

## 4.2 既設ダムの堆砂対策検討手法に関する検討

研究年度：平成30年度～平成31年度

研究分野：ダムの改造・再開発に関する調査研究

調査研究名：堆砂が進行したダムの再生

研究者：高須修二、伊藤邦展\*、杉本達也

### 【要約】

ダムにおける著しい堆砂進行は、有効容量の不足に伴いダムの機能に支障を生じさせるのみならず、時には放流設備の閉塞に至るような事象をも生じ得るものであり、堆砂の進行状況によってはダム再生が喫緊の課題となる。本調査研究は、堆砂が著しく進行しているダムの恒久的な堆砂堆砂対策の検討手法を検討しているもので、本年度は実際に常用洪水吐が閉塞するに至ったダムを事例として、堆砂対策の検討の流れを整理したものである。

### 【キーワード】

ダム再生、ダム再開発、堆砂、堆砂対策、放流設備閉塞

### 【背景・目的】

堆砂が進行すれば堆砂の肩が経年的に下流へ前進していき、洪水吐き呑み口付近まで堆砂が進行することとなれば、有効容量の大幅な減少に加えて洪水吐きの閉塞による治水機能が喪失に繋がることにもなりうる。このため、堆砂の著しく進行したダムにおいてその対策が求められている。

本報告では、将来的な堆砂の進行を予測する手法や予測を踏まえた対策の検討手法について、事例を踏まえた検討についての中間報告を行う。

### 【平成30年度の研究内容】

#### (1) 流入土砂量の把握

堆砂対策の検討にあたっては、ダムへの流入土砂量を推定した上で土砂動態解析モデルを構築し、構築した解析モデルにより将来的な流入土砂量を予測する必要がある。

まず、流入土砂量について、貯水池の実際の堆砂状況（堆砂のボーリング調査結果としての粒度及び各堆積量など）に基づいて、流量と粒度別流入土砂量の関係式（ $Q \sim Q_s$ 式）（式-1）を作成し、ダムへの平均的な流入土砂量の推定を行う。

なお、貯水池上流域に崩壊地が多く分布する場合には、崩壊地の分布状況を踏まえて、貯水池上流端からの土砂供給の妥当性確認及び支川への流入土砂

$$Q_s = \alpha \cdot Q^\beta \quad (Q > Q_c)$$

$Q_s$  : 粒度別の流入土砂量

$Q$  : 流入地点の流量

$\alpha, \beta$  : 流入土砂量を設定するパラメータ

式-1 流量と粒度別流入土砂量の関係式  
( $Q \sim Q_s$ 式)

量を配分することが望ましい。また、主にシルト分・粘土分からなる微細粒土砂については、ダムから流出する分を考慮するため、 $\alpha$ 値を増加させつつ再現計算によるトライアルを行い、堆砂実績が再現されるように $\alpha$ の最適値を求める。流入土砂量設定の手順を図-1に示す。

#### (2) 土砂動態解析モデル

土砂動態解析モデルの構築に当たっては、再現性を確認しておく必要がある。事例では、推定した流入土砂量を基に、一次元河床変動計算の混合粒径モデルとして、土砂動態解析モデルを構築し、再現計算を行い、堆砂形状および堆砂量の経年変化についての再現性の確認を行った。解析モデルの概要を表-1に、再現計算結果を図-2、3に示す。

再現計算結果の貯水池縦断形状において、ダムから流出した分として細粒土砂を増加させることにより、直近の堆砂形状がほぼ再現される結果となった。また、貯水池堆砂量の経年変化についても概ね再現されている。なお、再現計算に当たっては、特に流入土砂量の多かった年の堆砂形状についても、その前年を初期河床として計算を行い、モデルの再現性を確認している。

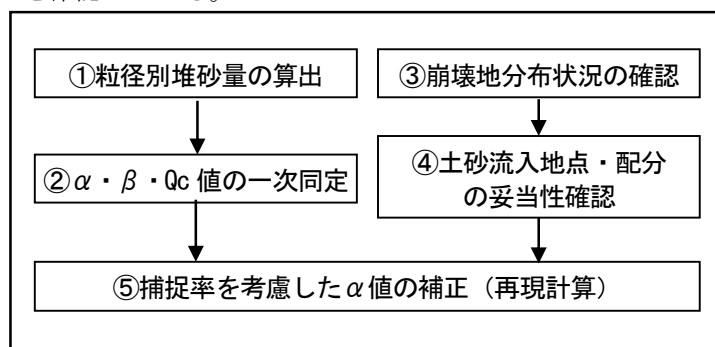


図-1 流入土砂量設定の手順

表-1 土砂動態解析モデルの概要

| 項目    | 内容      |  |
|-------|---------|--|
| 解析方法  | 流れの計算   | 1次元不定流モデル  |
|       | 流砂の計算   | 1次元河床変動モデル（混合粒径モデル）  |
|       | 掃流砂     | 芦田・道上式   |
|       | 浮遊砂     | 浮遊砂の非平衡性を考慮。基準面濃度には芦田・道上式を採用。  |
|       | ウッシュロード | 侵食速度式により浮遊砂浮上量を評価（ $E=A \cdot u \cdot B : u > u^*c$ ）<br>（E: 侵食速度(m/s)、A、Bは再現計算の再現性が良好となるよう設定） |
|       | 解析手法    | 有限体積法  |
| 計算期間  | 再現期間    | 38年間   |
| 粒径条件  | 粒径区分    | 19区分：粘土（0.005mm未満）～礫（300mm）  |
|       | 初期粒度条件  | 堆砂表面粒度調査結果、貯水池河床ボーリング調査結果を反映   |
| パラメータ | 時間刻み    | $\Delta t=2.0\text{sec}$   |
|       | 間隙率     | $W=0.5$ （直近のボーリング調査結果をもとに間隙率を設定）   |
|       | 粗度係数    | マンニングストリクラ式により設定（ $n=0.0417 \times d_m^{1/6}$ ）  |
|       | 貯砂ダム    | 貯砂ダム設置年以降に貯砂ダム条件を設定  |
|       | 堆砂除去    | 実績堆砂除去量を、貯砂ダム上流において取り除く条件で解析   |

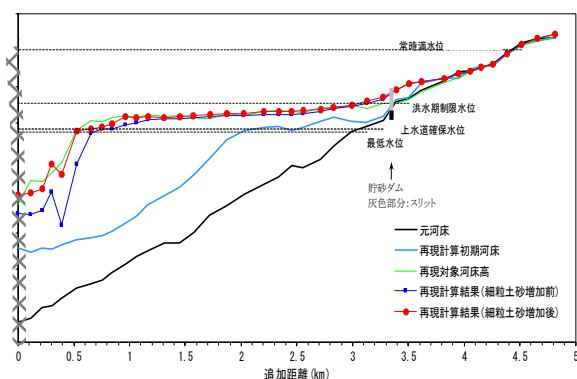


図-2 再現計算結果（堆砂形状）

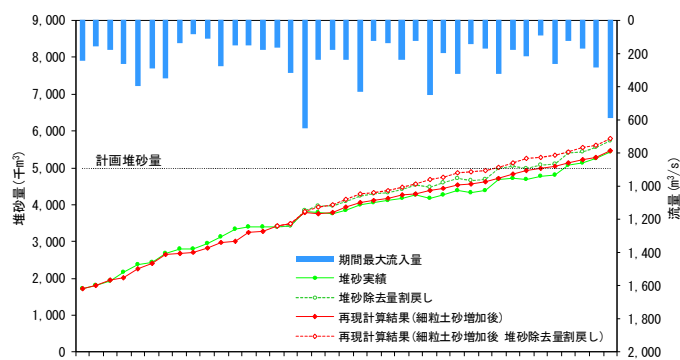


図-3 再現計算結果（堆砂量の経年変化）

(3) 予測計算に用いる流量時系列の設定

将来予測計算を行うためには将来の流量時系列を設定する必要がある。

今後 100 年間の流量時系列については、流入土砂量を過小評価することのないように、流量確率解析をもとに 1/20 年規模以上の流量の発生回数の不足が無いように設定することを標準とした。

なお、事例では、過去 38 年間のうち特に大規模な土砂流入が発生した洪水は 1/100 年規模を超過しているため、当該年の流量時系列を 100 年間で 1 回含むようにした。

また、実績流量の繰返しでは、一定の確率規模の流量の発生回数が不足しているため、基本高水流量決定洪水の降雨波形の拡大・縮小により必要な流量確率規模の波形を作成し、年最大発生洪水を対象に置換えることにより補填した。（図-4）

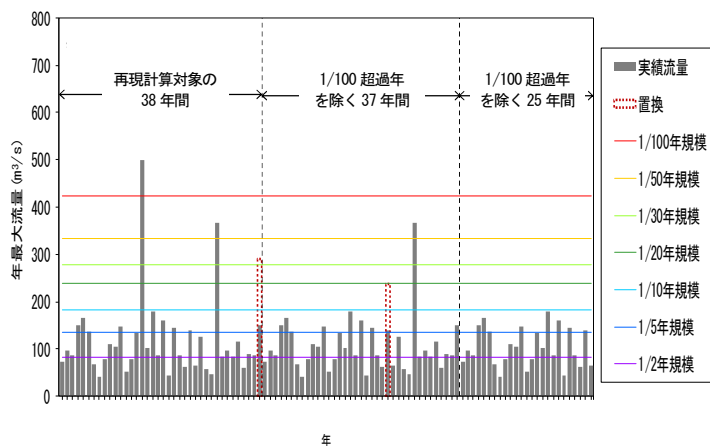


図-4 将来予測における年最大流量設定状況

#### (4) 無対策時の将来予測

次に、再現性を確認した解析モデル及び流量時系列を用いて、対策を実施しない場合の堆砂の進行状況を把握し、対策の必要性を評価する必要がある。

事例では、年最大流量を設定した上で、将来100年間の無対策時の将来予測を行っている。

将来予測結果として、堆砂形状、堆砂量の経年変化、洪水調節容量の将来変化を図-5~7に示す。

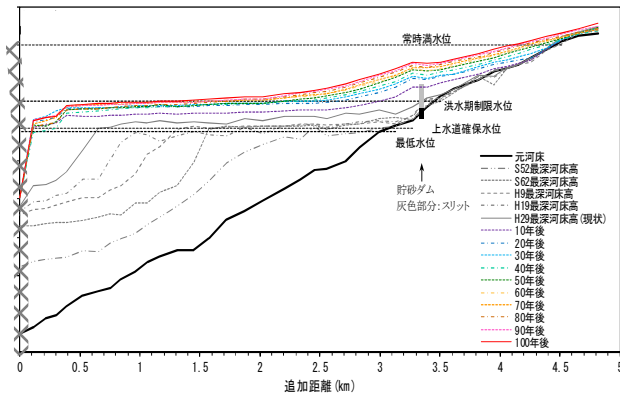


図-5 再現計算結果 (堆砂形状)

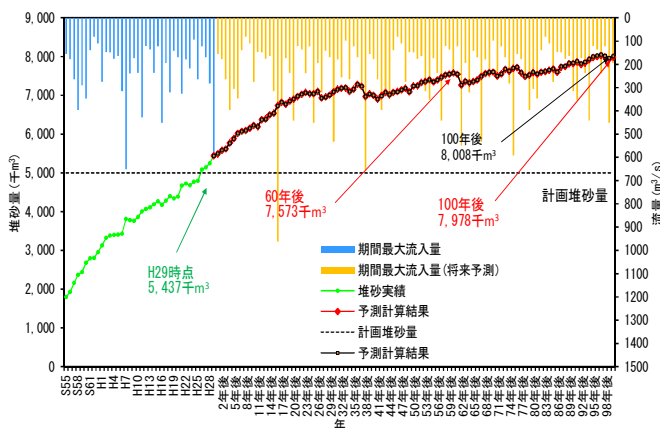


図-6 再現計算結果 (堆砂量の経年変化)

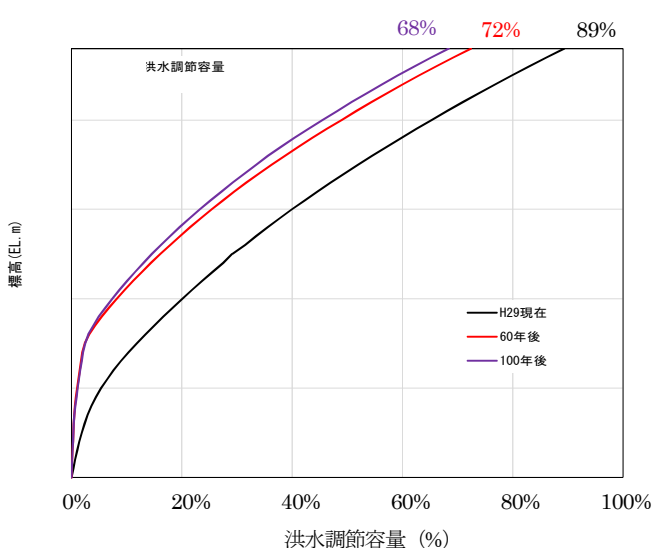


図-7 再現計算結果 (洪水調節容量の将来変化)

堆砂予測結果では、堆砂の肩が10年後にダムに達した後(計算上は、ダム軸から1断面上流の断面)、制限水位より高い位置(頂部堆積層)に堆砂が進行し、洪水調節機能への影響が大きくなることが予測される。

なお、堆砂がダム堤体に近づくにつれて、貯水池内の土砂が流出しやすくなるため、堆砂の増加傾向はやや緩やかになっている。

#### (5) 堆砂対策方法の検討

##### ① 対策の基本的な考え方

恒久対策では、将来的に流入土砂量を全て排出すること(平衡堆砂)が基本的に求められる。

考えられる対策メニューとしては、

- ・ 流入土砂軽減 : 貯砂ダム
- ・ 流入土砂通過 : 土砂バイパス、スルーシング、密度流排砂
- ・ 堆積土砂排砂 : 掘削・浚渫、吸引による排除、フラッシング

などがある。

事例では、流入土砂量が多いことから、掘削・浚渫費用を軽減するため、極力貯水池を通過させるか排除することを目標として、土砂バイパスとスルーシング(フラッシング)もしくはそれらの組合せの対策を基本として検討している。

土砂バイパス、スルーシング(フラッシング)の対策の標準的な考え方は表-2に示す通りである。

表-2 対策の基本的な考え方

| 対策の基本的な考え方 |  |
|------------|--|
| 土砂バイパス     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 貯水池に流入する土砂を、可能な限り分派堰で捕捉・分派して下流へ流下させる。</li> <li>・ 分派堰および土砂バイパスの呑口位置は、河床高が常時満水位付近となる貯水池上流端部とする。</li> <li>・ 貯水池内の維持掘削を行う場合は、掘削土砂を分派堰上流へ置土し、バイパスを通して流下させる。</li> <li>・ 有効貯水容量を回復するための初期掘削を行う。</li> </ul> |
| (スルーシング)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土砂を流下させるのに十分な流量が発生する時期に、貯水位を低下させることにより、低い位置に緩勾配の平衡堆砂形状を維持して、有効貯水容量を確保する。</li> <li>・ 対策初期段階の大量の土砂流出により下流河川への影響を発生させることが無いように、初期掘削により平衡堆砂形状を形成する。</li> </ul>  |

また、対策方法の評価は無対策時と同様に、先に策定した土砂動態解析モデル及び設定した流量時系列を用いて行うこととなる。

## ② 対策施設の規模検討等および対策の効果

対策施設は、ライフサイクルコストも考慮の上、最適な施設規模となるよう検討する必要がある。

事例での対策施設である土砂バイパスについては、河床変動解析の結果、一定量の維持掘削が必要となった。このため、土砂バイパスの施設規模については、施設維持管理のための車両通行可能幅を最低限確保した上で、施設建設費用と維持管理費および維持掘削費用を基に算出したライフサイクルコストを比較して検討している。施設規模としては流量でとらえることとし、流量規模によるライフサイクルコストの変化を図-8に示す。費用の精査は必要であるが、一定の流量規模以上で変化がかなり小さくなっている。

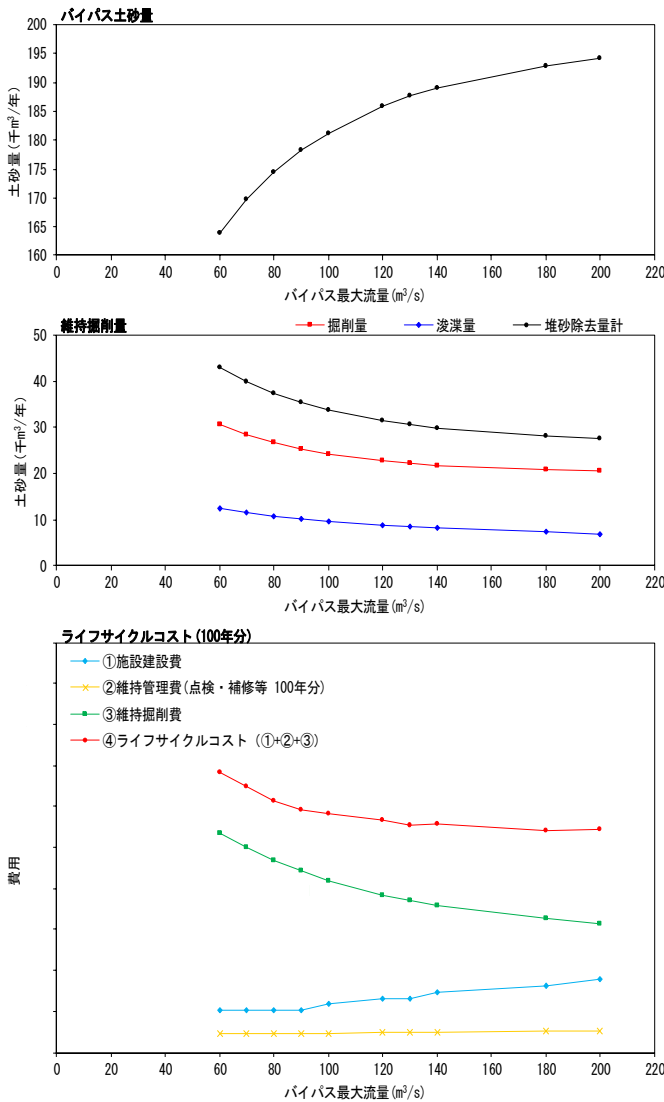


図-8 流量規模によるライフサイクルコストの変化

## ③ スルーシングの水位及び期間の検討

対策施設としてスルーシングを考える場合、運用水位及び期間が重要な要件となる。

事例では、春先の雪解け水によるダム流入量が大いことから、ある期間の水位を下げることにより、排砂効果を得る可能性があるため、期間及び水位低下規模について検討した。

スルーシングによる縦断形状変化と堆砂量の変化を図-10、11に示す。(期間1か月の場合)

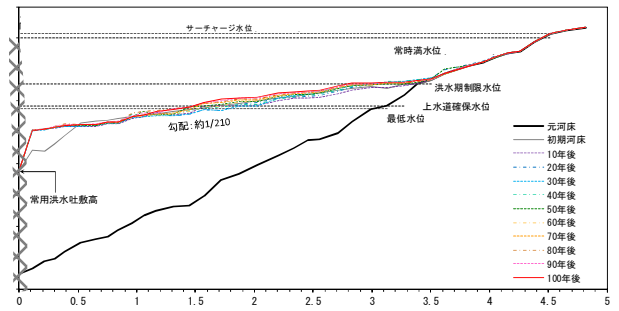


図-10 スルーシングによる縦断形状変化

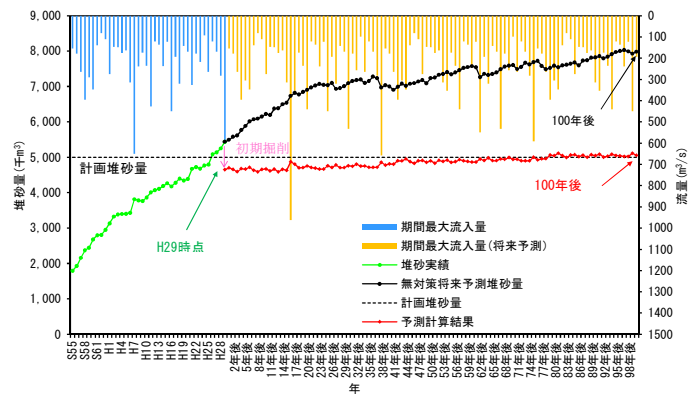


図-11 スルーシングによる堆砂量の変化

## ④ 対策の適応性

土砂バイパス、スルーシングについて、事例での対策の適応性を整理すると表-3のようになる。

一般的に、土砂バイパスはダムの機能を果たすため、一部の土砂を貯水池に流入させることが不可避であり、有効容量を確保する上で維持掘削が必要となることからランニングコストが高くなる。

一方、スルーシングは水位低下が必要不可欠であり、ダム運用に与える影響が大きくなる。

このため、今後、土砂バイパスで必要となる維持掘削の低減のためのスルーシングの補助的な併用などの対策の組合せを考え、対策の最適化を図っていくことが有効と思われる。また、その際には、ランニングコストが、施設規模に大きく影響していることから、費用の低減策を検討するとともに、費用の

精度を高めていくことも必要である。  
さらに、最終的な施設規模等を踏まえ、平衡堆砂

形状を確立させるとともに土砂動態マップとして明確にしておく必要がある。

表-3 対策の適応性

| 対策方法        |                                     | スルーシング  | 土砂バイパス  |  |
|-------------|-------------------------------------|---|---|--|
| 概要          |                                     | 融雪出水期間に最低水位以下約20m付近まで貯水位を低下して既設常用洪水吐から土砂を流出させる。   | 出水により流入量が一定量以上となった場合にバイパスを通して放流し土砂を通過させる。                             |  |
| 施設          | 施設案                                 | 既設常用洪水吐および減勢工補強<br>トンネル洪水吐新設  | 土砂バイパス新設  |  |
|             |                                     | 主対策としてスルーシングを行う場合、礫分を含む土砂を流下させるため、既設常用洪水吐ゲートおよび減勢工を補強するとともに、排砂施設と洪水調節用の施設を分離するためのトンネル洪水吐が必要となる。   | 土砂バイパス径は維持管理のための車両通行が可能な4.0m以上を想定する。<br>8割水深を確保して最大流量を通過させるトンネル径となる。  |  |
| 実現性に向けての課題等 | 対策効果                                | ○ 維持掘削なしで有効貯水容量を維持。   | ○ 将来長期的に有効貯水容量の維持が可能であるが、維持掘削は必要となる。                                  |  |
|             | 対策費用                                | △ トンネル洪水吐の新設が必要となり施設建設費が大きくなる。  | ○ スルーシングにおけるトンネル洪水吐建設と比較し安価となる。                                       |  |
|             | 治水                                  | ○ 融雪出水期に排砂を行うため、洪水調節操作と分離することができる。  | △ 排砂効果を得るためには出水時に可能な限りバイパス運用を行う必要があり、洪水調節操作と連携した運用が必要となる。             |  |
|             | 利水                                  | 発電  | △ 水位低下により発電取水が不可となり、発電停止期間が長期間となるため、減電の影響が大きい。                        | ○ 影響なし                                   |
|             |                                     | 水道  | △ 堤体直上流に堆積した細粒土砂が流下しやすくなるため、融雪出水期における濁度上昇が大きくなり、上水道施設での対策費用の増加が懸念される。 | ○ 出水時に流入土砂をそのまま通過させるため、スルーシングと比較し影響は小さい。 |
|             | 下流河川環境                              | △ 融雪出水期は、ウグイ・カジカの産卵期及びイワナ・ヤマメの稚魚の発生期に該当し、融雪出水期の放流水の濁度上昇が大きくなることから、下流河川環境への影響が懸念される。<br>△ ダム堤体直上流に堆積した細粒土砂が流下しやすくなるため、下流の人工産卵場等における細粒土砂の堆積による影響が懸念される。 | ○ 出水時に流入土砂をそのまま通過させるため、スルーシングと比較し影響は小さい。                              |  |
| 維持管理        | △ 排砂した土砂は下流ダムに堆積するため、下流ダムの維持管理が生じる。 | ○ 維持掘削した土砂はバイパス呑口まで運搬し、次の洪水で流下させる。<br>△ トンネル延長が長い場合、土砂摩耗による維持管理が生じる。  |   |  |

(6) 堆砂の進行したダムにおいて考慮すべきリスク

堆砂対策を事業として実施する際には、対策による便益といった概念が重要になってくる。このため、堆砂対策を実施することによる便益効果を推定する観点から、堆砂の進行したダムにおいて考慮すべきリスクを取りまとめた。

以下に、主として2つの観点からリスクを示す。

① 堆砂進行に伴う洪水調節容量の減少によるリスク

堆砂進行に伴い洪水調節容量が実質的に減少すれば、計画相当の洪水が来た場合などただし書き操作への移行が早まり、下流への放流量

が増加することで下流河川の被害が増大するリスクがある。

② 堆砂進行に伴う放流設備閉塞によるリスク

堆砂進行に伴い、出水時に堆砂等が洪水吐きに流れ込み閉塞する事態が発生すれば、洪水調節機能を全面的に損なうリスクにつながる。

洪水吐きの閉塞により洪水調節機能を万一全面的に損なった場合、その後の洪水を洪水調節容量が満杯になるまでため込むことになり、一旦満杯までため込んだ後はダムの無い状況と実質的に同等の状況が発生するというリスクにつながる。

また、一旦閉塞した場合は、その修復に一定の期間を要し、当該洪水期のその後の期間全て

で機能しなくなるおそれがある。

特に、堆砂進行により堆砂の肩が下流へ前進するに伴い、掃流力の高い範囲が下流へと拡大することになるため、ダム直上流部に到達する沈木等の異物が増加するなど、閉塞の要因の一つである沈木等の異物の影響が増大する。

事例では、比較的大きな出水時に、洪水吐き呑口周辺堆積土砂崩壊が生じたものと想定しており、その結果、ゲート近傍の沈木等を含む堆積土砂が放流管内に流入し、ゲート閉塞を生じている。

このため、恒常的な堆砂対策により堆砂の進行全体を抑制することは極めて重要である。また、ゲート閉塞を防ぐための洪水吐き呑口周辺の維持浚渫の可能性も緊急対応の観点から重要な検討課題である。

### 【結果とりまとめ】

恒久的な堆砂対策の検討手法は以下の通りである。事例では、この手順に基づいて中間的な評価が実施されている。

- ①貯水池内のボーリング調査による堆積土砂の性状・量、流域の斜面崩壊の状況及び実績流量を踏まえて、土砂動態解析モデルを構築する。
- ②土砂動態解析モデルを用いて、堆砂形状および堆砂量の経年変化の再現計算を行い、モデルの妥当性を評価する。
- ③将来予測を行うため、将来の流量時系列を設定する。この際、流入土砂量を適正に設定するため、必要に応じて、不足する流量確率規模の洪水を補填する。
- ④無対策時の将来予測により、堆砂対策の必要性を評価する。なお、貯水容量の減少の他、堆砂の進行したダムにおける、洪水吐きの閉塞によるリスクの評価が必要である。
- ⑤堆砂対策の基本的な考え方および適応性を整理し、実現可能な対策及び組み合わせを抽出する。
- ⑥土砂動態解析モデルを用いて、対策の実現可能性と効果を評価し、適正な規模を設定する。
- ⑦土砂動態の状況を分析し、対策による影響を評価する。

### 【今後の課題】

今後の課題として、以下のことが考えられる。

- ①適正施設規模及び費用の設定方法の精度向上
- ②初期掘削、維持掘削のコスト低減方策の検討
- ③平衡堆砂形状の確立とそれらを踏まえた土砂動態マップの確立
- ④放流設備呑口周辺の閉塞防止対策
- ⑤堆砂対策における費用対効果の考え方の整理