化のイメージ

(1) 濁水の発生要因

濁水の発生要因としては、主に、以下に示す2つの要因が挙げられる。

a) 洪水濁水

出水による土壌等の浸食で、山腹の崩壊や、流域の荒廃及び裸地の存在によって発生する。

b) 濁水濁水

濁水時に、貯水位低下に伴って、貯水池末端の堆積土砂が露出し、流入水がこれを洗い流すことによって発生する。

(2) 濁水長期化の発生要因

ダム貯水池から放流される濁水が長期化しやすい要因としては、濁質自体の沈降のしにくさと、貯水池内の水の入れ替わりにくさが考えられる。（図3）

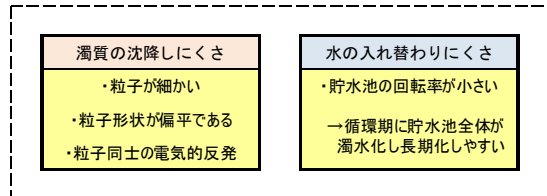


図3 濁水長期化の要因

一般に、細かい粒子や扁平状の粒子は沈降しにくい。単一球状粒子の沈降速度を表すストークス式（Stokes式）でみると、粘土と同程度の粒径（ $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ ）では、1日あたりの沈降速度は、約8cm~200cmであり、粒子が細かいほど、極端に沈降速度が遅くなる。

(3) 濁水長期化による影響

濁水長期化によって、生態系や水産資源、農業用水や上水処理、景観阻害による観光産業への影響が考えられるが、具体的な障害を定量化して表すことは、一般に困難である。

(4) 濁水対策の事例

ダム整備に関連する濁水対策について、主な事例を収集整理すると、表1のとおりとなる。

表1 濁水対策事例一覧

事 例	概 要	対 策
早明浦ダム (高知県)	出水後や濁水期に長時間にわたって、ダムから濁水が放流され、河川景観の悪化などが懸念。	・選択取水設備の改善 ・グリーンベルト事業 (貯水池法面保全整備)
一ツ瀬ダム (宮崎県)	降雨や貯水池内の冬期対流により、下流河川での濁水が長期化。2005年には、約8ヶ月にわたり濁水が長期化。	・選択取水設備の設置 ・濁水制御閘の設置 ・非常用放流設備の改造
川治ダム (栃木県)	ダム湖岸の裸地化や湖水の白濁化が長期化することで景観が悪化し、地域住民が観光産業への悪影響を懸念。	・濁水拡散防止フェンスの設置 ・選択取水設備への改造
浦山ダム (埼玉県)	洪水に含まれる泥などの濁質が非常に小さいため沈降しにくく、貯水池の濁水長期化が問題。	・清水バイパスによる濁水の早期放流
真名川ダム (福井県)	度重なる出水に伴い、高濁度水の流入による貯水池および下流河川の濁水長期化現象が顕著となり、河川利用者等からの苦情が寄せられるようになる。	・濁水防止フェンスの改良 ・貯水池末端の堆積土砂撤去 ・森林保全（植樹活動）

3. 調査及び検討フロー

調査及び検討フローを図4に示す。

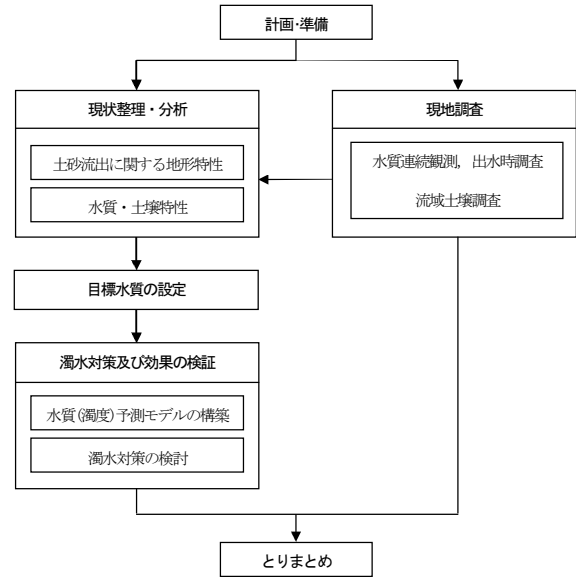


図4 調査及び検討フロー

4. 現状整理・分析

(1) 土砂流出に関する地形特性

土砂流出に関する地形特性として、図1に示す小流域毎に、地形勾配および土地利用について整理する。

a) 地形勾配による分類

標高データに基づき地形勾配を算出し、土砂移動形態と斜面～河道の縦断形状との模式的な関係が示されている既往文献²⁾（図5）を参考に、5段階に分類した。地形勾配分布図を図6に示す。

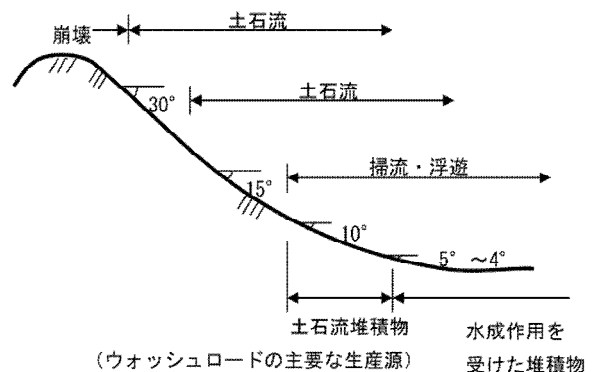


図5 流域における土砂移動形態

図6より、天川ダム上流域では、長沢谷（本川）の地形勾配が最も緩く、地形勾配が10°未満の割合が92%、30°以上の割合が1%未満である。一方、東谷の地形勾配が最も急で、地形勾配が10°未満の割合が46%、30°以上の割合が5%である。

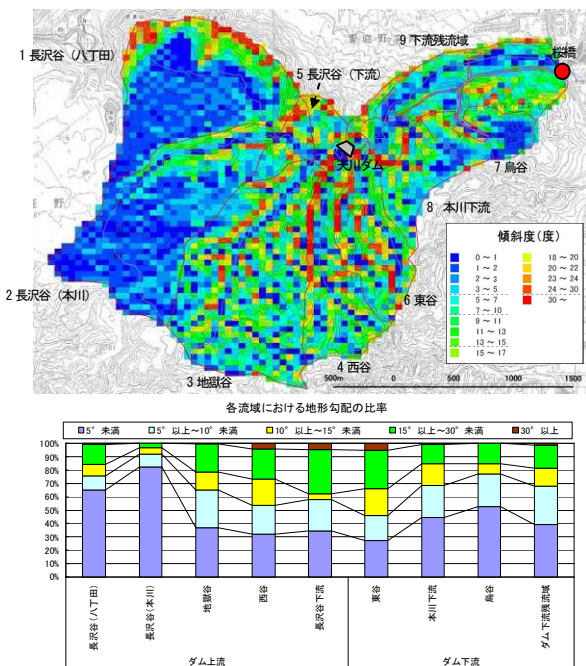


図6 地形勾配分布図

b) 土地利用による分類

土砂流出に違いがあると考えられる植生地、裸地・荒地、草地、建物用地等と、その他の5分類とした。土地利用状況図を図7に示す。

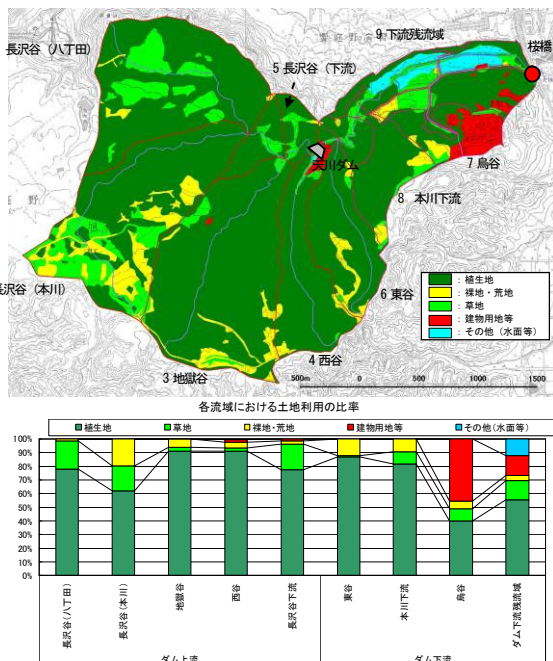


図7 土地利用状況図

図より、長沢谷（本川）において裸地・荒地の占める割合が最も大きく、19%である。この流域内は、砲射撃訓練場が存在し、土地の人為的攪乱が多い。

(2) 水質特性

水質特性を把握するため、各小流域、ダム放流部、桜

橋地点、河口部において、2011年6月～11月にかけての約5ヶ月間、濁度の連続観測を実施した。また、調査期間内において、7/19出水（台風6号）、9/3出水（台風12号）、11/19出水の合計3回の出水時調査を実施した。水質調査地点の位置を図8に示す。

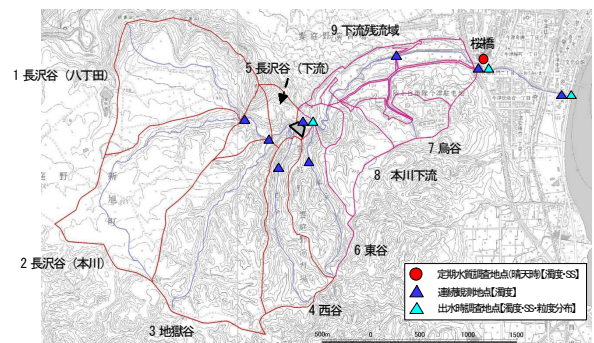


図8 水質調査地点

7/19出水期間中の水質連続観測結果（図9）より、ダム上流域においては、地獄谷の濁度のピーク値が高い。また、ダム上流域、ダム放流部と比較して、桜橋地点では、出水後に濁度が平常時に戻るまで、長期間を要していることが分かる。

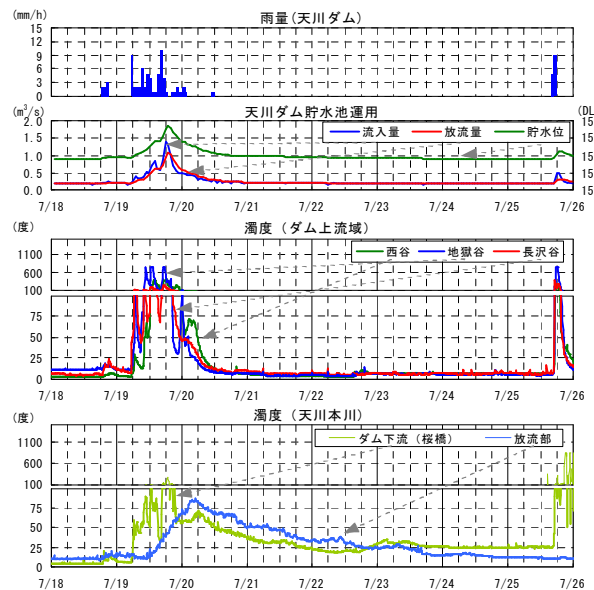


図9 7/19出水期間中の水質連続観測結果

出水時調査について、調査時の出水規模を比較すると、図10より、9/3出水（台風12号）の日最大降水量は189mm/dayであり、調査を実施した他の2出水や、過去5年における日最大降水量と比較しても、規模が大きい。

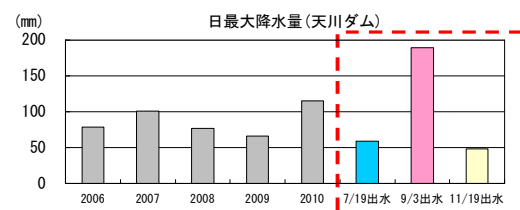


図10 調査時における出水規模の比較

また、水質調査結果より、平常時の濁度はおおむね10度以下であるため、これを閾値として、調査地点毎に濁水発生期間の比較をおこなった。結果を図11に示す。

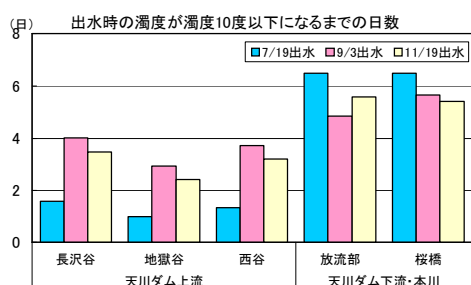


図11 出水調査時の濁水発生期間の比較

図より、ダム上流域である長沢谷、地獄谷、西谷においては、出水規模の大きい 9/3 出水での濁水発生期間が長い。ダム放流部と桜橋地点においては、他の出水時とそれほど変わらないが、短くなる傾向である。

さらに、ダム上流域の各調査地点における SS 及び流入量より、貯水池への流入負荷量を算出した。結果を図12に示す。

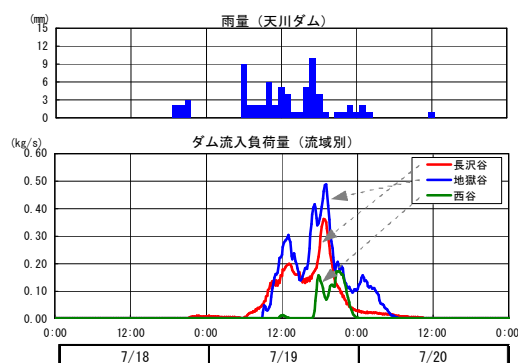


図12 7/19出水期間中の貯水池流入負荷量

図より、ダム上流域からの流入負荷量は、地獄谷において最も大きい。

(3) 土壌特性

ダム上流域における土粒子の物性や、雨天時の流出状況を把握するため、流域土壌（採泥）調査や現地確認など、計7回の現地調査を実施した。ダム貯水池において実施した流域土壌（採泥）調査位置を図13に示す。

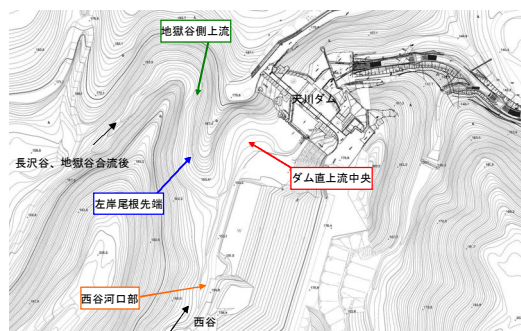


図13 流域土壌（採泥）調査地点

本調査による粒度分布と、ダム上流域で実施した出水時の採水調査による粒度分布を比較すると、図14より、ダム貯水池付近で細粒分の占める割合が大きい。その中でも、ダム直上流中央部においては、 $10\mu\text{m}$ 以下の割合が80%を占める。このことから、流域内で発生した細粒分の多くは、途中の河道で沈降せずに、貯水池まで到達していると考えられる。

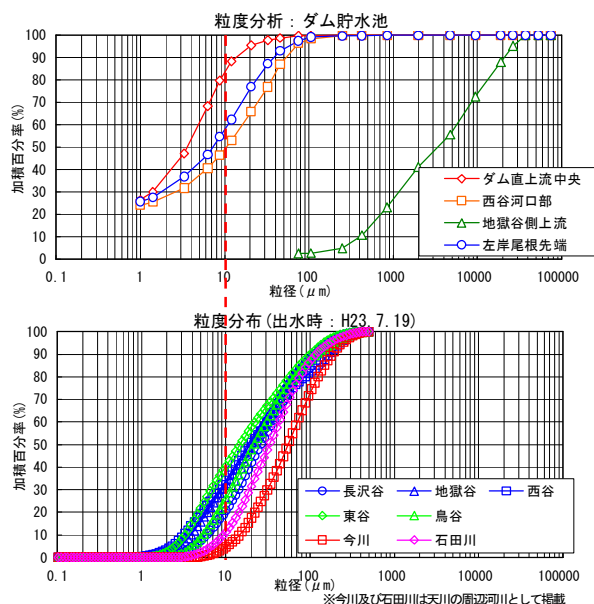


図14 粒度分布の比較

(上段：ダム貯水池 下段：ダム上流域出水時)

(4) 現状整理・分析結果

前節までの各種調査・分析の結果をまとめると、下記のとおりとなる。

- ・ダム上流域において、出水中は高濁度であるが、短期間で低下する。
- ・ダム放流部および下流部の桜橋地点では、出水時の濁度はダム上流域より低い。出水後も高濁度の期間が続いている。
- ・出水規模が大きいと、平常時の濁度に戻るまでの期間は短くなる傾向がみられる。
- ・ダム貯水池への流入負荷量としては、裸地・荒地（戦車道）の存在する地獄谷の割合が大きい。

5. 水質（濁度）予測モデル

(1) モデルの全体構成

天川流域における濁水現象としては、「ダム上流域での濁水発生」、「貯水池での濁水滞留」、「下流河川での濁水長期化」であることから、表2に示す3つのモデルを統合し、流域全体における流出を予測する。モデル全体のイメージを図15に示す。

モデル内の各パラメータは、出水期間中の変動が再現可能となるよう、数回のトライアル計算により設定した。

表2 流出モデルの概要

モデル	概 要
ダム上流域モデル (分布型モデル)	降雨による流域（発生源）からの濁水が、斜面及び小水路を経て溪流及びダムへ流出する過程を算定
ダム貯水池モデル (ボックスモデル)	ダム貯水池へ流入した流量及び濁水が、貯水池に滞留・一部沈降し、ダム下流河川へ流出する過程を算定
下流河川モデル (負荷収支型モデル)	ダム及び流域から河川（天川）へ流出した濁水が、支川合流などにより、希釈混合しながら河口へ流下する過程を算定

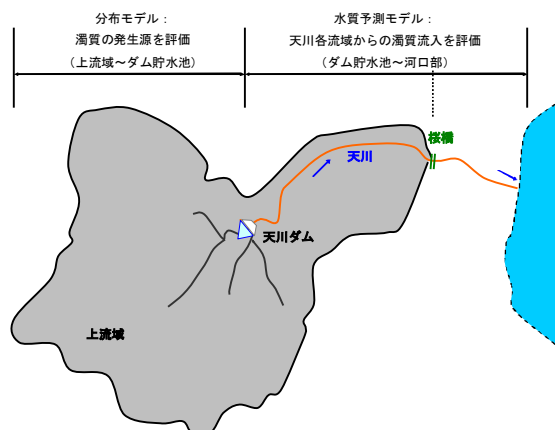


図15 モデル全体のイメージ

(2) ダム上流域モデル（分布型モデル）

本モデルは、流域を正方形区画（矩形メッシュ）に分割し、それぞれの区画について、流出量を最急勾配方向に追跡するモデルである。

国土地理院刊行の数値地図50mメッシュ（標高）データをもとに、最急勾配方向に雨水が流れると考える落水線図を作成し、流域を落水線（矩形斜面）の集合体として表現した。

その後、メッシュ単位で降雨の流出計算と濁質の流出計算をそれぞれおこない、落水線流下方向へ順次計算していった。

(3) ダム貯水池モデル（ボックスモデル）

天川ダムにおける常時満水位以下の容積 $81.0 \times 10^3 \text{ m}^3$ に対して、年平均流入量は $8,500 \times 10^3 \text{ m}^3$ であり、貯水池の回転率は、約100回/年である。このため、貯水池の混合型は、強混合型に分類される。また、湛水面積も $A=0.16 \text{ km}^2$ （常時満水位の湛水面積 $A=0.02 \text{ km}^2$ ）と小さいため、貯水池内を完全混合とするボックスモデルとした。

上流域モデルでの流出計算結果より、貯水池への流入水質（SS）を与え、貯水池内での濁質の沈降速度を考慮して、放流水質（SS）を算定した。

(4) 下流河川モデル（負荷収支型モデル）

基本的には、前節のダム貯水池モデルと同様、河川内では完全混合とした。ただし、貯水池とは異なり、滞留時間が短いため、濁質の沈降は考慮していない。

また、東谷や鳥谷など、支川からの流入を設定してモ

デルに反映させ、河道条件として、断面・河床勾配・粗度係数を設定し、流下時間を考慮した。

6. 既往出水の再現検証

検証対象とする出水は、出水時調査を実施した7/19出水、9/3出水、11/19出水の3出水とした。

(1) 貯水池への流入水量

ダム上流域モデルによる貯水池への流入水量について、9/3出水を例に、流出計算結果を図16に示す。検証には、ダムにおいて実測されている流入量を用いた。

モデルでは、総流入量について、計算値と実績値が合うようにパラメータを設定したため、時刻単位でみると、ピーク値以降で実績値との乖離がみられるが、変動状況としては、おおむね再現できているといえる。

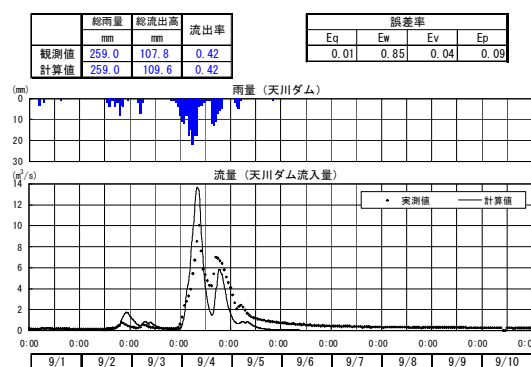


図16 流出計算結果 (9/3出水, 流入水量)

(2) 貯水池への流入負荷量 (SS)

ダム上流域においては、流域毎に濁質自体の流出を抑制する発生源対策が必要なことから、水質ではなく負荷量を対象として計算をおこなった。このため、用いる指標はSSとし、濁度からSSへの換算は、出水時調査結果をもとにした相関式により算出した。93出水を例として、流出計算結果を図17に示す。

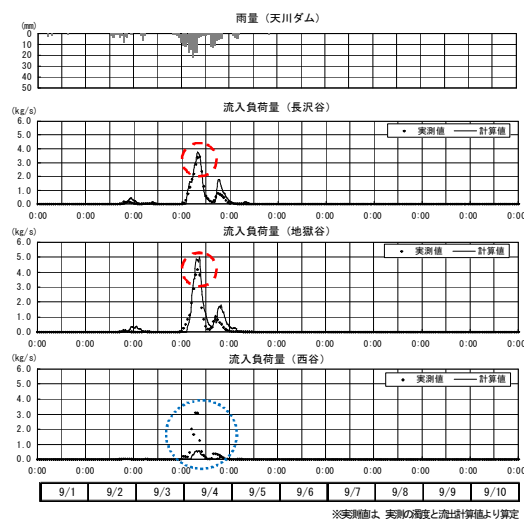


図17 流出計算結果 (9/3出水, 流入負荷量)

主な流域である長沢谷と地獄谷について、流入負荷量のピーク値でみると、モデルによる計算結果と実績値は同程度であり、おおむね再現できているといえる。

一方、西谷については実績値との一部乖離がみられる。これは、ダムでの降雨観測値を流域一律に設定しているため、実際は流域毎の降雨が異なることにより、流出形態が詳細に再現できていないことが原因と考えられる。

(3) 放流部及び桜橋地点での水質（濁度）

上流域での流出計算結果を境界条件として、ダム貯水池モデル及び下流河川モデルにより、ダム放流部と桜橋地点の濁度を算出した。9/3出水を例として、流出計算結果を図18に示す。

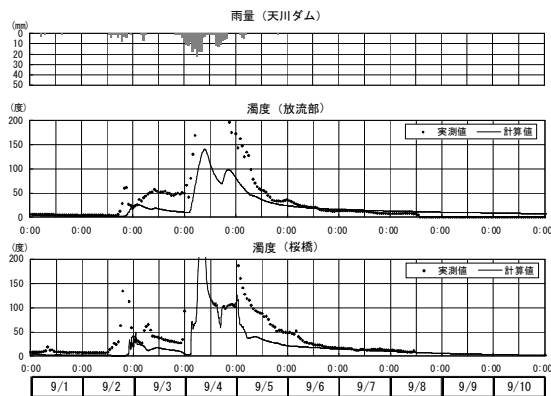


図18 流出計算結果（9/3出水、濁度）

図より、出水後に濁度が低下していく状況は、おおむね再現できている。ダム管理運用後の最大出水において、濁度10度を下回る時間帯を再現できており、対策効果を検討するモデルとしては有効であると考えられる。

7. ダムによる濁水長期化への影響

前章にて構築したモデルを用いて、ダムが下流河川の濁度変化に与える影響を検討した。

検討方法としては、ダムがない場合の計算を行い、桜橋地点の濁度変化を比較する。ダムがない場合の計算については、ダム貯水池流入地点の濁水が、そのまま下流へ放流されるものとした。

桜橋地点におけるダムあり・なしの濁度変化を、7/19出水を例として、図19に示す。また、ダムによる濁水長期化への影響分析として、同地点での濁度10度以上の日数を表3に示す。

表3より、濁度10度以上の日数で、ダムあり・なしの差は、7/19出水が最も大きく3.6日であった。最も規模の大きい9/3出水では、ダムあり・なしの差は最も小さく1.8日であった。大規模出水で、濁水長期化日数が短くなるのは、ダム貯水池の回転率が上がり、濁水が早期に放流されることと、降雨後も河川流量が大きく、濁質が

希釈されることによって、濁度低下が早まるためであると考えられる。

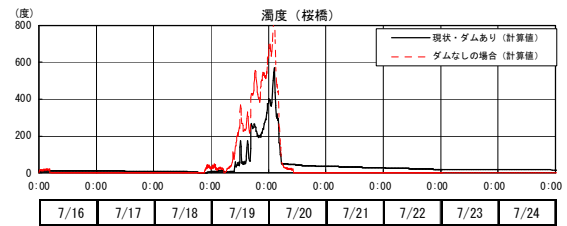


図19 濁度変化の比較（7/19出水、桜橋地点）

表3 濁度10度以上の日数（桜橋地点）

	現 状 (計算値)	ダムなし の場合	ダムによる濁水 長期化の影響
7/19 出水	5.1	1.5	3.6
9/3 出水	4.8	3.0	1.8
11/19 出水	5.8	2.7	3.1

8. おわりに

今回、小流域単位で水質に関する調査や濁質となる土粒子そのものに関する調査を実施、さらにダム上流域においては、雨天時に濁水の発生状況を現地で追跡調査するなど、現状を細かく把握したうえで、各種パラメータを設定し、流域内の各地点における水質や負荷量を予測するモデルを構築した。

モデルを用いて、ダムがなかった場合の流出解析をおこなうことにより、ダムの設置がどの程度下流河川の濁水長期化へ影響を及ぼしているかを、定量的に把握することができた。

検討対象とした天川流域は、そのほとんどが自衛隊演習場で、人為的な土地改変が頻繁に行われるという意味では特殊な流域である。濁水の発生源も演習場であるといわれていることから、ダム貯水池や下流河川において濁水を低減させるという対症療法的な対策のみならず、ダム上流域においては、濁水の発生そのものを抑制するための発生源対策も必要である。ダム上流域モデルでは、メッシュ単位で濁水の発生状況及び流下状況が把握できるため、より効果的な対策の検討に資するものと考えられる。

ただし、演習により場内への立入期間がかなり制限されることから、効果とともに、実現可能性も考慮した検討が必要となる。

参考文献

- 1) (財) ダム水源地環境整備センター：ダム水源地ネット 2009年6月号
<http://www.dam-net.jp/backnumber/012/contents/gijyutsu.html>
- 2) 江頭進治・松木敬：河道貯留土砂を対象として流出土砂の予測法 水工学論文集 第44巻 pp.735-740 2000